

SAĞLIK & BİLİM 2026 ODONTOLOJİ-I

Editör
Doç. Dr. Veysel ERATİLLA



Sağlık & Bilim 2026 Odontoloji-I

Editör
Doç. Dr. Veysel ERATİLLA

[1]



SAĞLIK & BİLİM 2026
ODONTOLOJİ-I

Editör
Doç. Dr. Veysel ERATİLLA



SAĞLIK & BİLİM 2026

Odontoloji

-I-

Editör

Doç. Dr. Veysel ERATİLLA

Editör

Doç. Dr. Veysel ERATİLLA

ORCID (0000-0002-3511-5612)

ISBN: 978-625-392-877-3

E-ISBN: 978-625-392-878-0

DOI: <https://doi.org/10.59617/efepub2026014>

1. Baskı: Mart 2026

Bu eserin; yayın, satış ve kopyalama hakları EFE AKADEMİ'ye aittir.

Kütüphane Kartı

SAĞLIK & BİLİM 2026: Odontoloji -I

ERATİLLA, Veysel

1. Basım 644s., 160 x 235 mm. Kaynakça var, Dizin yok.

Türü: Özgün Bilimsel Kitap

Anahtar Kelimeler:

1. Araştırma 2. Endodonti 3. Diş Hekimliği 4. Odontoloji 5. Sağlık

Dizgi / Design

İsa Burak GÜNGÖR

(burakgungor@efeakademi.com)

Kapak Tasarım / Cover Design

Gamze DUMLU

(gamzedumlu.2710@gmail.com)

Sertifika No / Certificate No

49168

Matbaa Sertifika /Printing Certificate

49168

Efe Akademik Yayıncılık

/ Efe Akademik Publishing

Cağaloğlu Yokuşu Cemal Nadir Sokak

Büyük Milas Han No: 24/125

Fatih/ İSTANBUL

0212 520 52 00 - www.efeakademi.com

Efe Akademik Yayıncılık

Matbaa Adres:

/ Efe Akademik Publishing

Printing Adress:

Cağaloğlu Yokuşu Cemal Nadir Sokak

Büyük Milas Han No: 24/125

Fatih/ İSTANBUL

0212 520 52 00 - www.efeakademi.com

ÖNSÖZ

Geçmişten günümüze bilgi ve tecrübelerimizi gelecek nesillere en etkili şekilde aktarma yöntemlerinden biri olan, “Söz uçar, yazı kalır.” mottosuyla hazırlanmış olan her kitaptan bugüne kadar istifade ettik. Diş hekimliği sürekli kendini yenileyen, gelişen ve değişen bir bilim dalıdır. Öyle ki diş hekimleri olarak meslek öğrenimine adım attığımız ilk günden başlayarak bilgilerimizi güncellemek ve daha ileriye götürmek durumundayız.

Son yıllarda koruyucu ve tedavi edici diş hekimliği hizmetlerinde elde edilen başarının altında uzun yıllardır devam eden özverili araştırma ve çalışmalar bulunmaktadır. Toplumda estetik anlayışın değişmesiyle ve teknolojik ilerlemelerle beraber ağız sağlığı bilinç düzeyi ve tedaviden beklentiler gittikçe artmaktadır. Doğru teşhis, tanı ve tedavi süreçlerini yürütmek kaydıyla başarıyı elde etmek için güncel bilgilere erişim oldukça önemlidir. Bu sebeple kliniklerinizde yer alacağını umduğumuz Sağlık & Bilim: Odontoloji kitap serisiyle diş hekimliğinin her alanında öne çıkan güncel bilimsel araştırmaları ve yenilikleri derleyerek siz değerli okuyucularımızla buluşturmayı amaçladık.

“SAĞLIK & BİLİM-2026: Odontoloji-I” kitabına bilimsel çalışmalarıyla destek veren tüm meslektaşlarımıza ve akademisyenlerimize gönülden teşekkür ederiz.

Editör

Doç. Dr. Veysel ERATİLLA

İÇİNDEKİLER/BÖLÜMLER

DENTAL KAYITLARIN BLOKZİNCİR TABANLI GÜVENLİ SAKLANMASI VE HUKUKİ BOYUT.....	9

Nihal ÖZCAN

DİJİTAL ORTODONTİDE YAPAY ZEKA DESTEKLİ TEDAVİ İZLEME SİSTEMLERİ.....	23

Emre NAİBOĞLU

AĞIZ, DIŞ VE ÇENE CERRAHİSİNDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ CERRAHİ PLANLAMA YAKLAŞIMLARI.....	33

Ufuk BAKAY

AĞIZ MUKOZASI LEZYONLARINDA YAPAY ZEKÂ TABANLI GÖRÜNTÜ ANALİZİ VE KLİNİK KARAR SÜREÇLERİ	43

Ümit SOLMAZ, Halil İbrahim DURMUŞ, Nuran DAĞ

ADLİ DIŞ HEKİMLİĞİNDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ TRAVMA ZAMANLAMASI ANALİZİ	63

Halil İbrahim DURMUŞ, Ümit SOLMAZ, Nuran DAĞ

DENTAL KAYNAKLI YAKINMALAR İLE ACİL SERVİSE BAŞVURAN HASTALARIN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ YÖNETİMİ	85

Ayşe BOZKURT

DENTAL TEDAVİLERDE HASTA-MERKEZLİ DİJİTAL İZLEM VE UZAKTAN KLİNİK DEĞERLENDİRME.....	109

İlke Manolya ÖZDEMİR

DIŞ HEKİMLİĞİNDE GÜNCEL DİJİTAL ÖLÇÜ SİSTEMLERİ	129

Yusuf Kamil ŞEKER, Ayşe Yekta ŞEKER, Emine Begüm BÜYÜKERKME

İMLANTOLOJİDE GUIDED CERRAHİ VE DİJİTAL PLANLAMA TEKNİKLERİ	143

Yunus Emre ÜNAL, Doğan Ilgaz KAYA, Elif Esra ÖZMEN ÜNÜVAR

İMLANT DESTEKLİ RESTORASYONLARDA OKLÜZAL YÜK DAĞILIMININ SAYISAL VE DİJİTAL ANALİZİ	159

Dilaycan UĞURELİ, Kübra DEĞİRMENCİ

İLERİ PERİODONTAL TEDAVİLERDE DİJİTAL ESTETİK DEĞERLENDİRME.....	173

Bülent ULAŞTAN

DENTAL MATERYALLERDE ANTİBAKTERİYEL VE ANTİBİYOFİLM YÜZEY MODİFİKASYON TEKNİKLERİ 185

Remzi FIRAT

DENTAL BİYOFİMLERİN MOLEKÜLER YAPISI VE HEDEFE YÖNELİK ÖNLEYİCİ STRATEJİLER 199

Deniz ÇETİN, Hülya ERTEN CAN

PERİODONTAL HASTALIKLARIN SİSTEMİK HASTALIKLARLA İLİŞKİSİNDE GÜNCEL MOLEKÜLER YAKLAŞIMLAR 213

Hanife Esra AYCAN, Emine Beyza BAŞYİĞİT

KÖK HÜCRE TABANLI PERİODONTAL REJENERASYON YAKLAŞIMLARI 231

Mehmet Murat TAŞKAN

REJENERATİF TEDAVİLERDE KLİNİK BAŞARIYI ETKİLEYEN BİYOLOJİK VE MEKANİK FAKTÖRLER 243

Hilal EKMEN

DENTİNAL HİPERSENSİTİVİTEDE FİZİKSEL VE NÖRAL MODÜLASYON: LAZER TEKNOLOJİLERİNİN BİYOFİZİKSEL ANALİZİ 267

Merve MUTLU

TEMPOROMANDİBULAR EKLEM (TME) RAHATSIZLIKLARINDA BİYOMEKANİK MODELLEMELER 281

Hatice ÖNDER

TEMPOROMANDİBULAR EKLEMDE BİYOMEKANİK HAREKETLER VE KLİNİK ÖNEMİ 293

Mehmet Alper UZEL

ORTODONTİDE FRAKTAL ANALİZ: TEORİK TEMELLER, GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ VE KLİNİK UYGULAMALAR..313

İlhan ŞENGÜL

PERİODONTOLOJİDE ORAL MUKOZAL OTOİMMÜN HASTALIKLAR 325

Bahar ANDAÇ URAL

PERİODONTAL VE PERİ-İMLANT DOKULARDA BİYOMEKANİK STABİLİTENİN KLİNİK ÖNEMİ 349

Halil İbrahim AYĞÜN

PERİODONTOLOJİDE MOBİL DİŞLERDE SPLİNTLEME ÇEŞİTLERİ 369

Bahar ANDAÇ URAL

PERİODONTAL UYGULAMALARDA AKILCI LAZER KULLANIMI 385

Tuğçe YAPIŞOĞLU, Özkan KARATAŞ

PERİODONTAL HASTALIKLARDA KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ TEDAVİ YAKLAŞIMLARI: KLİNİK BİYOBELİRTEÇLER VE RİSK PROFİLLEMESİ 395

Berna ÇELİK KAHRAMAN, Ömer Alperen KIRMIZIGÜL

TROMBOSİTTEN ZENGİN FİBRİNİN PERİODONTAL YUMUŞAK DOKU CERRAHİSİNDEKİ ROLÜ.....407

Tuğçe YAPIŞOĞLU, Mehmet Murat TAŞKAN

OTOJEN DİŞ KAYNAKLI KEMİK GREFTLERİ 419

Abdülbaki SAKCI, Onur YILMAZ

DENTAL İMLANT, KEMİK OGMENTASYONU VE SİNÜS CERRAHİSİNDE ANTİBİYOTİK KULLANIMI 435

Gizem TORUMTAY CİN, Ayşegül ŞENER

DENTAL İMLANT TEDAVİSİNDE KOMPLİKASYONLAR: ETİYOLOJİ, ÖNLEME VE KLİNİK YÖNETİM.....455

Hasan Ali ÖZTAŞ

PERİ-İMLANTİTİS GELİŞİMİNDE İMLANT DESTEKLİ PROTEZ TASARIMININ ETKİSİ 473

Kalben ŞAŞMAZ, Işıl KEÇİK BÜYÜKHATİPOĞLU, Derya DOĞAN EVLİCE

İMMEDİYAT İMLANTASYONDA YUMUŞAK DOKU YÖNETİMİ: FARKLI KLİNİK SENARYOLARDA BİYOLOJİK PRENSİPLER VE KLİNİK YAKLAŞIMLAR.....485

Özkan KARATAŞ

İMLANT VE RESTORATİF TEDAVİLERDE UZUN DÖNEM KLİNİK BAŞARIYI BELİRLEYEN FAKTÖRLER.....501

Ayşe Gözde TÜRK, Ayşe Nur GURAN

**ENDODONTİDE MULTİSONİK AKTİVASYON SİSTEMLERİ:
GENTLEWAVE TEKNOLOJİSİ 513**

Muhammed Emir PEZİK, Damla GÜR ÇETİN

**ENDODONTİDE MİNİMAL İNVAZİV YAKLAŞIMLAR VE GÜNCEL
BİYOLOJİK PERSPEKTİFLER.....523**

Nevzat KOÇ

DEVİTAL DIŞLERDE BEYAZLATMA 539

*Hakkı Talha YILDIZ, Sana MAHROOS AL-SHAMMARI, Işıl KAYA
BÜYÜKBAYRAM*

**POLİDİASTEMALARIN RESTORASYONUNDA GÜNCEL BİR
TEKNİK: BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE ŞEFFAF MATRİS
ENJEKSİYON UYGULAMASI 555**

Hilal ATEŞ, Merve İŞCAN YAPAR

**CAM SERAMİK LAMİNA VENEERLER: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR
.....565**

Ayşe Yekta ŞEKER, Yusuf Kamil ŞEKER, Emine Begüm BÜYÜKERKME

**PEDODONTİ PRATİĞİNDE GÜMÜŞ DİAMİN FLORÜR (GDF):
MEKANİZMA VE TEDAVİ STRATEJİLERİ.....579**

Müzeyyen Dilşah DEMİRAY, Betül KAAAN, Halenur ALTAN

YENİDOĞAN VE BEBEKLERDE AĞIZ BAKIMI.....591

Başak AKDAĞ, Sevgi ZORLU

**TÜRKİYE VE DİĞER ÜLKELERDEKİ GÜNCEL KORUYUCU DIŞ
HEKİMLİĞİ UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 613**

Hülya ERTEN CAN, Alp SEMENDERÖĞLU, Özgür KANIK

**GÖMÜLÜ ÜÇÜNCÜ MOLAR CERRAHİSİ SONRASI
KOMPLİKASYONLAR VE YÖNETİMİ 633**

Zerrin KOSKOS, Doğan Ilgaz KAYA, Elif Esra ÖZMEN ÜNÜVAR

DENTAL KAYITLARIN BLOKZİNCİR TABANLI GÜVENLİ SAKLANMASI VE HUKUKİ BOYUT

Nihal ÖZCAN

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Dişhekimliği Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0003-2022-6085
- ❖ Mail: nihalozcane@kku.edu.tr

GİRİŞ

1. Dental Veri Yönetiminde Dijital Dönüşüm

Sağlıkta dijital dönüşüm, sadece kağıt kayıtların bilgisayara aktarılması değil, verinin güvenliği ve paylaşılabilişliği üzerine kurulu kapsamlı bir süreçtir. Diş hekimliği, yüksek çözünürlüklü radyolojik görüntüler ve uzun süreli hasta takibi gerektiren yapısıyla bu dönüşümün merkezindedir. Ancak geleneksel merkezi sistemler; siber saldırılar, veri manipülasyonu ve kurumlar arası iletişim kopukluğu gibi risklerle karşı karşıyadır (Mızrak & Aslan, 2023).

2. Blokzincir ve Bulut Entegrasyonu

Blokzinciri (Blockchain) mimarisinin anlaşılabilmesi için temel bileşenlerin tanımlanması zaruridir:

- Veri (Data): Henüz işlenmemiş, ham haldeki enformasyon birimlerini ifade eder.
- Jeton (Token): Belirli bir ekosistem içerisindeki hakları, varlıkları veya erişim yetkilerini temsil eden dijital birimdir.
- Özet Fonksiyonu (Hash): Blokların özgünlüğünü sağlayan, her bir veriye özgü üretilen ve "parmak izi" işlevi gören benzersiz algoritma çıktılarıdır.

Sisteme erişim, hastane veya yetkili bir yönetici tarafından verilen onay mekanizmasına bağlıdır. Yetkilendirilmiş hekimler, hasta verilerini sisteme dahil etme imkanına sahiptir; ancak bu veriler blokzinciri ağına aktarıldıktan sonra üzerlerinde herhangi bir modifikasyon yapılması teknik olarak imkansızdır. Hasta bilgileri, hash fonksiyonları aracılığıyla bit dizilerine dönüştürülerek bloklar halinde zincire eklenmektedir.

Bu yapıda her hasta için müstakil bir blokzinciri kurgulanmış olup, verideki en küçük sapma dahi blokzincirinin kimliğinin (hash değerinin) tamamen değişmesine yol açar. Hastalar, kendi hesapları üzerinden teşhis ve tedavi bilgilerine şifrelenmiş bir formatta erişim sağlayabilmekte; ancak verinin bütünlüğünü korumak adına kayıtlar üzerinde değişiklik yapma yetkileri bulunmamaktadır.

Blokzincir teknolojisi; merkeziyetsiz ve dağıtık mimarisi vasıtasıyla veri idaresi, siber güvenlik ve operasyonel şeffaflık boyutlarında kayda değer imkanlar sunmaktadır. Bu doğrultuda, blokzincir tabanlı kayıtların

yargı mercilerine ibraz edilme metodolojileri ile mahkemelerin söz konusu kayıtları tetkik ederken esas aldığı değerlendirme kriterleri mercek altına alınmıştır. Blokzinciri; verilerin kronolojik ve tek yönlü olarak kaydedildiği, kriptografik algoritmalar sayesinde tersine mühendislik müdahalelerine karşı yüksek direnç gösteren ve şeffaflık ilkesini temel alan bir veri tabanı mimarisidir. Bu teknoloji, ağ üzerindeki paydaşların veriye eş zamanlı ve ortak erişimine olanak tanıyan, güvenli ve dağıtık bir protokoller bütünü olarak tanımlanmaktadır. (Mızrak & Aslan , 2023). İlgili kayıtların kesin delil veya takdiri delil vasfıyla kabul edilebilirliği; senetle ispat kuralları ve delil başlangıcı müesseseleri çerçevesinde analitik bir biçimde irdelenmiştir. Ayrıca, bu dijital kayıtların yargılama süreçlerine olan yansımaları ve doğurduğu hukuki sonuçlar kapsamlı olarak analiz edilmiştir.

Gelişmekte olan bir teknoloji olarak blokzinciri, sunduğu inovatif çözümlerle geniş bir uygulama spektrumuna sahiptir. Mevcut konjonktürde özellikle sağlık bilişimi ve dijital dönüşüm süreçlerinde kendine stratejik bir yer edinen bu mimari, çeşitli teknolojik katmanlarla senkronize bir biçimde işlemektedir. Bu ekosistem içerisinde, verinin güvenli ve şeffaf bir şekilde paylaşılması; kriptografik özetleme (hashing) yöntemleri ve konsensüs (uzlaşma) algoritmaları vasıtasıyla tesis edilmektedir. Söz konusu mekanizmalar, verinin bütünlüğünü garanti altına alarak dağıtık ağ yapıları üzerindeki güven paradigmasını güçlendirmektedir (Mızrak & Aslan, 2023).

Netice itibarıyla, blokzincir tabanlı veri kayıtlarının Türk hukuk sistemine entegre edilmesinin; hukuki işlemlerin güvenilirliğini ve şeffaflık düzeyini artıracığı, aynı zamanda yargılama süreçlerine ivme kazandıracağı saptanmıştır. Bununla birlikte, yürürlükteki mevzuatın teknolojik gelişmeler karşısında yetersiz kalması hasebiyle birtakım yasal boşlukların mevcut olduğu ve bu eksikliklerin giderilmesi adına yeni regülasyonlara ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmıştır. Bu düzenlemelerin hayata geçirilmesiyle birlikte, blokzincir tabanlı kayıtların medeni yargılama süreçlerinde etkin, işlevsel ve güvenilir birer kanıt unsuru olarak istihdam edilmesi mümkün olacaktır (Tavus, 2024).

Dijital dönüşüm süreçlerinin ivme kazandığı ve teknolojik entegrasyonun toplumsal yapının tüm kademelerinde belirginleştiği mevcut konjonktürde, blokzincir teknolojisi; veri idaresi, siber güvenlik protokolleri ve operasyonel şeffaflık standartları açısından paradigma dönüştürücü bir nitelik taşımaktadır. Başlangıç aşamasında finansal piyasalarda kripto varlıkların teknolojik temeli olarak literatüre giren bu sistem, merkeziyetsiz

ve dağıtık mimarisi sayesinde finans sektörüyle sınırlı kalmayarak etki alanını genişletmiştir. Günümüzde blokzincir; verinin değişmezliği, doğruluğu ve kanıtlanabilirliği ilkesine dayanan hukuk, lojistik ve kamu yönetimi gibi alanların yanı sıra, özellikle sağlık bilişimi gibi stratejik disiplinlerde de köklü yapısal değişimlere zemin hazırlayan uygulama modelleri sunmaktadır. Sağlık bilişimi özelinde blokzincir, geleneksel merkezi veri tabanlarının sunduğu güvenlik açıklarını ve "tek bir noktadan arıza verme" (single point of failure) riskini ortadan kaldıran bir "güven protokolü" olarak konumlanmaktadır. Özellikle diş hekimliği gibi kişisel verilerin mahremiyetinin, yüksek çözünürlüklü radyolojik görüntülerin bütünlüğünün ve adli kimliklendirme süreçlerinin hayati önem taşıdığı bir alanda, bu teknolojinin sunduğu "değiştirilemezlik" ve "şeffaflık" özellikleri; hekim, hasta ve yasal merciler arasında güvenli bir ekosistemin temel taşıını oluşturmaktadır.

Kavramsal bir perspektifle blokzinciri; merkezi bir otoritenin denetimine ihtiyaç duymaksızın, işlemlerin güvenli, şeffaf ve geriye dönük değiştirilemez bir biçimde kaydedilmesini sağlayan dağıtık bir veri tabanı mimarisi olarak tanımlamak mümkündür. Bu teknoloji temelde, verileri kriptografik yöntemlerle şifreleyerek "blok" adı verilen birimlerde muhafaza eden ve bu blokları ardışık bir zincir yapısıyla birbirine entegre eden merkeziyetsiz bir kayıt sistemidir. (Kocaçınar, 2021; Tavus, 2024) Dolayısıyla blokzinciri; hiyerarşik bir merkeze dayanmadan, paydaşlar arasında hesap verebilir bir ekosistem inşa ederek geleneksel merkezi yapılara güçlü bir alternatif teşkil etmektedir (Yıldırım, 2018).

Zincirleme bir hiyerarşiyle organize edilen bu yapıda, her blok kendinden önceki bloğa kriptografik bir özet (hash) ile bağlıdır ve ağ içerisindeki tüm düğümler (katılımcılar) tarafından doğrulanmaktadır. Bu yapısal özellik sayesinde, ağ üzerindeki herhangi bir manipülasyon girişimi veya yetkisiz veri değişikliği sistem tarafından anlık olarak tespit edilip engellenebilmektedir. Söz konusu şeffaf ve müdahale edilemez nitelik, teknolojinin hukuki geçerliliğini ve güvenilirliğini pekiştirmektedir. Dolayısıyla blokzinciri; hiyerarşik bir merkeze dayanmadan, paydaşlar arasında hesap verebilir bir ekosistem inşa ederek geleneksel merkezi yapılara güçlü bir alternatif teşkil etmektedir (Kahveci Yetiş ve ark., 2022).

Tarihsel süreci incelendiğinde, blokzinciri teknolojisinin kuramsal temelleri 1991 yılında Stuart Haber ve W. Scott Stornetta tarafından yayımlanan ve dijital belgelerin zaman damgası ile korunmasını (Berber &

Öztürk, 2024) ele alan çalışmalara dayanmaktadır (Haber & Scott Stornetta, 1991).

Ancak teknolojinin fonksiyonel bir paradigmaya dönüşmesi, 2008 yılında Satoshi Nakamoto takma adıyla literatüre kazandırılan Bitcoin beyaz bülteni (whitepaper) ile gerçekleşmiştir. Bitcoin, blokzinciri teknolojisi vasıtasıyla merkezi bir otoriteye gereksinim duymadan dijital varlık transferlerini güvenli bir zeminde yürüten ilk somut uygulama örneği olmuştur (Alsalloum ve ark., 2024). Sistemin sunduğu bu merkeziyetsiz yapı, taraflar arası güveni maksimize ederken aracı kurumların operasyonel gerekliliğini minimize etme potansiyeline sahiptir (Tavus, 2024).

Blokzincir, verileri kriptografik yöntemlerle birbirine bağlayan "bloklardan" oluşur.

Veri Bütünlüğü ve Hashing: Her blok benzersiz bir "hash" değerine sahiptir (Mızrak & Aslan, 2023). Dental verilerde (örneğin bir implant planlaması) yapılacak en küçük yetkisiz değişiklik tüm zinciri bozarak güvenliği sağlar.

Hibrit Modeller: Büyük boyutlu dental görüntüler (3D tomografiler) doğrudan zincirde saklanmak yerine, "MinIO" gibi nesne depolama sistemlerinde tutulup, bu verilerin doğrulanabilir özetleri (hash) blokzincire işlenir (Kahveci Yetiş ve ark., 2022).

Akıllı Kontratlar: Tedavi onayları ve ödeme süreçleri, belirli koşullar sağlandığında otomatikleşen akıllı kontratlarla yönetilir .

3. Klinik Ve Adli Diş Hekimliğinde Uygulamalar

3.1. Tanı ve Tedavi Planlaması

Blokzincir, farklı uzmanlık dalları (Ortodonti, Cerrahi, Protetik Diş Tedavisi vb.) arasındaki veri kopukluğunu gidererek "birlikte çalışabilirliği" (interoperability) sağlar.

3.2. Adli Kimliklendirmede Kritik Rol

Kimliklendirme Adli Bilimlerin önemli konularından birini oluşturmaktadır. Canlı ya da ölü bir kimseyi tanıma ve başkalarından ayırmaya yarayan özelliklerin tespit edilmesine kimliklendirme denir. Ölü veya canlı kimsenin muayenesi ile yapılabildiği gibi insan vücuduna ait bir parçanın, bir dokunun, iz ve belirtilerin incelenmesiyle de yapılabilir. Adli

alanda değerlendirme, kurbanların ve şüphelilerin belirlenmesinde yetkililere yardımcı olunması, yasal olarak kabul edilebilir, okunabilir dental kayıtların toplanmasını ve korumasını gerektirmektedir. Çünkü ölüm öncesi diş kayıtları ile ölüm sonrası diş bulgularının karşılaştırılması kimliğin tespit edilmesinde en etkili, kolay ve doğru yöntemlerden biridir. Dişler ölüm sonrası en dayanıklı biyolojik yapılardır ve kimlik tespiti için ölüm öncesi (Antemortem) kayıtların doğruluğu hayatidir (Görmez & Yılmaz , 2014). Blokzincir, bu kayıtların manipüle edilmeden saklanmasını garanti eder ve felaket durumlarında dünyanın her yerinden yetkili mercilerce erişilebilir olmasını sağlar.

4. Veri Mahremiyeti, Etik ve Hukuki Çerçeve

Sağlık verilerinin araştırma için kullanımı ile hasta gizliliği arasındaki denge incelendiğinde, "Diferansiyel mahremiyet" ve "homomorfik şifreleme" gibi teknikler, dental verilerin kimlik ifşa edilmeden bilimsel analizlerde kullanılmasına olanak tanır (Churi ve ark., 2021).

4.1. Blokzincir Kayıtlarının Delil Niteliği

Blokzincir kayıtları Hukuk Muhakemeleri Kanunu kapsamında "elektronik belge" niteliğindedir (Tavus, 2024). Elektronik delillerin doğası gereği barındırdığı tahrifat ve yok olma riskleri, bu verilerin mahkemeye sunulma aşamasını kritik hale getirmektedir (Göksu, 2010). Buna karşın, blokzincir tabanlı kayıtlar yapısal olarak bu risklere karşı dirençlidir. Bu kayıtların yargı sürecine dahil edilmesinde kullanılan ekran görüntüsü yöntemi; URL, tarih/saat ve işlem hash değeri gibi bütünlük verilerini içermesi ve manipülasyonu engelleyici teknik önlemlerle (hash doğrulama, E-Tespit vb.) desteklenmesi şartıyla işlevsel bir araçtır. Ancak, teknolojik karmaşıklık nedeniyle uzman incelemesi (bilirkişi marifeti), kayıt içeriğine erişim ve meta verilerin (zaman damgası, cüzdan adresleri) analizi noktasında en rasyonel seçenek olarak öne çıkmaktadır (Akkan & Kamacı, 2023).

Hukuki statü açısından blokzincir kayıtları, geleneksel elektronik delillerden ayrıran karakteristik özelliklere sahiptir. Türk hukuk sistemindeki sınırlı sayıdaki kesin delil tanımı içerisinde blokzincir kayıtları henüz açıkça yer almamaktadır. Bu durum, özellikle güvenli elektronik imza ile entegre edilmemiş veya kamu denetimi dışında kalan (özel blokzincirler) sistemler için bir hukuki belirsizlik yaratmaktadır (Savaş, 2007). Kamu otoritesi tarafından yetkilendirilmemiş sistemlerdeki kayıtlar, mevcut yasal boşluklar

nedeniyle "senet" veya "kesin delil" vasfı taşıyamamakta; ancak hâkimin takdir yetkisine tabi birer yardımcı unsur veya delil başlangıcı olarak değerlendirilmektedir (Akkan & Kamacı, 2023). Netice itibarıyla, blokzincir kayıtlarının ispat gücü; kullanılan platformun güvenliğine ve konsensüs mekanizmasının etkinliğine doğrudan bağlıdır. Mevcut durumda, imza sahibinin resmi teşhisi noktasındaki eksiklikler nedeniyle bu kayıtlar hukuki anlamda senet olarak nitelendirilememekte delil başlangıcı olarak kabul edilmektedir. (Akkan & Kamacı, 2023).

Zaman damgası ve değişmezlik özellikleri, dental malpraktis davalarında hekimin veya hastanın iddialarını destekleyen en güçlü delillerden biridir. Fiziksel muayenenin yapılamadığı ve tanı süreçlerinin tamamen dijital verilerle yürütüldüğü durumlarda, bu verilerin doğruluğu ve hukuki geçerliliği büyük önem kazanır. Bu noktada blokzincir kayıtları, verinin mahkemede "delil başlangıcı" olarak kabul edilmesini sağlayan en güvenilir teknolojik altyapıyı sunar (Tavus, 2024).

5. Geleceğin Vizyonu: Dijital İkizler Ve Tele-Diş Hekimliği

5.1. Biyolojik Sistemlerin Dijital İkizleri

Dijital ikizler (Digital Twins-DT), canlı sistemlerin gerçek zamanlı sanal kopyalarının oluşturulmasını ele alır (Alsalloum ve ark., 2024). Diş hekimliğinde bir hastanın tüm ağız yapısının "dijital ikizi", blockchain üzerinde güvenli bir şekilde saklanarak tedavi simülasyonları için kullanılabilir. Hastalık modellemesi perspektifinden DT mimarileri; bireysel düzeyde (Sun ve ark., 2023; Yang & Jiang, 2024), popülasyon ölçeğinde (Parollo ve ark., 2024) veya vücut içerisindeki spesifik bir organ/sistem bazında (Guo & Yao, 2021) kurgulanabilmektedir. DT' in konvansiyonel hastalık modelleme yaklaşımlarına kıyasla sunduğu temel avantaj; elektronik sağlık kayıtları, giyilebilir teknolojik cihazlar ve çevresel sensörler gibi heterojen kaynaklardan gelen gerçek zamanlı verileri dinamik bir biçimde sürece dahil edebilme yetisidir(Dihan ve ark., 2024)

DT hastalıkların simülasyon ve modelleme süreçlerinde kritik bir işlev üstlenmektedir. Bu teknoloji; kişiselleştirilmiş tıp uygulamaları (Rahmim ve ark., 2022), yüksek öngörü kapasitesi (Stahlberg ve ark., 2022; Thiong'o & Rutka, 2022), eş zamanlı izleme (Zhang & Kelly, 2017; Yu ve ark., 2021) ve popülasyon sağlığı yönetimi (Fagherazzi & Ravaud, 2019; Elkefi & Asan, 2022) gibi alanlarda stratejik faydalar sağlamaktadır. Ayrıca operasyonel

maliyet etkinliği sunan bu modeller (McClenaghan ve ark., 2023; Oettl ve ark., 2023), nihai olarak hasta çıktılarını optimize etmekte ve kamu sağlığına yönelik karar destek mekanizmalarını veri temelli argümanlarla besleyerek sağlık hizmetlerinde bir dönüşüm oluşturmaktadır.

Hastalık modelleme, farmakolojik testler ve kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarını optimize eden DT; tanısal isabet oranının artırılması, minimal invaziv tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi ve ilaç keşif süreçlerinin hızlandırılması gibi stratejik avantajlar sunmaktadır. Bu teknoloji, operasyonel maliyetlerin düşürülmesinin yanı sıra; veri sahipliği, hasta otonomisinin güçlendirilmesi ve hayvan deneylerine olan bağımlılığın azaltılması gibi önemli etik kazanımları da beraberinde getirmektedir (Alsalloum ve ark., 2024). Söz konusu kazanımların hayata geçirilmesi; sağlık profesyonelleri, veri bilimcileri ve düzenleyici kurumlar gibi çok disiplinli paydaşların eş güdümlü çalışmasına bağlıdır.

Sağlık hizmetlerinde DT uygulamalarının etik ve hakkaniyetli bir zeminde yürütülebilmesi için sağlam yönetim çerçevelerinin oluşturulması bir zorunluluktur. Sürekli bir işbirliği kültürü, teknolojik inovasyon ve etik yönetim stratejilerinin entegrasyonu sayesinde DT; sağlık ekosisteminin yalnızca veri odaklı ve operasyonel verimlilik temelinde değil, aynı zamanda daha insancıl, adil ve hasta merkezli bir gelecek projeksiyonuna evrilmesine olanak tanımaktadır. (Alsalloum ve ark., 2024)

5.2. Tele-Diş Hekimliği ve Yasal Kayıt

Kahveci Yetiş ve ark. (2022), uzaktan muayene sistemlerinde WebRTC üzerinden yapılan görüşmelerin ve tanıların "yasal loglar" olarak blokzincire işlenmesinin önemini vurgular. Bu durum Covid 19 gibi fiziksel muayene yapılamayan salgın durumlarında hekimin sorumluluğunu koruyan bir mekanizmadır (Kahveci Yetiş ve ark., 2022). Güncel teknolojik imkanlar, hastaların uzaktan etkileşimli muayene edilmesine olanak tanımaktadır. Bu süreçte sağlık kuruluşları, sigorta şirketleri, hekimler ve hastalar arasındaki muayene, tetkik ve tedavi döngüsünde veri mahremiyetinin korunması kritik bir gerekliliktir. Çevrimiçi muayene verilerinin işlenmesi ve depolanması; ulusal ölçekte Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK), uluslararası ölçekte ise Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) ile uyumlu olmak zorundadır.

Kahveci Yetiş ve arkadaşlarının yaptığı çalışma kapsamında (Kahveci Yetiş ve ark., 2022), sağlık sistemleri için geliştirilen etkileşimli platformda;

akıllı sözleşmeler ve blokzincir mimarisi entegre edilerek kayıtların yasal zemine oturtulması hedeflenmiştir. Bu model sayesinde, hekim-hasta etkileşimi neticesinde oluşan verilerin erişilemezliği ve değiştirilemezliği garanti altına alınmış; güvenli depolama ve yetkisiz erişim denetimi ile söz konusu kayıtların yargı mercilerinde hukuki delil niteliği kazanması amaçlanmıştır.

5.3. Teletıp ve Blokzincir Tabanlı Etkileşimli Sağlık Platformları

Literatürde teletıp, sağlık personeline erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde hizmet kalitesini artırmaya yönelik bir çözüm olarak tanımlanmaktadır. Abbasi ve arkadaşları tarafından geliştirilen SEHAT: Smart E-Health App for Teliagnosis sistemi (Abbasi ve ark., 2021), hastaların biyometrik verilerinin (vücut sıcaklığı, kan basıncı, oksijen saturasyonu vb.) mobil uygulama aracılığıyla otomatik ölçümünü ve doktor-hasta eşleşmesini hedefleyerek manuel veri girişinden kaynaklanan hataları minimize etmeyi amaçlamaktadır. Gerçek zamanlı ses ve görüntü aktarımı sağlayan bilişim çözümlerinin, **KVKK** ve **GDPR** standartları gereği kişisel verilerin korunması ve işlenmesi süreçlerine tam uyumlu olması zorunludur. Bu bağlamda, kaydedilen verilerin erişilemez ve değiştirilemez bir yapıda depolanması, yalnızca güvenlik protokollerini güçlendirmekle kalmayıp, olası hukuki uyuşmazlıklarda bu kayıtların hukuki delil olarak kullanılabilmesine imkan tanımaktadır. Teknolojinin "silinemezlik" özelliği ile KVKK' daki "unutulma hakkı" arasındaki çelişki, teknik mimaride verinin fiziksel olarak dışarıda saklanmasıyla çözümlenmelidir.

Kahveci Yetiş ve arkadaşları tarafından önerilen mimari ise (Kahveci Yetiş ve ark., 2022); randevu yönetiminden sanal oda kurulumuna, verilerin şifrelenmesinden blokzincir tabanlı dağıtık depolamaya kadar geniş bir spektrumu kapsamaktadır. Sistemde yer alan akıllı sözleşmeler, yetkilendirilmiş üçüncü tarafların veriye erişimini düzenlerken; blokzinciri ağı, işlemlerin izlenebilirliğini ve geri döndürülemezliğini garanti altına almaktadır. Bu entegre yapı, kurumlar arası güven tesis ederek sağlık hizmetlerinin dijitalleşmesinde şeffaf ve hukuki gereksinimleri karşılayan bir model sunmaktadır. Doktor-hasta-kurum bileşenli e-sağlık platformunun önerilen mimarisi, tüm katılımcılar için hasta verilerine yönelik gizlilik ve güvenlik fonksiyonlarını, erişim kontrol politikalarını, sistem yöneticileri tarafından yapılandırılabilen akıllı sözleşmelere bağlamaktadır. Böylece görüşmelere ait yasal kayıtların güvenilirliği sağlanmıştır.

Sağlık sistemleri için etkileşimli platform oluşturmak için ilk olarak sistem yöneticisi, yönetici, doktor ve hasta olmak üzere 4 farklı kullanıcı grubu tanımlanmıştır. Bu kullanıcı gruplarının genel tanımları aşağıda verilmiştir:

Sistem Yöneticisi: Erişim kontrol listeleri, akıllı sözleşmeler, depolama servisleri ve alt sistemlerle ilgili tüm verileri izleme dahil geniş yetkilere sahiptir. Alt sınıf yöneticilerin erişebileceği alt sistemleri ve izinleri tanımlar.

Yönetici: erişim kontrol listeleri, akıllı sözleşmeler, depolama hizmeti ve alt sistemlerle ilgili tüm verileri kısmen izlemek dahil olmak üzere birtakım yetkilere sahiptir. Doktor ve hastalara verilen izinleri tanımlar.

Doktor: Yönetici tarafından verilen yetkiler dahilinde hastaları arasındaki tüm tıbbi konsültasyon sürecini sürdürmek için yetkilere sahiptir.

Hasta: Kendi tıbbi konsültasyon sürecini yürütmek ve kendi işlemlerini izlemek için sınırlı yetkilere sahiptir. (Kahveci Yetiş ve ark., 2022)

SONUÇ ve ÖNERİLER

Blokzincir, diş hekimliğini sadece "tedavi eden" bir meslekten, "veriyi güvenle yöneten ve simüle eden" bir disipline dönüştürmektedir. Diş hekimliğinde dijital dönüşüm, verilerin yalnızca elektronik ortama taşınması değil; bu verilerin güvenliği, değişmezliği ve hukuki geçerliliği üzerine kurulu yeni bir ekosistemdir. Blokzincir teknolojisi, sunduğu merkeziyetsiz yapı ve kriptografik doğrulama yöntemleriyle, dental kayıtların tahrif edilmesini engelleyen ve siber saldırılara karşı dirençli bir "güven protokolü" oluşturmaktadır. Özellikle yüksek çözünürlüklü radyolojik görüntüler ve hibrit depolama modelleri, bu sistem sayesinde hem doktor hem de hasta için erişilebilir ve korunmuş hale gelmektedir.

Klinik açıdan dijital ikizlerin blokzincir ile entegrasyonu, kişiselleştirilmiş tedavi simülasyonlarının ve uzaktan tanı süreçlerinin doğruluğunu maksimize etmektedir. Bu durum, fiziksel muayenenin kısıtlı olduğu senaryolarda dahi tanısal isabet oranını artırmakta ve tedavi planlamalarını optimize etmektedir.

Hukuki boyutta ise blokzincir kayıtları, manipüle edilemez doğası gereği tıbbi uyumsuzluklarda ve malpraktis davalarında güçlü bir "delil başlangıcı" teşkil etmektedir. Sonuç olarak; blokzincir tabanlı dental veri

yönetimi, sağlık hizmetlerinde şeffaflığı artırarak hem operasyonel verimliliği hem de hasta güvenliğini merkeze alan, teknoloji ve hukukun uyum içinde çalıştığı bir gelecek vaat etmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, J., Alina, L., Abro, A. M., & Lal, B. (2021). SEHAT: Smart E-Health App for Telediagnosis and first opinion. IMTIC 2021 - 6th International Multi-Topic ICT Conference: AI Meets IoT: Towards Next Generation Digital Transformation. <https://doi.org/10.1109/IMTIC53841.2021.9719812>
- Akkan, M., & Kamacı, E. C. (2023). Medenî Usûl Hukuku Açısından Nft'lerin Delil Olarak Değerlendirilmesi. *Journal of İnönü University Faculty of Law*, 14(2), 456–468. <https://doi.org/10.21492/inuhfd.1280754>
- Alsalloum, G. A., Al Sawafthah, N. M., Percival, K. M., & Hussein, G. A. (2024). Digital Twins of Biological Systems: A Narrative Review. *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, 5, 670–677. <https://doi.org/10.1109/OJEMB.2024.3426916>
- Berber, A., & Öztürk, E. (2024). Blockzincir Teknolojisi ve Akıllı Sözleşmeler: Temel Yapı, Özellikler ve Veri Güvenliği Perspektifi. *Periodicum Iuris*, 2(1), 33–76. <https://dergipark.org.tr/en/pub/pid/article/1402270>
- Churi, P., Pawar, A., & Moreno-Guerrero, A. J. (2021). A Comprehensive Survey on Data Utility and Privacy: Taking Indian Healthcare System as a Potential Case Study. *Inventions* 2021, Vol. 6, 6(3). <https://doi.org/10.3390/inventions6030045>
- Dihan, M. S., Akash, A. I., Tasneem, Z., Das, P., Das, S. K., Islam, M. R., Islam, M. M., Badal, F. R., Ali, M. F., Ahamed, M. H., Abhi, S. H., Sarker, S. K., & Hasan, M. M. (2024). Digital twin: Data exploration, architecture, implementation and future. *Heliyon*, 10(5), e26503. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26503>
- Elkefi, S., & Asan, O. (2022). Digital Twins for Managing Health Care Systems: Rapid Literature Review. *Journal of Medical Internet Research*, 24(8), e37641. <https://doi.org/10.2196/37641>
- Fagherazzi, G., & Ravaud, P. (2019). Digital diabetes: Perspectives for diabetes prevention, management and research. *Diabetes & Metabolism*, 45(4), 322–329. <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2018.08.012>
- Göksu, M. (2010). Hukuk Yargılamasında Elektronik Delil. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Görmez Ö. & Yılmaz H., Süleyman Demirel Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, A. (2014). Kimliklendirmede Dental Değerlendirmenin Önemi. *Medical Journal of Süleyman Demirel University*, 21(1), 29–34. <https://dergipark.org.tr/en/pub/sdutfd/article/226024>
- Guo, D., & Yao, D. (2021). The Digital Twins Brain (DTB): A Simulation Platform for Large-Scale Brain Dynamics. *International Journal of Psychophysiology*, 168, S197. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.07.536>
- Haber, S., & Scott Stornetta, W. (1991). How to Time-Stamp a Digital Document. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 537 LNCS, 437–455. https://doi.org/10.1007/3-540-38424-3_32
- Kahveci Yetiş, A., Şahin, K., Ercan, T., Tokel, O., Yürük, B., & Bilgi Teknolojileri AŞ, P. (2022). Sağlık Sistemleri İçin Etkileşimli Platform Ve Yasal Kayıt. *ARCENG (International Journal Of Architecture And Engineering)* ISSN: 2822-6895, 2(2), 10–19. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7740996>
- Kocaçınar, A. (2021). İspat Hukuku Açısından Blockchain Teknolojisi ve Akıllı Sözleşmeler. *İstanbul Kültür Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 20(2), 471–488.
- McClenaghan, A., Gopsill, J., Ballantyne, R., & Hicks, B. (2023). Cost Benefit Analysis for Digital Twin Model Selection at the Time of Investment. *Procedia CIRP*, 120, 1197–1202. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.148>
- Mizrak, H., Aslan, S., Hastaların Elektronik Sağlık Kayıt (ESK) Sistemleri için Güvenli Blok Zincir Destekli Bulut Sistemi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(2), 517–526. Eğitim Enstitüsü, L., Turgut Özal Üniversitesi, M., Mühendisliği, Y., & ve Doğa Bilimleri Fakültesi, M. (2023). <https://doi.org/10.35234/fumbd.1289650>
- Nakamoto, S. (n.d.). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Retrieved March 4, 2026, from www.bitcoin.org
- Oettl, F., Eckart, L., & Schilp, J. (2023). Cost estimation approach of a digital twin implementation in industry. *Procedia CIRP*, 118, 318–323. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.055>
- Parollo, M., Biasi, N., Seghetti, P., De Lucia, R., Cori, Andrea Di, Segreti, L., Grifoni, G., Fiorentini, F., Torre, M., Barletta, V., Canu, A., Sbragi, S., VIANI, S., Tognetti, A., & Zucchelli, G. (2024). PO-06-063 Clinical Validation Of A Novel Digital Twin Framework For Ventricular Functional Substrate Simulation In Ischemic And Non-

Ischemic Patients. Heart Rhythm, 21(5), S691.

- Rahmim, A., Brosch-Lenz, J., Fele-Paranj, A., Yousefirizi, F., Soltani, M., Uribe, C., & Saboury, B. (2022). Theranostic digital twins for personalized radiopharmaceutical therapies: Reimagining theranostics via computational nuclear oncology. *Frontiers in Oncology*, 12, 1062592. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.1062592>
- Savaş, A., “İnternet Ortamında Yapılan Tek Taraflı Hukuki İşlemler ve Özellikle Elektronik Vasiyetname”, Selçuk Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, Cilt:15, Sayı:2, 2007, (51-91) s.74.
- Stahlberg, E. A., Abdel-Rahman, M., Aguilar, B., Asadpoure, A., Beckman, R. A., Borkon, L. L., Bryan, J. N., Cebulla, C. M., Chang, Y. H., Chatterjee, A., Deng, J., Dolatshahi, S., Gevaert, O., Greenspan, E. J., Hao, W., Hernandez-Boussard, T., Jackson, P. R., Kuijjer, M., Lee, A., ... Zervantonakis, I. (2022). Exploring approaches for predictive cancer patient digital twins: Opportunities for collaboration and innovation. *Frontiers in Digital Health*, 4, 1007784.
- Sun, Q., Chase, J. G., Zhou, C., Tawhai, M. H., Knopp, J. L., Möller, K., Hu, T., & Shaw, G. M. (2023). Patient Spontaneous Effort Estimation in Digital Twin Model with B-spline Function. *IFAC-PapersOnLine*, 56(2), 2096–2101. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.1111>
- Tavus, E. E. (2024). Blokzincir Tabanlı Kayıtların Medeni Usul Hukuku Açısından Güvenilirliği ve Delil Olarak Değerlendirilmesi. Çağ Üniversitesi.
- Thiong'o, G. M., & Rutka, J. T. (2022). Digital Twin Technology: The Future of Predicting Neurological Complications of Pediatric Cancers and Their Treatment. *Frontiers in Oncology*, 11, 781499. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.781499>
- Yang, H., & Jiang, Z. (2024). Decision support for personalized therapy in implantable medical devices: A digital twin approach. *Expert Systems with Applications*, 243(6), 122883. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122883>
- Yıldırım, H. (2018). Açık ve Uzaktan Öğrenmede Blokzincir Teknolojisinin Kullanımı. *Açıköğretim Uygulamaları Ve Araştırmaları Dergisi*, 4(3), 142–153.
- Yu, J., Song, Y., Tang, D., & Dai, J. (2021). A Digital Twin approach based on nonparametric Bayesian network for complex system health monitoring. *Journal of Manufacturing Systems*, 58(1), 293–304.
- Zhang, Y., & Kelly, J. R. (2017). Dental Ceramics for Restoration and Metal Veneering. *Dental Clinics of North America*, 61(4), 797–819.

DİJİTAL ORTODONTİDE YAPAY ZEKA DESTEKLİ TEDAVİ İZLEME SİSTEMLERİ

Emre NAİBOĞLU

- ❖ Kurum Bilgisi: Nill Dent Ağız ve Diş Sağlığı Polikliniği, Van/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-0192-2408
- ❖ Mail: emrenaiboglu@gmail.com

1. GİRİŞ

Ortodonti, son on yılda dijitalleşmenin en hızlı dönüştürdüğü diş hekimliği alanlarından biri hâline gelmiştir. Dijital iş akışı; ağız içi taramalar (IOS), konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT), üç boyutlu (3B) yüz görüntüleme, dijital modeller ve yazılım tabanlı planlama gibi çoklu veri kaynaklarını klinik pratiğe entegre ederek tanı, tedavi planlama ve tedavi yönetiminde daha standart, ölçülebilir ve izlenebilir bir çerçeve sunmaktadır (Blum ve ark., 2023). Bu dönüşüm, yalnızca tanısal doğruluğu artırmakla kalmayıp tedavinin her aşamasında (aktif faz, ilerleme takibi, risk yönetimi ve stabilite değerlendirmesi) karar süreçlerini hızlandıran bir altyapı oluşturmuştur (Adel ve ark., 2024; Li ve ark., 2024).

Ortodontik tedavi; olgunun karmaşıklığına ve biyolojik yanıtın değişkenliğine bağlı olarak aylar hatta yıllar sürebilen, adaptif bir süreçtir. Hedeflenen sonuca ulaşabilmek için yalnızca başlangıç planlaması değil, tedavi boyunca ilerleyişin düzenli izlenmesi ve gerektiğinde planın hassas biçimde güncellenmesi gerekir. Geleneksel takip yaklaşımı periyodik klinik kontroller ve görüntüleme/veri karşılaştırmalarına dayanır; ancak bu yaklaşımın öznel değerlendirme, ince değişimlerin geç fark edilmesi ve erken komplikasyon öngörüsünde sınırlılık gibi yapısal kısıtları vardır. Bu nedenle tedavi takibini daha veri temelli hâle getiren, sapmaları erken yakalayan ve klinik kararları destekleyen sistemlere gereksinim artmaktadır (Guo ve ark., 2025).

YZ tabanlı sistemler; farklı veri kaynaklarından gelen bilgileri entegre ederek diş hareketini daha hassas izleme, riskleri erken öngörme ve klinik karar desteği sağlama potansiyeli ile öne çıkmaktadır (de Oliveira Fernandes ve ark., 2025; Li ve ark., 2024). Derin öğrenme (DÖ) ve makine öğrenmesi (MÖ) modelleri, görüntü verileri üzerinden otomatik analiz ve sınıflama yapabilmekte; böylece manuel iş yükünü azaltırken klinik tutarlılığı artırabilmektedir (Yang ve ark., 2023). Bu bağlamda YZ, ortodontide “takip” kavramını aralıklı ve statik değerlendirmeden daha dinamik ve sürekli bir izlem yaklaşımına taşımaktadır.

2. Dijital Ortodontide Tedavi Takibinin Evrimi

2.1. Geleneksel takip yöntemleri

Geleneksel ortodontik takip; klinik muayene, periyodik fotoğraf/radyografi, sefalometrik analiz ve model karşılaştırmaları gibi yöntemlerle yürütülür. Bu yaklaşım klinik standartların temelini oluşturmakla

birlikte; değerlendirme sıklığı randevu aralıkları ile sınırlıdır ve birçok parametre klinisyenin deneyimine dayalı yorum gerektirir (Wafaie ve ark., 2023).

2.2. Dijital kayıtların klinik değeri

Dijital kayıtlar, tedavinin her aşamasında karşılaştırılabilir veri üretir: IOS ile dental ark değişimleri, 3B yüz verileri ile yumuşak doku değişimleri ve CBCT ile iskeletsel/periodontal yapıların ayrıntılı analizi mümkün olur. Dijital verinin en kritik kazanımı, ölçülebilirlik ve izlenebilirlik üzerinden klinik kararların standardizasyonunu güçlendirmesidir. Ayrıca seri kayıtlar, tedavi planı ile gerçekleşen hareketler arasındaki farkların erken saptanmasına olanak tanır (Sahlsten ve ark., 2024).

2.3. Mevcut yaklaşımların sınırlılıkları

Dijital veri artışı tek başına yeterli değildir; veriyi anlamlandırmak, sapmaları klinik olarak yorumlamak ve aksiyona dönüştürmek gerekir. Ayrıca tekrar eden CBCT gibi iyonizan görüntüleme yöntemlerinin sık kullanımının etik ve radyasyon boyutu vardır; bu nedenle veriyi optimize eden ve gerektiğinde daha az radyasyonla izlemeyi hedefleyen yaklaşımlar önem kazanmıştır (Chen ve ark., 2022). Bir diğer kısıt, veri kaynaklarının farklı yazılımlar ve formatlar arasında uyumsuzluğu ve klinik iş akışına entegrasyon zorluğudur (Yang ve ark., 2023).

3.Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi: Ortodontistler İçin Temel Kavramlar

3.1. Yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme

YZ, insan zekâsı gerektiren görevleri gerçekleştirebilen sistemlerin genel adıdır; MÖ, veriden örüntü öğrenerek tahmin ve sınıflama yapan alt alandır; DÖ ise çok katmanlı sinir ağları ile özellikle görüntü ve sinyal verilerinde yüksek performans sağlayan yaklaşımdır (Blum ve ark., 2023). Ortodontide bu kavramlar, çoğunlukla görüntü analizi, otomatik ölçüm, risk öngörüsü ve takip karar destek sistemlerinde somutlaşır (Zhang ve ark., 2023).

3.2. Görüntü tabanlı algoritmalar

Konvolüsyonel sinir ağları (CNN) gibi DÖ mimarileri; sefalometrik landmark tespiti, segmentasyon (diş/çene), patoloji taraması ve seri görüntülerde değişim analizi gibi görevlerde kullanılır (Sahlsten ve ark., 2024;

Yang ve ark., 2023). Çok modlu füzyon yaklaşımları, CBCT ve IOS gibi veri kaynaklarını birleştirerek daha kapsamlı değerlendirme hedefler (Chen ve ark., 2022).

3.3. Klinik karar destek sistemleri

Klinik karar destek sistemleri; “beklenen gidişat” ile “gerçek ilerleyiş” arasındaki farkı saptayıp hekime uyarı ve öneri üreten yapılardır (Kazimierczak ve ark., 2024). Buradaki amaç hekimin yerini almak değil, hekimin karar kalitesini ve hızını artıran bir “asistan” işlevi görmektir (Dot ve ark., 2022). Bu sistemler, özellikle uyum sorunları, istenmeyen biyolojik yanıtlar ve komplikasyon riskleri için erken sinyal üretmeyi hedefler (Lee ve ark., 2022).

4. Yapay Zekâ Destekli Tedavi Takip Sistemleri

4.1 Görüntü Tabanlı Tedavi Takibi

Uzaktan izlem platformları, hastanın belirli aralıklarla yüklediği ağız içi fotoğrafları üzerinden oklüzyon, ataşman/braket durumu, gingival görünüm ve hijyen göstergelerini değerlendirebilir (Strunga ve ark., 2023). Bu yaklaşım, randevu aralıkları dışında da izlem olanağı sağlayarak sapmaların daha erken yakalanmasını hedefler (Nassani ve ark., 2024).

Zaman serili veriler (seri foto/video) tedavi dinamiklerini daha iyi yansıtabilir. Ardışık kayıtlar üzerinden değişim yönü ve hızı izlenebilir, “tahmini–gerçekleşen” ilerleyiş farkı saptanarak klinik aksiyon tetiklenebilir (Kazimierczak ve ark., 2024; Nassani ve ark., 2024). Bu yaklaşım, klasik “aralıklı kontrol” paradigmasından daha sürekli bir takip mantığına geçişi destekler.

4.2 Şeffaf Plak Tedavilerinde YZ Destekli Takip

Şeffaf plak tedavilerinde başarının belirleyicilerinden biri hasta uyumudur. YZ destekli sistemler, seri görüntüler ve taramalar üzerinden tracking kaybı, ataşman sorunları ve planlanan hareketten sapmaları işaretleyebilir (Nassani ve ark., 2024). Böylece klinisyen, uyumsuzluğu veya biyomekanik verimsizliği erken fark edebilir (Manimegalan ve ark., 2025).

Dijital planlama ile elde edilen “hedef” hareketler, seri IOS/STL verileri veya görüntüler ile karşılaştırılarak fark analizi yapılabilir (Kazimierczak ve ark., 2024). Bu farkın erken saptanması, gereksiz zaman kaybını ve ilerleyen fazlarda büyüyen düzeltme ihtiyacını azaltabilir (Adel ve ark., 2024).

Refinement ihtiyacının erken dönemde öngörülmesi; hasta memnuniyeti, süre yönetimi ve kaynak planlaması açısından kritiktir. YZ tabanlı izlem, sapmaların büyümeden yönetilmesine katkı sağlayarak daha proaktif bir refinement stratejisini mümkün kılabilir (Kazimierczak ve ark., 2024).

4.3 Sabit Ortodontik Tedavilerde YZ Uygulamaları

Sabit tedavilerde braket kopması, tel batması gibi sorunlar kontrol randevusuna kadar fark edilmeyebilir. Uzaktan izlem ve görüntü analizi, bu tür problemlerin daha erken tespit edilmesini ve gereksiz acil randevuların azalmasını hedefler (Strunga ve ark., 2023).

Sabit apareylerle tedavide ağız hijyeninin bozulduğu; bunun braket ve tel varlığı nedeniyle temizliğin zorlaşmasıyla ilişkili olduğu iyi bilinmektedir. Bu nedenle OPI ve MGI gibi indeksler ortodonti hastalarında hijyen ve gingival sağlığın daha uygun değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. YZ tabanlı uzaktan izlem sistemleri, görüntü analizi ile plak ve gingival bulguları işaretleyerek hastaya hatırlatmalar gönderebilir ve hekime uyarı üretebilir. Ancak uzun dönem kullanımda hasta motivasyonunun azalması ve “uygulama yorgunluğu” gibi etkiler, kazanımların sürdürülebilirliğini sınırlayabilir (Snider ve ark., 2023).

5. Klinik Avantajlar ve Hasta Yönetimi

Hasta uyumu, özellikle şeffaf plak tedavilerinde sonuçların temel belirleyicilerindendir. Uygulama tabanlı hatırlatmalar, ilerleme görselleştirmesi ve hedef kilometre taşları; hastanın motivasyonunu artırarak protokole bağlılığı destekleyebilir (Kavasoglu & Eratilla, 2025). Ancak uyumun zamanla azalabileceği ve dijital sağlık uygulaması kullanımının geçici olabileceği unutulmamalıdır (Snider ve ark., 2023).

Uzaktan izlem; yoğun programı olan veya coğrafi olarak uzak bölgelerde yaşayan hastaların takibini kolaylaştırarak erişimi artırır. Sapma saptandığında klinisyenin erken müdahale edebilmesi, tedavi verimliliğini artırabilir (Manimegalan ve ark., 2025; Nassani ve ark., 2024).

Dijital izleme, gereksiz kontrol randevularını azaltma ve randevu planlamasını optimize etme potansiyeli taşır; bu durum koltuk süresinin daha verimli kullanımını ve klinik kaynak yönetimini güçlendirebilir (Manimegalan ve ark., 2025).

6. Etik, Hukuki ve Veri Güvenliği Boyutu

Büyük ölçekli görüntü ve sağlık verisinin kullanımı, mahremiyet ve siber güvenlik risklerini artırır. Bu nedenle güçlü şifreleme, düzenlemelere uyum ve etik veri yönetimi temel gerekliliklerdir (Wang ve ark., 2021).

YZ'nin "kara kutu" yapısı, kararın gerekçesinin açıklanmasını zorlaştırabilir; klinik güven ve denetlenebilirlik açısından açıklanabilir YZ yaklaşımları önemlidir. Klinik sorumluluk nihai olarak klinisyene ait olmalı; YZ karar verici değil, karar destekleyici olarak konumlandırılmalıdır (Dot ve ark., 2022).

Pediyatrik popülasyonda veri güvenliği, onam süreçleri ve özellikle görüntüleme kararlarının gerekçelendirilmesi daha hassas değerlendirme gerektirir. Ayrıca çocuk ve ergen hastalarda uyum dinamikleri ve davranışsal etkiler farklılık gösterebilir (Kavasoglu & Eratilla, 2025).

7. Sınırlılıklar ve Güncel Tartışmalar

Veri setlerinde demografik ve klinik temsiliyet eksikliği, algoritmik önyargıya neden olabilir; bu durum bazı gruplarda performans düşüklüğü ve klinik eşitsizlik riski doğurabilir (Nassani ve ark., 2024).

Görüntü kalitesi, cihaz farklılıkları, ışık koşulları, hasta tarafından çekim standardı gibi faktörler model performansını etkileyebilir. Ayrıca eğitim verisi ile gerçek klinik veri farklı olduğunda performans sapmaları görülebilir.

Çok merkezli, gerçek yaşam verisiyle yürütülen doğrulama çalışmaları ve uzun dönem sonuç verileri hâlen sınırlıdır. Bu nedenle klinik entegrasyon; kanıt düzeyi, güvenlik ve standardizasyon gereksinimleri ile birlikte değerlendirilmelidir (Wu ve ark., 2022; Vinayahalingam ve ark., 2023).

8. Öneriler

YZ; bireysel biyolojik yanıtı, uyum dinamiklerini ve tedavi gidişatını entegre ederek daha kişiselleştirilmiş protokollerin geliştirilmesini destekleyebilir (de Oliveira Fernandes ve ark., 2025)

Seri IOS/3B yüz verisi ve biyomekanik modellemelerin entegrasyonu ile "dijital ikiz" yaklaşımı; tedavinin simülasyonu, risk öngörüsü ve adaptif planlama için güçlü bir çerçeve oluşturabilir (Kazimierczak ve ark., 2024).

Gelecekte en güçlü model, YZ'nin klinisyenin yerine geçtiği değil; klinisyenin uzmanlığıyla YZ'nin analitik gücünün birleştiği hibrit model

olacaktır (Dot ve ark., 2022). Bu iş birliği, karar kalitesini ve iş akışı verimliliğini artırma potansiyeli taşır.

9. Sonuç

YZ destekli dijital tedavi izleme sistemleri, ortodontide tedavi takibini daha dinamik, ölçülebilir ve proaktif hale getirmektedir. Uzaktan izlem, hasta uyumu ve klinik zaman yönetimi açısından önemli fırsatlar sunarken; veri güvenliği, şeffaflık ve klinik doğrulama gereksinimleri çözülmesi gereken temel başlıklardır.

Klinik uygulamada güvenli yaygınlaşma için (i) standart çekim/tarama protokolleri, (ii) çok merkezli validasyon, (iii) açıklanabilirlik ve (iv) etik-hukuki çerçevenin netleştirilmesi önceliklidir. Böylece YZ destekli sistemler, ortodontik bakımın daha verimli, kişiselleştirilmiş ve hasta odaklı hale gelmesinde daha güçlü bir rol üstlenebilir.

KAYNAKLAR

- Adel, S. M., Bichu, Y. M., Pandian, S. M., Sabouni, W., Shah, C., & Vaid, N. (2024). Clinical audit of an artificial intelligence (AI) empowered smile simulation system: A prospective clinical trial. *Scientific Reports*, 14(1), 19385. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69314-6>
- Blum, F. M. S., Mohlhenrich, S. C., Raith, S., Pankert, T., Peters, F., Wolf, M., et al. (2023). Evaluation of an artificial intelligence-based algorithm for automated localization of craniofacial landmarks. *Clinical Oral Investigations*, 27(5), 2255–2265. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-04978-4>
- Chen, H., Qu, Z., Tian, Y., Jiang, N., Qin, Y., Gao, J., et al. (2024). A cross-temporal multimodal fusion system based on deep learning for orthodontic monitoring. *Computers in Biology and Medicine*, 180, 109025. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2024.109025>
- de Oliveira Fernandes, G. V., & Fernandes, J. C. H. (2025). New algorithm/tool used to achieve the periodontal risk assessment, diagnosis and prognosis (GF-PeDRA©): A clinical study with 221 patients. *Dental and Medical Problems*, 62(5), 801–813. <https://doi.org/10.17219/dmp/199583>
- Dot, G., Rafflenbeul, F., Kerbrat, A., Rouch, P., Gajny, L., & Schouman, T. (2021). Three-dimensional cephalometric landmarking and Frankfort horizontal plane construction: Reproducibility of conventional and novel landmarks. *Journal of Clinical Medicine*, 10(22), 5303. <https://doi.org/10.3390/jcm10225303>

- Guo, X., & Shao, Y. (2025). AI-driven dynamic orthodontic treatment management: Personalized progress tracking and adjustments—A narrative review. *Frontiers in Dental Medicine*, 6, 1612441. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2025.1612441>
- Kazimierzak, N., Kazimierzak, W., Serafin, Z., Nowicki, P., Nozewski, J., & Janiszewska-Olszowska, J. (2024). AI in orthodontics: Revolutionizing diagnostics and treatment planning—A comprehensive review. *Journal of Clinical Medicine*, 13(2), 344. <https://doi.org/10.3390/jcm13020344>
- Kavasoglu, N., & Eratilla, V. (2025). Evaluation of intraoral scanners for comfort in pediatric patients: A randomized crossover study. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 49(6), 181–188. <https://doi.org/10.22514/jocpd.2025.140>
- Lee, S. C., Hwang, H. S., & Lee, K. C. (2022). Accuracy of deep learning-based integrated tooth models by merging intraoral scans and CBCT scans for 3D evaluation of root position during orthodontic treatment. *Progress in Orthodontics*, 23(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40510-022-00410-x>
- Li, R., Zhu, C., Chu, F., Yu, Q., Fan, D., Ouyang, N., et al. (2024). Deep learning for virtual orthodontic bracket removal: Tool establishment and application. *Clinical Oral Investigations*, 28(1), 121. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05440-1>
- Nassani, L. M., Javed, K., Amer, R. S., Pun, M. H. J., Abdelkarim, A. Z., & Fernandes, G. V. O. (2024). Technology readiness level of robotic technology and artificial intelligence in dentistry: A comprehensive review. *Surgeries*, 5(2), 273–287. <https://doi.org/10.3390/surgeries5020025>
- Sahlsten, J., Jarnstedt, J., Jaskari, J., Naukkarinen, H., Mahasantipiya, P., Charuakkra, A., et al. (2024). Deep learning for 3D cephalometric landmarking with heterogeneous multicenter CBCT dataset. *PLOS ONE*, 19(6), e0305947. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305947>
- Strunga, M., Urban, R., Surovková, J., & Thurzo, A. (2023). Artificial intelligence systems assisting in the assessment of the course and retention of orthodontic treatment. *Healthcare*, 11(5), 683. <https://doi.org/10.3390/healthcare11050683>
- Vinayahalingam, S., Kempers, S., Schoep, J., Hsu, T. H., Moin, D. A., van Ginneken, B., et al. (2023). Intraoral scan segmentation using deep learning. *BMC Oral Health*, 23(1), 643. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03362-8>

- Wafaie, K., Rizk, M. Z., Basyouni, M. E., Daniel, B., & Mohammed, H. (2023). Tele-orthodontics and sensor-based technologies: A systematic review of interventions that monitor and improve compliance of orthodontic patients. *European Journal of Orthodontics*, 45(4), 450–461. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjad004>
- Wang, H., Minnema, J., Batenburg, K. J., Forouzanfar, T., Hu, F. J., & Wu, G. (2021). Multiclass CBCT image segmentation for orthodontics with deep learning. *Journal of Dental Research*, 100(9), 943–949. <https://doi.org/10.1177/00220345211005338>
- Wu, T. H., Lian, C., Lee, S., Pastewait, M., Piers, C., Liu, J., et al. (2022). Two-stage mesh deep learning for automated tooth segmentation and landmark localization on 3D intraoral scans. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 41(11), 3158–3166. <https://doi.org/10.1109/TMI.2022.3180343>
- Yang, M., Li, C., Yang, W., Chen, C., Chung, C. H., Tanna, N., et al. (2023). Accurate gingival segmentation from 3D images with artificial intelligence: An animal pilot study. *Progress in Orthodontics*, 24(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s40510-023-00465-4>
- Yang, S., Song, E. S., Lee, E. S., Kang, S. R., Yi, W. J., & Lee, S. P. (2023). Ceph-Net: Automatic detection of cephalometric landmarks on scanned lateral cephalograms from children and adolescents using an attention-based stacked regression network. *BMC Oral Health*, 23(1), 803. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03804-3>
- Zhang, J. N., Lu, H. P., Hou, J., Wang, Q., Yu, F. Y., Zhong, C., et al. (2023). Deep learning-based prediction of mandibular growth trend in children with anterior crossbite using cephalometric radiographs. *BMC Oral Health*, 23(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02734-4>

AĞIZ, DIŞ VE ÇENE CERRAHİSİNDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ CERRAHİ PLANLAMA YAKLAŞIMLARI

Ufuk BAKAY

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi ABD, Diyarbakır Ağız ve Diş Sağlığı Hastanesi, Diyarbakır/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0006-0804-6662
- ❖ Mail: ufuk.bakay@gmail.com

GİRİŞ

Dördüncü sanayi devriminin en önemli teknolojik gelişmelerinden biri olarak kabul edilen yapay zekâ (YZ), makinelerin normal koşullarda insan zekâsı gerektiren görevleri yerine getirebilme yeteneğini ifade etmektedir. Her ne kadar yapay zekâ kavramının kökenleri 1950'li yıllara kadar uzansa da, bu teknolojinin geniş ölçekte uygulanabilir ve pratik bir araç haline gelmesi son yirmi yılda gerçekleşmiştir. Günümüzde yapay zekâ alanındaki hızlı ilerlemenin temelinde üç ana unsur bulunmaktadır: dijital cihazlar aracılığıyla elde edilen büyük veri, giderek artan hesaplama kapasitesi ve gelişmiş yapay zekâ algoritmaları. Bu unsurların eş zamanlı gelişimi, yapay zekâ uygulamalarının birçok alanda olduğu gibi sağlık bilimlerinde de yaygın biçimde kullanılmasına olanak sağlamıştır (Ding ve ark., 2023).

Günümüzde yapay zekâ uygulamaları, kurum ve kuruluşların topluma sunduğu hizmetlerin önemli bir parçası haline gelmiş olup birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Güvenlik sistemlerinde kullanılan yüz ve ses tanıma teknolojileri, e-posta sistemlerinde istenmeyen iletilerin otomatik olarak filtrelenmesi, otonom araçlar ve şirketlerin kullanıcı tercihlerine dayalı öneri sistemleri gibi uygulamalar, yapay zekânın günlük yaşamın pek çok alanına entegre olduğunu göstermektedir. Yapay zekâ yalnızca endüstriyel alanlarda değil, aynı zamanda tıp ve diş hekimliği gibi sağlık bilimlerinde de geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Rodan ve ark., 2016).

Son yıllarda yapay zekâ (YZ) teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler, tıp alanında özellikle tanı, tedavi planlaması ve klinik karar verme süreçlerinde önemli dönüşümlere yol açmıştır. Büyük hacimli ve çok boyutlu verilerin analiz edilmesine olanak tanıyan YZ tabanlı yöntemler, klinik doğruluğun artırılmasının yanı sıra tedavi süreçlerinin daha standart ve öngörülebilir hale getirilmesine de katkı sağlamaktadır (Liu ve ark., 2021). Bu gelişmeler, karmaşık anatomik yapıların ve bireysel varyasyonların ayrıntılı olarak değerlendirilmesini gerektiren sağlık bilimleri alanları için büyük önem taşımaktadır. Özellikle ağız, çene ve yüz cerrahisi gibi yüksek düzeyde anatomik hassasiyet gerektiren disiplinlerde yapay zekâ uygulamalarının klinik karar süreçlerini destekleyici potansiyeli giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Diş hekimliğinde kullanılan yapay zekâ teknikleri genel olarak makine öğrenimi, doğal dil işleme, bilgisayarla görme ve tahmine dayalı analitik olmak üzere dört kısımda incelenebilir.

Makine öğrenimi (ML), dental görüntüler ve hasta kayıtlarından oluşan geniş veri kümeleri üzerinde eğitilen algoritmaları kapsamaktadır. Bu algoritmalar, veri içerisindeki örüntüleri, anormallikleri ve değişkenler arasındaki ilişkileri tanıyabilecek şekilde öğrenme yeteneğine sahiptir. Diş hekimliğinde makine öğrenimi özellikle görüntü analizi alanında yaygın olarak kullanılmakta olup; diş çürükleri, kemik kırıkları ve radyografik görüntülerdeki çeşitli patolojik bulguların tespit edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca radyografik ve klinik verilerin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayarak daha doğru ve güvenilir tanı süreçlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Arsiwa-Scheppach ve ark., 2023).

Diş hekimliğinde kullanılan bir diğer yapay zekâ yaklaşımı ise doğal dil işleme (Natural Language Processing – NLP) teknolojileridir. Doğal dil işleme, bilgisayar sistemlerinin insan dilini anlayabilmesi, yorumlayabilmesi ve anlamlandırabilmesi üzerine odaklanmaktadır. Diş hekimliği alanında NLP uygulamaları; hasta kayıtları, klinik notlar, hasta öyküleri ve raporlar gibi metin tabanlı verilerin analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sayede yapılandırılmamış metinlerden anlamlı bilgiler elde edilerek hastaların tıbbi geçmişi, mevcut tedavi planları ve hastalığın olası seyri hakkında önemli çıkarımlar yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra doğal dil işleme teknolojileri, klinik belgelendirme süreçlerinin kolaylaştırılmasına ve büyük hacimli metin verilerinden değerli bilgilerin çıkarılmasına da katkı sağlamaktadır (Pethani ve ark., 2023).

Bilgisayarla görme (Computer Vision – CV) ise makinelerin görsel verileri analiz etmesini ve yorumlamasını sağlayan yapay zekâ alanlarından biridir. Diş hekimliğinde bilgisayarla görme teknikleri, radyografiler, ağız içi görüntüler ve diğer görsel verilerin değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Yapay zekâ sistemleri bu teknikleri kullanarak çürükler, periodontal hastalıklar veya ağız boşluğundaki diğer patolojik durumların tespit edilmesini sağlayabilmektedir. Ayrıca ortodontik tedavi süreçlerinin izlenmesi ve zaman içerisinde ağız sağlığında meydana gelen değişimlerin değerlendirilmesi gibi alanlarda da bilgisayarla görme uygulamalarından yararlanılmaktadır (Salahin ve ark., 2023).

Tahmine dayalı analitik ise yapay zekâ destekli modellerin mevcut verilerden yararlanarak geleceğe yönelik öngörülerde bulunmasını sağlayan bir yaklaşımdır. Diş hekimliğinde bu modeller, hastalıkların prognozunu değerlendirilmesi, tedavi sonuçlarının tahmin edilmesi ve farklı tedavi

seçeneklerinin olası başarı oranlarının analiz edilmesi gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Böylece tedavi planlarının daha bireyselleştirilmiş hale getirilmesi, veriye dayalı klinik kararların alınması ve tedavi kalitesinin artırılması mümkün olmaktadır. Ayrıca tahmine dayalı analitik yöntemleri; randevu planlaması, kaynak yönetimi ve envanter kontrolü gibi klinik yönetim süreçlerinde de operasyonel verimliliğin artırılmasına katkı sağlayabilmektedir (Vodanović ve ark., 2023).

Bununla birlikte, günlük yaşamda kullanılan elektronik cihazların ve dijital sistemlerin sayısının hızla artması, büyük miktarda verinin sürekli olarak üretilmesine yol açmaktadır. Bu veri akışı, yapay zekâ sistemlerinin öğrenme süreçlerini destekleyerek verilerin daha etkin bir şekilde analiz edilmesine ve anlamlandırılmasına olanak tanımaktadır. Böylece yapay zekâ teknolojileri, yalnızca veri işleme kapasitesini artırmakla kalmayıp aynı zamanda karar verme süreçlerinin desteklenmesinde de önemli bir rol üstlenmektedir.

Son yıllarda yapay zekâ (YZ) uygulamaları, ağız, çene ve yüz cerrahisi (OMFS) alanında giderek daha yaygın hale gelmiş ve uzmanlığın birçok yönüne katkı sağlamıştır. YZ, tanı koyma, sefalometrik analiz, cerrahi öncesi planlama, ameliyat sırasında ölçümler, tedavi sonuçlarının değerlendirilmesi ve ameliyat sonrası takip gibi klinik görevlerde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle gömülü dişlerin yönetiminde YZ algoritmaları umut verici sonuçlar göstermektedir; yapay zekâ tabanlı modeller, diş sürmesine bağlı olası riskleri tahmin ederek diş çekimi için cerrahi endikasyonların belirlenmesine yardımcı olabilmektedir (Vranckx ve ark., 2020). Ayrıca YZ destekli araçlar, planlanan cerrahi işlemlerin zorluk derecesinin ameliyat öncesinde değerlendirilmesini mümkün kılmakta, klinik verilerle eğitilen algoritmalar ise osseointegrasyonun ve dental implantların başarısını tahmin etme ve cerrahi öncesinde implant tasarımını optimize etme konusunda kullanılabilmektedir (Yoo ve ark., 2021).

YZ, OMFS alanında robotik cerrahi uygulamalarında da önemli bir rol oynamaktadır. Yapay zekâ destekli kraniyal cerrahi prosedürleri, dental implant yerleştirme, tümör rezeksiyonu, biyopsi ve temporomandibular eklem cerrahisi gibi işlemlerde başarılı sonuçlar vermiştir. Araştırmalar, YZ destekli cerrahinin geleneksel serbest el tekniklerine kıyasla implant prosedürlerinde doğruluk ve güvenliği artırdığını göstermektedir. Özellikle bazı vakalarda revizyon cerrahisi ve implantın yeniden konumlandırılması gereksinimi azalmaktadır (Knoedler ve ark., 2022). Ayrıca YZ destekli yöntemler, tümör

ve kistlerin daha hassas şekilde cerrahi olarak çıkarılmasına olanak sağlayarak ek prosedür ihtiyacını minimize etmektedir (Balaban ve ark., 2021).

OMFS’de yapay zekânın farklı klinik uygulamaları arasında tanı ve görüntüleme desteği, sefalometrik analizlerin otomasyonu, cerrahi planlama ve simülasyon, hasta takibi ve veri yönetimi yer almaktadır. Yapay zekâ, klinik karar destek sistemleri aracılığıyla karmaşık verileri analiz ederek cerrahların ameliyat öncesi değerlendirme yapmasını, sanal cerrahi simülasyonlar oluşturmalarını ve kişiye özel tedavi planları geliştirmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca radyografik ve CBCT görüntülerinin kalitesinin artırılması, artefaktların azaltılması ve otomatik segmentasyon gibi işlemlerle tanı süreçlerini de desteklemektedir. Yapay zekâ, bu alanlarda klinik doğruluğu artırırken operasyonel verimliliği yükseltmekte ve hasta güvenliğine katkı sağlamaktadır.

İmplant Cerrahisi Yönetiminde YZ

Ağız, çene ve yüz cerrahisi (OMFS) pratiğinde, dental implant tedavileri kısmi veya total diş eksikliklerinin rehabilitasyonunda günümüzde altın standart olarak kabul edilmektedir. Dental implantların uzun dönemli başarısı; osseointegrasyonun sağlanması, biyomekanik yüklerin uygun şekilde dağılımı ve peri-implant dokuların korunması gibi çok sayıda faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin tümü, doğrudan implant planlama sürecinin doğruluğu ile ilişkilidir (Chakravorty ve ark., 2024). İmplant planlaması, implantın ideal üç boyutlu konumunun belirlenmesini, uygun çap ve uzunluğunun seçilmesini ve aynı zamanda maksiller sinüs, inferior alveolar sinir ve mental foramen gibi kritik anatomik yapıların korunmasını hedefleyen, çok aşamalı ve karmaşık bir süreçtir.

Geleneksel implant planlama yöntemleri, klinik muayene bulguları ile iki boyutlu radyografiler ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) görüntülerinin klinisyen tarafından manuel olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır. Her ne kadar KIBT, üç boyutlu kemik değerlendirmesi açısından önemli avantajlar sunsa da, görüntülerin yorumlanması büyük ölçüde klinisyenin deneyimine bağlıdır; bu durum ölçüm hataları ve öznel değerlendirmelerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ayrıca kemik yoğunluğunun nicel olarak analiz edilmesi, implant çevresindeki kemik kalitesinin öngörülmesi ve biyomekanik analizlerin gerçekleştirilmesi, geleneksel yaklaşımlarla sınırlı ölçüde mümkün olabilmektedir (Chackartchi ve ark., 2000).

Dijital teknolojilerdeki hızlı ilerlemeler, diş hekimliği pratiğinde birçok yenilikçi tekniğin geliştirilmesine ve klinik rutinde yaygın olarak uygulanmasına imkân tanımıştır. Dental implantoloji alanında bu dönüşüm, özellikle implant planlama ve cerrahi uygulama süreçlerinde belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM) sistemlerinin kullanımı, radyografik şablonların ve cerrahi kılavuzların dijital ortamda tasarlanmasını ve üretilmesini mümkün kılarak hem işlem sürecini basitleştirmiş hem de planlama ile cerrahi uygulama arasındaki uyumu artırmıştır. Bu sayede implantların önceden belirlenmiş sanal konumlarına klinik ortamda yüksek doğrulukla yerleştirilmesi mümkün olabilmektedir (Mureşanu ve ark., 2023).

Bu bağlamda, yapay zekâ (YZ) algoritmalarının çene cerrahisi ve oral implantolojiye entegrasyonu, implant planlama süreçlerine yeni bir boyut kazandırmaktadır. YZ tabanlı sistemler, KIBT görüntülerinden otomatik olarak anatomik yapı segmentasyonu yapabilmekte, kemik hacmi ve yoğunluğunu objektif şekilde analiz edebilmekte, implant yerleşim bölgelerini belirleyebilmekte ve optimal implant pozisyonlarını önerebilmektedir (Altalhi ve ark., 2023). Bunun yanı sıra, bu sistemler geçmiş klinik verilerden öğrenerek benzer hasta profilleri için öngörücü modeller geliştirebilmekte ve böylece bireye özgü, daha hassas implant planlamasına olanak sağlamaktadır.

Kişiyeye özgü modellerin sanal ortamda oluşturulması, cerrahi öncesi dental implant planlamasının temelini oluşturan ve en kritik aşamalarından biri olarak değerlendirilmektedir. Bu süreç, konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) gibi üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinden elde edilen verilerin anatomik yapılaraya doğru ve güvenilir bir şekilde aktarılmasını gerektirir. Hastaya özgü anatomik varyasyonların doğru bir biçimde değerlendirilmesi ise büyük ölçüde klinisyenin deneyimine ve uzun bir çalışma süresine bağlıdır.

Bununla birlikte, yapay zekâ tabanlı segmentasyon ve karar destek sistemlerinin bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. YZ modellerinin eğitimi sırasında kullanılan veri setlerinin sınırlı çeşitliliğe sahip olması, bu sistemlerin farklı hasta popülasyonlarına genellenebilirliğini kısıtlayabilmektedir. Ayrıca, metal restorasyonlar, implantlar veya diğer yüksek yoğunluklu materyallerin neden olduğu görüntü artefaktları, segmentasyon doğruluğunu olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durum, özellikle karmaşık vakalarda klinik karar verme sürecini zorlaştırabilmektedir (Jakobs ve ark., 2018; Gerhardt ve ark., 2022; Fontenele ve ark., 2022).

Maksillofasiyal Kist ve Tümörlerin Tanısında YZ

Maksillofasiyal kist ve tümörlerin doğru sınıflandırılması ve tanısı, klinisyenler için önemli zorluklar yaratmaktadır. Bu durumlarda yapay zekânın (YZ) otomatik tanı süreçlerine entegrasyonu, klinik uygulamalarda büyük bir potansiyel sunmaktadır. YZ tabanlı modeller, kistlerin otomatik segmentasyonu ve sınıflandırılması için çeşitli yöntemler kullanmaktadır. Bununla birlikte, lezyon tespitinin başlangıç aşamasında hâlen manuel veri girişi gerekmekte olup, kist ve tümörleri tamamen otomatik şekilde tanıyabilen bir model geliştirmek hâlâ önemli bir zorluk olarak durmaktadır (Santer ve ark., 2022).

Ortognatik Cerrahi Planlamasında YZ

Başarılı sonuçlar elde edebilmek için ortognatik cerrahide (OGS) preoperatif planlama büyük önem taşımaktadır. Mevcut standart ortognatik cerrahi planlama programlarından bazılarını sıralayacak olursak bunlar; IPS CasePlanner, KLS Martin, Tuttlingen gibi programları sıralayabiliriz. Radyografiler ve modeller kullanılarak yapılan geleneksel 2D cerrahi planlama yöntemleri, özellikle yüz asimetrisinin belirgin olduğu hastalarda sınırlılıklar göstermektedir. Öte yandan, 3D görüntüleme teknolojilerindeki gelişmeler, CBCT görüntülerini kullanarak bilgisayar destekli cerrahi simülasyonların uygulanmasını mümkün kılmıştır. 3D görüntüleme tabanlı bilgisayar destekli planlama, sefalometrik analizlerin, splint üretiminin ve operasyon simülasyonlarının kolaylaştırılmasını sağlamaktadır. Bu yöntem, mandibula gövde/ramus uzunluğu farklılıkları ve oklüzal düzlem eğimi gibi dental anomalilerin daha net bir şekilde değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca, 3D görüntüleme ve 3D baskı teknolojileri ile sağlanan sanal cerrahi planlamanın entegrasyonu, cerrahların anatomik yapıları daha iyi görselleştirmesine olanak tanımış ve tedavi sonuçlarında önemli iyileşmeler sağlamıştır (Alkhayer ve ark., 2020). Bu bağlamda, ortognatik cerrahi planlamasında yapay zekâ uygulamaları için hâlâ önemli bir gelişim potansiyeli bulunmaktadır ve mevcut 3D görüntüleme ile 3D baskı yöntemlerini tamamlayıcı bir rol üstlenebilir.

SONUÇ

Son yıllarda yapay zekâ (YZ) teknolojilerinde kaydedilen hızlı ilerlemeler, ağız, çene ve yüz cerrahisi (OMFS) ile dental implantoloji alanlarında klinik uygulamaları dönüştürme potansiyelini açıkça göstermektedir. YZ tabanlı sistemler, radyografik ve konik ışınlı bilgisayarlı

tomografi (CBCT) görüntülerinden otomatik anatomik segmentasyon, kemik hacmi ve yoğunluğunun objektif analizi, implant yerleşim bölgelerinin belirlenmesi ve optimal implant pozisyonlarının önerilmesi gibi kritik görevlerde klinik karar destek aracı olarak etkin bir biçimde kullanılabilir. Ayrıca, geçmiş klinik verilerden öğrenen yapay zekâ modelleri, benzer hasta profilleri için öngörücü modeller geliştirebilmekte ve böylece kişiye özgü implant planlaması ve cerrahi stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

YZ uygulamaları, gömülü dişlerin yönetimi, maksillofasiyal kist ve tümörlerin tanısı, ortognatik cerrahi planlaması, sefalometrik analizler ve ameliyat sonrası takip süreçlerinde klinik doğruluğu artırmakta ve operasyonel verimliliği yükseltmektedir. Bununla birlikte, YZ tabanlı sistemlerin sınırlılıkları da göz ardı edilemez; veri setlerinin heterojenliğinin yetersizliği, yüksek yoğunluklu materyallerin neden olduğu artefaktlar ve model kararlarının şeffaf olmaması gibi faktörler, klinik güvenilirliği ve genellenabilirliği etkileyebilmektedir.

Gelecekte YZ'nin OMFS ve implantoloji uygulamalarındaki rolünü genişletmek için, yüksek kaliteli, çok merkezli ve farklı hasta gruplarını kapsayan veri kümeleri ile eğitilmiş modellerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca, klinik eğitim programlarına YZ müfredatlarının entegrasyonu, cerrahların yapay zekâ uygulamalarını güvenli ve etkin bir biçimde kullanmalarına olanak sağlayacaktır. Bu sayede YZ, yalnızca tanı ve tedavi süreçlerinde destekleyici bir araç olmakla kalmayacak, aynı zamanda kişiye özel tedavi planlamasında ve hasta güvenliğinin artırılmasında kritik bir rol üstlenecektir.

KAYNAKLAR

- Alkhayer, A.; Piffkó, J.; Lippold, C.; Segatto, E. Accuracy of virtual planning in orthognathic surgery: A systematic review. *Head. Face Med.* 2020, 16, 34
- Alkhayer, A.; Piffkó, J.; Lippold, C.; Segatto, E. Accuracy of virtual planning in orthognathic surgery: A systematic review. *Head. Face Med.* 2020, 16, 34
- Altalhi, A. M., Alharbi, F. S., Alhodaithy, M. A., Almarshedy, B. S., Al-Saaib, M. Y., Al Jfshar, R. M., Aljohani, A. S., Alshareef, A. H., Muhayya, M., & Al-Harbi, N. H. (2023). The impact of artificial intelligence on dental implantology: A narrative review. *Cureus*, 15, e47941.

- Arsiwa-Scheppach, L. T., Chaurasia, A., Müller, A., Krois, J., & Schwendicke, F. (2023). Machine Learning in Dentistry: A Scoping Review. *Journal of Clinical Medicine*, 12(3), 937.
- Balaban, C.; Inam, W.; Kennedy, R.; Faiella, R. The Future of Dentistry: How AI is Transforming Dental Practices. *Compend. Contin. Educ. Dent.* 2021, 42, 14–17.
- Chackartchi, T., Romanos, G. E., Parkanyi, L., Schwarz, F., & Sculean, A. (2022). Reducing errors in guided implant surgery to optimize treatment outcomes. *Periodontology 2000*, 88(1), 64–72.
- Chakravorty, S., Aulakh, B. K., Shil, M., Nepale, M., Puthenkandathil, R., & Syed, W. (2024). Role of artificial intelligence (AI) in dentistry: A literature review. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 16(Suppl. 1), S14–S16.
- Ding, H., Wu, J., Zhao, W., Matinlinna, J. P., Burrow, M. F., & Tsoi, J. K. (2023). Artificial intelligence in dentistry—A review. *Frontiers in Dental Medicine*, 4, 1085251.
- Fontenele, R. C., Gerhardt, M., Pinto, J., Van Gerven, A., Willems, H., Jacobs, R., & Freitas, D. Q. (2022). Influence of dental fillings and tooth type on the performance of a novel artificial intelligence-driven tool for automatic tooth segmentation on CBCT images: A validation study. *Journal of Dentistry*, 119, 104069.
- Gerhardt, M., Fontenele, R. C., Leite, A. F., Lahoud, P., Willems, H., Smolders, A., Beznik, T., & Jacobs, R. (2022). Automated detection and labelling of teeth and small edentulous regions on cone-beam computed tomography using convolutional neural networks. *Journal of Dentistry*, 122, 104139.
- Jacobs, R., Salmon, B., Codari, M., Hassan, B., & Bornstein, M. M. (2018). Cone beam computed tomography in implant dentistry: Recommendations for clinical use. *BMC Oral Health*, 18, 88.
- Knoedler, L.; Baecher, H.; Kauke-Navarro, M.; Prantl, L.; Machens, H. G.; Scheuermann, P.; Palm, C.; Baumann, R.; Kehrer, A.; Panayi, A. C.; et al. Towards a Reliable and Rapid Automated Grading System in Facial Palsy Patients: Facial Palsy Surgery Meets Computer Science. *J. Clin. Med.* 2022, 11, 4998.
- Liu, P. R., Lu, L., Zhang, J. Y., Huo, T. T., Liu, S. X., & Ye, Z. W. (2021). Application of artificial intelligence in medicine: An overview. *Current Medical Science*, 41, 1105–1115.
- Mureșanu, S., Almășan, O., Hedeșiu, M., Dioșan, L., Dinu, C., & Jacobs, R. (2023). Artificial intelligence models for clinical usage in dentistry with

- a focus on dentomaxillofacial CBCT: A systematic review. *Oral Radiology*, 39, 18–40.
- Pethani, F., & Dunn, A. G. (2023). Natural language processing for clinical notes in dentistry: A systematic review. *Journal of Biomedical Informatics*, 138, 104282.
- Rodan, A., Faris, H., & Alqatawna, J. F. (2016). Optimizing feedforward neural networks using biogeography-based optimization for e-mail spam identification. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 9(01), 19.
- Salahin, S. M. S., Ullaa, M. D. S., Ahmed, S., Mohammed, N., Farook, T. H., & Dudley, J. (2023). One-Stage Methods of Computer Vision Object Detection to Classify Carious Lesions from Smartphone Imaging. *Oral (Basel, Switzerland)*, 3(2), 176–190.
- Santer, M.; Kloppenburg, M.; Gottfried, T. M.; Runge, A.; Schmutzhard, J.; Vorbach, S. M.; Mangesius, J.; Riedl, D.; Mangesius, S.; Widmann, G.; et al. Current Applications of Artificial Intelligence to Classify Cervical Lymph Nodes in Patients with Head and Neck Squamous Cell Carcinoma—A Systematic Review. *Cancers* 2022, 14, 5397.
- Vodanović, M., Subašić, M., Milošević, D., & Savić Pavičin, I. (2023). Artificial Intelligence in Medicine and Dentistry. *Acta Stomatologica Croatica*, 57(1), 70–84.
- Vranckx, M.; Van Gerven, A.; Willems, H.; Vandemeulebroucke, A.; Ferreira Leite, A.; Politis, C.; Jacobs, R. Artificial Intelligence (AI)-Driven Molar Angulation Measurements to Predict Third Molar Eruption on Panoramic Radiographs. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 3716.
- Yoo, J. H.; Yeom, H. G.; Shin, W.; Yun, J. P.; Lee, J. H.; Jeong, S. H.; Lim, H. J.; Lee, J.; Kim, B. C. Deep learning-based prediction of extraction difficulty for mandibular third molars. *Sci. Rep.* 2021, 11, 1954.

AĞIZ MUKOZASI LEZYONLARINDA YAPAY ZEKÂ TABANLI GÖRÜNTÜ ANALİZİ VE KLİNİK KARAR SÜREÇLERİ

Ümit SOLMAZ

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0001-7686-8613
- ❖ Mail: usolmaz@adiyaman.edu.tr

Halil İbrahim DURMUŞ

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0003-4762-4788
- ❖ Mail: halilibrahimdurmus@adiyaman.edu.tr

Nuran DAĞ

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0001-3845-8872
- ❖ Mail: ndag@adiyaman.edu.tr

GİRİŞ

Ağız mukozasında ortaya çıkan lezyonlar, geniş bir klinik spektrum içinde benign, premalign ve malign karakter gösterebilir. Özellikle Oral Potansiyel Malign Bozukluklar (OPMB), belirli koşullar altında skuamöz hücreli karsinoma ilerleme riski taşıması nedeniyle dikkatli izlem gerektirir. Klinik muayene, lezyonun morfolojisi ve semptomları hakkında önemli bilgiler sunsa da değerlendirme süreci büyük ölçüde gözlemci deneyimine bağlıdır. Kesin tanı ise histopatolojik inceleme ile konulmaktadır. Bununla birlikte biyopsi, invaziv yapısı ve örnekleme hatası riski nedeniyle her zaman ideal bir tarama yöntemi değildir.

Son yıllarda yapay zekâ (YZ) temelli görüntü analiz sistemleri, ağız mukozası lezyonlarının değerlendirilmesinde tamamlayıcı bir yaklaşım olarak öne çıkmıştır. Özellikle derin öğrenme algoritmaları, görüntü verilerinden otomatik özellik çıkarımı yapabilmeleri sayesinde tanısal süreçte standardizasyon potansiyeli sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ağız mukozası lezyonları, yapay zekâ, görüntü analizi, klinik karar destek sistemleri.

1. Ağız Mukozası Lezyonlarının Klinik Özellikleri

1.1. Oral Mukozanın Anatomisi ve Histolojisi

Histolojik olarak, ağız mukozası üç kategoriye ayrılır: örtücü, çiğneme ve özelleşmiş. Örtücü mukozanın epiteli keratinleşmemiş çok katlı yassı epitel iken, çiğneme mukozasının epiteli çiğneme sırasında oluşan kesme kuvvetlerinden korunmak için orto- veya parakeratinleşmiştir. Özelleşmiş mukoza, tat alma duyusunun algılanmasından sorumlu küçük epitel kökenli yapılar olan tat tomurcuklarına sahiptir. Örtücü ve çiğneme mukozalarının subepitelial bağ dokusu, epitelleriyle iç içe geçmiştir ve iç içe geçme derecesi, mukozaya etki eden çiğneme kuvvetlerinin derecesiyle doğrudan ilişkilidir. Ağız mukozası ayrıca, epitelde antijen sunan hücreler olan Langerhans hücrelerinin varlığı nedeniyle ağız boşluğunun immünolojik savunmasında da rol oynar. (Gartner, 1994)

1.2. Premalign ve Malign Lezyonlar

Malign lezyonlar içerisinde en sık görülen tümör oral skuamöz hücreli karsinom (OSHK)'dur ve oral kanserlerin büyük çoğunluğunu oluşturur ve

tütün kullanımı, alkol tüketimi ve insan papilloma virüsü (HPV) enfeksiyonu başlıca risk faktörleridir. Histopatolojik olarak invaziv epitel adacıkları, hücrel pleomorfizm, artmış mitotik aktivite ve stromal invazyon ile karakterizedir. Klinik olarak erken evrede yüzeysel ülserasyon veya indüre plak şeklinde görülebilirken, ileri evrelerde destrüktif kitleler ve metastaz gelişimi söz konusu olabilir (Neville et al., 2016).

Malign lezyonların önemli bir bölümü klinik olarak tanınabilen premalign zeminlerden gelişmektedir. (WHO, 2022). Günümüzde bu lezyonlar için en yaygın kabul gören üst başlık “Oral Potentially Malignant Disorders (OPMD)” kavramıdır. Dünya Sağlık Örgütü, OPMD'leri "klinik olarak tanımlanabilir bir öncü lezyonda veya klinik olarak normal bir mukozada olsun, ağız boşluğunda kanser gelişme riski taşıyan bir grup durum" olarak tanımlar (Villa et al., 2025).

OPMD kapsamında yer alan çeşitli rahatsızlıklar:

Lökoplaki
Eritroplaki
Proliferatif Verrukoz Lökoplaki (PVL)
Oral submukoz fibrozis
Oral liken planus
Oral likenoid lezyon/reaksiyon
(Warnakulasuriya et al., 2020).

1.3. Benign ve İnflamatuvar Lezyonlar

Ağız mukozasında, izole olarak veya dermatolojik rahatsızlıklarla ilişkili olarak ortaya çıkan, çeşitli iyi huylu lezyonlar mevcuttur. Ağız lezyonları birbirine çok benzeyebilir; bu nedenle, klinisyenlerin bu lezyonların ayırt edici özelliklerini tanıyabilmeleri, iyi huylu ve kötü huylu hastalıkları ayırt edebilmeleri ve biyopsi örneği alınmasının ne zaman gerekli olduğunu bilmeleri önemlidir. Ağız boşluğunun iyi huylu lezyonlarından bazıları şunlardır; piyojenik granülom, periferik dev hücreli granülom, granüler hücreli tümörler, oral hemanjiyomlar, sinir kılıfı kökenli tümörler: nörofibroma ve nöroma, fizyolojik hiperpigmentasyon v.b (Maymone et al., 2019).

1.4. Klinik Ayırıcı Tanı Zorlukları

Ağız kanserlerinin erken dönemde saptanabilmesi için en etkili yolların başında diş hekimlerinin konunun içine çekilmesi ve bu konudan sorumlu tutulmaları gelmektedir Kapsamlı bir ağız mukozası muayenesi sadece birkaç

dakika sürer ve şüpheli lezyonların saptanmasında halen bilinen en etkili yoldur (Yıldırım et al., 2011). Ağız içi lezyonların klinik değerlendirmesi subjektif unsurlar içermekte olup, kesin tanı için histopatolojik inceleme altın standart olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, düşük ve orta gelirli ülkelerdeki birçok yüksek riskli birey, uzmanlara veya yeterli sağlık hizmetlerine erişimden yoksundur; bu da OPMD ve ağız kanseri olan hastalar için tanı ve sevklerde gecikmelere yol açmaktadır. Bu nedenle, OPMD'lerin yönetimi için mevcut sistemi geliştiren, kullanımı kolay, invaziv olmayan bir ağız tarama aracı geliştirmeye kesinlikle ihtiyaç vardır. Kapsamlı klinik değerlendirmeler, biyopsi için hızlı hasta sevkleri ve alışkanlıkların/risk faktörlerinin ortadan kaldırılması, daha iyi hasta bakımı için anahtardır. (Talwar et al., 2023).

1.5. Altın Standart Tanı Yöntemleri

Genel diş hekimliği uygulamalarında yardımcı kanser tespit tekniklerinin etkinliğine dair veri eksikliği göz önüne alındığında, klinisyenler premalign lezyonların tanısı için uzman sevkine ve/veya doku biyopsisine dayalı kapsamlı bir ağız mukozası muayenesine güvenmek zorundadır.

Oral premalign lezyonların tanısında mevcut altın standart, neşter veya punch biyopsisi ve histopatolojidir. Bununla birlikte, premalign hastalığın en büyük oranını oluşturan hafif ve orta dereceli displazilerin tanısında ve skuamöz hücreli karsinomanın erken evre invazyonunun belirlenmesinde patoloğlar arasında gözlemci içi ve gözlemciler arası bulgular farklılık göstermektedir. (Patton, Epstein, & Kerr, 2008). Bu nedenle yardımcı görüntüleme teknikleri ve yapay zekâ destekli analiz yöntemleri tanısız doğruluğu artırmaya yönelik tamamlayıcı araçlar olarak araştırılmaktadır.

2. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Temelleri

2.1. Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Kavramları

Yapay zekâ (YZ), bir sistemin çevresinden elde ettiği verileri analiz edebilmesi, bu verilerden çıkarımlar yapabilmesi ve edindiği bilgileri belirli amaçlara ulaşmak için kullanabilmesi olarak tanımlanabilir (Kaplan & Haenlein, 2019). Bu yaklaşımda temel unsur, sistemin yalnızca veri işleyen pasif bir yapı olmaması, aynı zamanda deneyim yoluyla performansını geliştirebilmesidir.

Bir sistem, çevresiyle etkileşimi sonucunda elde ettiği gözlemler doğrultusunda daha doğru kararlar vermeye başlıyorsa öğrenme süreci gerçekleşmiş kabul edilir. Bu süreç bilgisayar sistemleri üzerinden yürütüldüğünde makine öğrenimi (ML) olarak adlandırılır. Makine öğreniminde bilgisayar, belirli bir veri kümesini analiz ederek örüntülerden bir model üretir; bu model hem gerçek dünyaya ilişkin bir varsayım çerçevesi sunar hem de problem çözme amacıyla kullanılabilen işlevsel bir yapı oluşturur. Derin öğrenme (DL) ise, makine öğreniminin daha karmaşık bir alt alanı olup, çok katmanlı ve ayarlanabilir hesaplama birimlerinden oluşan yapılar aracılığıyla verinin soyut temsillerini kademeli olarak öğrenmeyi hedefler (Russell & Norvig, 2021).

Derin öğrenme, birden fazla işlem katmanından oluşan hesaplama modellerinin, verilerin birden fazla soyutlama seviyesindeki temsillerini öğrenmesini sağlar. Derin öğrenmenin yüksek boyutlu verilerdeki karmaşık yapıları keşfetmede çok başarılı olduğu ortaya çıkmıştır. Görüntü tanıma ve konuşma tanıma alanlarında rekorlar kırmasının yanı sıra, potansiyel ilaç moleküllerinin aktivitesini tahmin etme, parçacık hızlandırıcı verilerini analiz etme, beyin devrelerini yeniden yapılandırma ve kodlayıcı olmayan DNA'daki mutasyonların gen ifadesi ve hastalık üzerindeki etkilerini tahmin etme gibi alanlarda da diğer makine öğrenme tekniklerini geride bırakmaktadır. (LeCun et al., 2015). Özellikle bilgisayar görüşündeki gelişmeler, görüntü segmentasyonu, görüntü kaydı, görüntü birleştirme, görüntü açıklaması, bilgisayar destekli tanı (CADx) ve prognoz, lezyon/işaret noktası tespiti ve mikroskobik görüntü analizi gibi tıbbi görüntü analizinde derin öğrenmenin kullanımını teşvik etmiştir. (Shen, Wu, & Suk, 2017).

2.2. Denetimli, Denetimsiz ve Pekiştirmeli Öğrenme

Makine öğrenmesi yaklaşımları temel olarak üç ana kategoriye ayrılır:

- Denetimli öğrenme (supervised learning): Etiketlenmiş veri kullanılarak modelin giriş-çıkış ilişkisini öğrenmesi sağlanır. Sınıflandırma ve regresyon problemleri bu kapsamdadır. Oral lezyonların benign-malign ayrımı tipik bir denetimli öğrenme örneğidir.
- Denetimsiz öğrenme (unsupervised learning): Etiketlenmemiş verilerde örüntü ve kümelerin keşfi amaçlanır. Kümeleme ve boyut indirgeme teknikleri bu gruptadır.

- Pekiştirmeli öğrenme (reinforcement learning): Bir ajan, ödül-ceza mekanizması üzerinden optimal karar stratejisini öğrenir (Russell & Norvig, 2021).

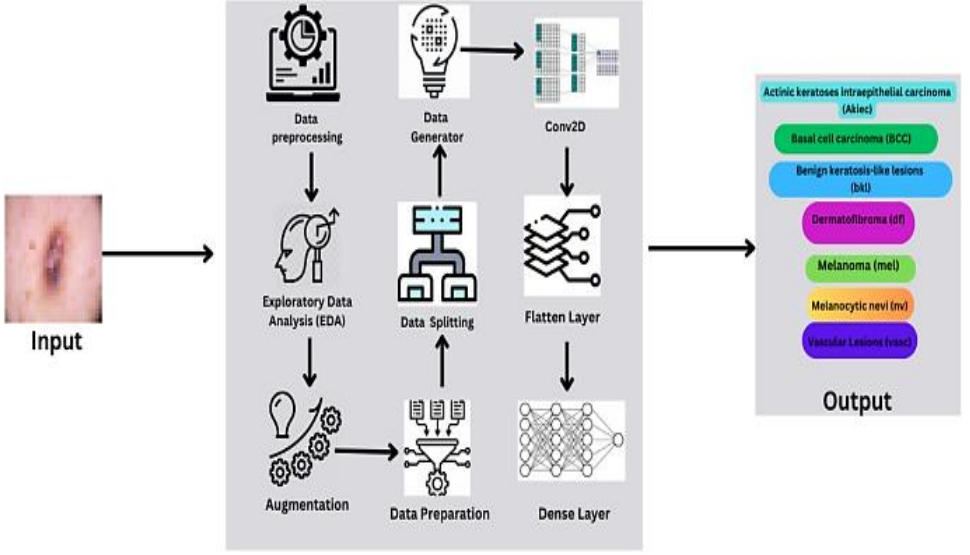
Hem denetimli hem de denetimsiz makine öğrenme yaklaşımları tıbbi görüntü analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve her birinin belirli avantaj ve dezavantajları vardır. Tıbbi görüntü analizinde, denetimli öğrenme sıklıkla görüntü segmentasyonu ve hastalık sınıflandırması için kullanılır. Örneğin, denetimli öğrenme, segmentasyon görevlerinde tıbbi görüntüler içindeki anatomik yapıların ve patolojik bölgelerin doğru bir şekilde belirlenmesini sağlayarak, hassas tedavi planlamasını ve izlemeyi kolaylaştırır. İnsan denetimi her zaman mevcut olmadığında veya yetersiz ya da önyargılı olduğunda, denetimsiz öğrenme algoritmaları biyomedikal görüntü analizi için birçok avantajla büyük bir umut vaat etmektedir (Galić et al., 2023; Raza & Singh, 2021).

2.3. Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) ve Görüntü Analizi

Evrşimsel sinir ağı [Convolutional neural network (CNN)], desenleri tespit etme ve anlamlandırma konusunda uzmanlaşmış bir yapay sinir ağı biçimidir; bu desen tespiti, CNN'yi görüntü analizi için kullanışlı hale getirir. CNN, katmanlardan oluşan bir dizidir ve her katman, kendisine beslenen veriler üzerinde benzersiz bazı işlevler gerçekleştirir. (Jogin et al., 2018).

Medikal görüntü analizinde CNN tabanlı modeller; lezyon segmentasyonu, sınıflandırma ve obje tespiti gibi görevlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle dermatoloji ve oral patoloji alanında yüksek duyarlılık ve özgüllük değerleri bildirilmiştir (Esteva et al., 2017).

Mikroskobik görüntü analizinde en önemli zorluklardan biri, hastalık derecesinin belirlenmesinin büyük ölçüde hücresel özelliklere bağlı olmasıdır. Bu nedenle doğru teşhis için bireysel hücrelerin ayrıntılı biçimde incelenmesi gerekir. Bu süreci kolaylaştırmak amacıyla derin Evrişimsel Sinir Ağları (CNN), histopatolojik görüntülerde hücre tespiti ve segmentasyonu için kullanılmakta ve özellikle kanser tanısında hücre düzeyinde daha hassas analiz imkânı sunmaktadır (Shen et al., 2017).



Şekil 1. Cilt kanseri tespitinde tanı doğruluğunu pekiştirmek için kullanılan CNN modelinin iş akışı örneği (Musthafa et al., 2024)

2.4. Transfer Öğrenme ve Veri Artırma Teknikleri

Tıbbi görüntüleme alanındaki veri setleri genellikle sınırlı ve dengesizdir. Bu durum, derin öğrenme modellerinde aşırı öğrenme (overfitting) riskini artırmakta ve modelin genellenebilirliğini azaltmaktadır. Güncel çalışmalar, transfer öğrenme ve veri artırma yöntemlerinin birlikte kullanımıyla bu sorunun çözüme kavuşacağını göstermiştir.

Transfer öğrenme, büyük veri setlerinde (ör. ImageNet) önceden eğitilmiş modellerin ağırlıklarının yeni ve daha küçük veri setlerine uyarlanması ifade eder. Küçük tıbbi veri setlerinde özellikle katman bazlı ince ayar (fine-tuning) stratejilerinin daha dengeli ve istikrarlı sonuçlar verdiğini ortaya konmuştur (Davila et al., 2024). Ayrıca kanser tanısına yönelik yapılan güncel değerlendirmelerde, transfer öğrenmenin doğruluk ve duyarlılık oranlarını artırdığı bildirilmiştir (Kaur, 2025).

Veri artırma (data augmentation) teknikleri ise veri çeşitliliğini artırarak modelin genellenebilirliğini güçlendirmektedir. Klasik yöntemler (döndürme, yansıtma, ölçekleme, renk varyasyonu) yaygın olarak kullanılmakla birlikte, son yıllarda üretici yapay zekâ temelli yöntemler ön plana çıkmıştır. Tıbbi görüntüleme alanında yapılan sistematik bir derleme, GAN ve diffusion tabanlı sentetik veri üretiminin özellikle sınıf dengesizliği bulunan veri setlerinde performansı artırdığını göstermiştir (Islam et al., 2024). Bununla

birlikte, veri artırma stratejilerinin modelin açıklanabilirliği üzerinde de etkili olabileceği vurgulanmıştır (Liu et al., 2025).

Sonuç olarak, özellikle oral mukozal görüntüler gibi sınırlı veri içeren alanlarda transfer öğrenme ile veri artırma tekniklerinin entegre kullanımı; aşırı öğrenmenin azaltılması, sınıf dengesizliğinin dengelenmesi ve klinik karar destek sistemlerinin güvenilirliğinin artırılması açısından güncel ve etkili bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

2.5. Model Performans Metrikleri

Tıbbi tanı modellerinin değerlendirilmesinde yalnızca doğruluk (accuracy) yeterli değildir. Klinik karar süreçlerinde aşağıdaki metrikler önemlidir:

- Duyarlılık (Sensitivity): Gerçek pozitiflerin doğru saptanma oranı
- Özgüllük (Specificity): Gerçek negatiflerin doğru saptanma oranı
- AUC (Area Under the ROC Curve): Modelin ayırt edicilik kapasitesini gösterir
- F1-skor: Duyarlılık ve kesinliğin (precision) harmonik ortalaması

Özellikle kanser tarama uygulamalarında model performansının klinik risk toleransı ile uyumlu olması gerekmektedir; yanlış negatif oranının düşük olması prognoz açısından belirleyicidir (Sokolova & Lapalme, 2009).

3. Oral Lezyonlarda Görüntüleme Modaliteleri

Oral mukozal lezyonların değerlendirilmesinde klinik inspeksiyon ve palpasyon temel yaklaşım olmakla birlikte, günümüzde çeşitli görüntüleme teknikleri tanısal doğruluğu artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntemler, lezyonların yüzey özelliklerini, vasküler paternlerini ve mikroyapısal değişimlerini daha ayrıntılı biçimde ortaya koyarak erken dönemde patolojik değişimlerin saptanmasına katkı sağlar.

Dar bant görüntüleme (NBI): belirli dalga boylarındaki ışık kullanılarak yüzeyel ve subepitelyal vasküler yapıların kontrastını artırır. Displastik ve malign dokularda görülen anormal kapiller paternlerin daha belirgin hale gelmesi, erken evre lezyonların ayırt edilmesini kolaylaştırmaktadır. Literatürde, NBI'nin özellikle oral skuamöz hücreli karsinomun erken tanısında konvansiyonel beyaz ışık muayenesine kıyasla daha yüksek duyarlılık sağlayabildiği bildirilmektedir (Vu & Farah, 2016; Kim et al., 2021).

Otoreflektans (floresans) görüntüleme: Dokunun doğal floresans özelliklerindeki değişiklikleri temel alır. Displazi veya malign transformasyon

sürecinde stromal ve epitelyal yapıda meydana gelen biyokimyasal farklılıklar floresans yoğunluğunda azalma şeklinde gözlenebilir. Bununla birlikte, bu teknik genellikle tek başına kesin tanı aracı olarak değil, klinik değerlendirmeyi destekleyen yardımcı bir yöntem olarak önerilmektedir (Tiwari et al., 2020).

Optik Koherens Tomografi (OKT): Işık temelli kesitsel görüntüleme sağlayarak epitel kalınlığı, bazal membran bütünlüğü ve yüzey altı mimari değişikliklerin invaziv olmayan şekilde değerlendirilmesine olanak tanır. Yüksek çözünürlüklü yapısı sayesinde erken invazyon bulgularının saptanmasında potansiyel bir araç olarak değerlendirilmektedir (Shen et al., 2017).

Klinik fotoğrafçılık: Oral lezyonların tanı ve takibinde temel dokümantasyon yöntemidir. Görüntülerin analiz edilebilir ve karşılaştırılabilir olması için ışık kaynağının sabit tutulması, uygun açıdan çekim yapılması, renk kalibrasyonu ve standart mesafenin korunması önerilmektedir. Standartize edilmiş görüntüler, özellikle yapay zekâ tabanlı sınıflandırma çalışmalarında veri güvenilirliğini artırmaktadır (Patel et al., 2021).

Histopatolojik dijital görüntüler: Whole slide imaging (WSI) teknolojisi ile preparatların yüksek çözünürlüklü olarak dijital ortama aktarılmasını sağlar. Dijital patoloji hem uzaktan değerlendirme hem de derin öğrenme algoritmalarının hücresel düzeyde analiz yapabilmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Madabhushi & Lee, 2016).

Multimodal veri entegrasyonu: Klinik fotoğraflar, histopatolojik görüntüler ve hasta verilerinin birlikte analiz edilmesini ifade eder. Bu yaklaşım, tek bir veri kaynağına kıyasla daha kapsamlı risk değerlendirmesi yapılmasına olanak tanımakta ve tanısal doğruluğu artırabilmektedir (Huang et al., 2020).

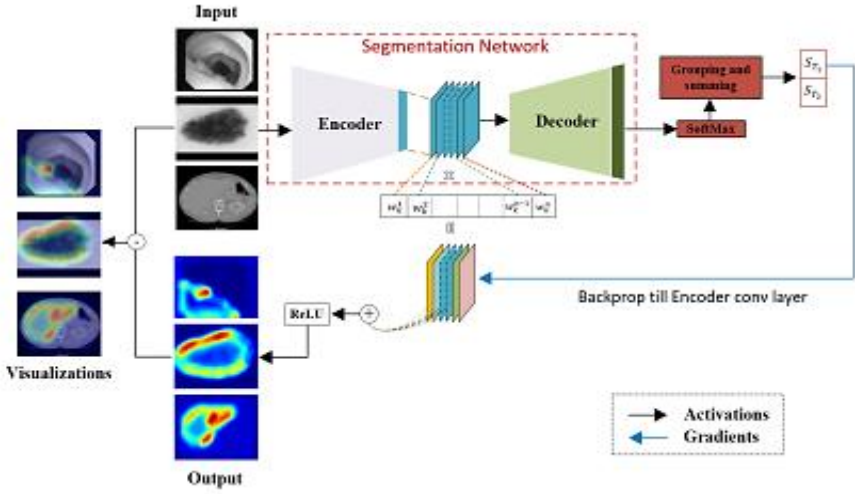
Sonuç olarak, bu ileri görüntüleme yöntemleri biyopsinin alternatifi olmaktan ziyade, uygun biyopsi alanının belirlenmesi, lezyon sınırlarının değerlendirilmesi ve takip süreçlerinin planlanmasında klinisyene yardımcı tamamlayıcı araçlar olarak önem taşımaktadır.

4. Oral Kanser ve OPMD'ye Özel Yapay Zekâ Çalışmaları

Oral kanser, özellikle de oral skuamöz hücreli karsinom (OSHK), dünya genelinde morbidite ve mortalitesi yüksek maligniteler arasında yer almaktadır. Bu malignitelerin önemli bir kısmı, klinik olarak oral potansiyel malign bozukluklar (OPMD) olarak tanımlanan lezyonlardan gelişmektedir. Lökoplaki, eritroplaki ve oral likenoid lezyonlar gibi OPMD'lerin erken ve doğru değerlendirilmesi, malign transformasyon riskinin azaltılmasında kritik rol oynamaktadır. Ancak klinik gözleme dayalı değerlendirme subjektif olabilir ve deneyime bağlıdır. Bu noktada yapay zekâ (YZ) tabanlı görüntü analizi sistemleri, tanısal doğruluğu artırma ve klinik kararları standardize etme potansiyeli nedeniyle dikkat çekmektedir.

4.1. Tanısal Görüntü Analizine Yönelik Derin Öğrenme Modelleri

Son yıllarda OPMD ve oral kanserin klinik görüntüler üzerinden saptanmasına yönelik çok sayıda derin öğrenme temelli çalışma yayımlanmıştır. Evrişimsel sinir ağları (CNN) kullanılarak geliştirilen modeller, benign lezyonlar, OPMD'ler ve OSHK arasında ayırım yapabilmektedir. Tanriver ve arkadaşları (2021), klinik fotoğraflar üzerinden çalışan iki aşamalı bir derin öğrenme modeli ile oral lezyonların otomatik tespiti ve sınıflandırılmasını gerçekleştirmiştir. Geliştirilen bu modelin, oral potansiyel malign bozukluklar (OPMD) ve malign lezyonları birbirinden ayırt etmede yüksek doğruluk oranlarına ulaştığı bildirilmiştir (Tanriver et al., 2021). Benzer şekilde Saldivia-Siracusa ve arkadaşları (2025), transfer öğrenme tabanlı CNN mimarileri kullanarak OPMD ve OSHK sınıflandırmasında güçlü performans değerleri elde etmiş ve Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) gibi açıklanabilirlik yöntemleri ile model kararlarını görselleştirmiştir (Saldivia-Siracusa et al., 2025). Bu tür yaklaşımlar, yalnızca tanı doğruluğunu değil, aynı zamanda klinisyen güvenini de artırma potansiyeline sahiptir. Gradyan Ağırlıklı Sınıf Aktivasyon Haritalaması (Grad-CAM), bir yapay zekâ modelinin sınıflandırma yaparken görüntünün hangi bölgelerini dikkate aldığını belirler ve bu bölgeleri ısı haritası şeklinde görselleştirir (Xiao et al., 2021).



Şekil 2. Geliştirilmiş Grad-CAM mimarisi (Xiao et al., 2021).

Akıllı telefon temelli görüntü analizi sistemleri de özellikle düşük kaynaklı bölgelerde tarama amacıyla araştırılmaktadır. Talwar ve arkadaşları (2023), akıllı telefonla elde edilen intraoral görüntüler üzerinde derin öğrenme modellerini test etmiş ve OPMD taramasında umut verici duyarlılık ve özgüllük değerleri rapor etmiştir. Bu yaklaşım, birinci basamak sağlık hizmetlerinde erken sevk kararlarının desteklenmesi açısından klinik olarak anlamlıdır.

4.2. Meta-Analizler ve Genel Performans Değerlendirmeleri

OPMD ve oral kanserin yapay zekâ ile saptanmasına yönelik bireysel çalışmaların yanı sıra, sistematik inceleme ve meta-analizler de literatürde yer almaktadır. Sahoo ve arkadaşları (2024), farklı görüntüleme yöntemleri kullanılarak geliştirilen yapay zekâ modellerinin tanısal performansını değerlendirmiş ve genel olarak yüksek duyarlılık ve özgüllük değerleri bildirmiştir. Benzer şekilde Li ve arkadaşları (2024), klinik görüntü temelli AI uygulamalarının OPMD ve oral kanser saptamadaki doğruluğunu analiz etmiş ve yapay zekâ destekli sistemlerin konvansiyonel klinik değerlendirmeyi tamamlayıcı nitelikte olduğunu göstermiştir. Daha yakın tarihli bir meta-analizde Horvath ve arkadaşları (2026), OPMD tanısında AI uygulamalarının genel performansını incelemiş ve özellikle derin öğrenme temelli modellerin tanısal doğruluğunun klinik olarak anlamlı düzeyde olduğunu vurgulamıştır. Bu meta-analitik veriler, AI sistemlerinin deneysel düzeyden klinik uygulamaya geçiş sürecinde önemli bir bilimsel dayanak oluşturmaktadır.

4.3. Malign Transformasyon Riskinin Tahmini

OPMD'lerin yönetiminde temel klinik sorunlardan biri, hangi lezyonların malign transformasyon göstereceğinin öngörülmesidir. Bu amaçla yalnızca görüntü verileri değil, demografik ve klinik parametreleri de içeren makine öğrenmesi modelleri geliştirilmiştir. Amiri ve arkadaşları (2023) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, lökoplaki ve likenoid mukozit gibi lezyonlarda malign transformasyon riskinin tahmini için çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmış ve risk sınıflandırmasının mümkün olduğu gösterilmiştir. Benzer biçimde yapay sinir ağı temelli modellerle oral kanser risk tahmini yapılmış ve klinik değişkenlerin modele entegrasyonunun performansı artırdığı bildirilmiştir (Alhazmi et al., 2021). Bu tür risk tahmin modelleri, biyopsi kararının zamanlaması, takip aralığının belirlenmesi ve yüksek riskli hastaların erken yönlendirilmesi gibi klinik karar süreçlerini doğrudan etkileyebilecek potansiyele sahiptir.

4.4. Klinik Karar Süreçlerine Yansıması

Oral kanser ve OPMD'ye özel AI çalışmaları, üç temel klinik alanda etkili olabilir:

1. Erken tarama ve sevk kararı,
2. Biyopsi gerekliliğinin belirlenmesi,
3. Malign transformasyon riskine dayalı kişiselleştirilmiş takip planı oluşturulması.

Mevcut literatür, AI sistemlerinin tek başına tanı koyan bağımsız araçlar olmaktan ziyade, hekimin klinik yargısını destekleyen "klinik karar destek sistemleri" olarak konumlandırılması gerektiğini göstermektedir. Erken evre malignitelerin saptanmasında duyarlılığın yüksek olması klinik açıdan kritik olmakla birlikte, bu performansın farklı merkez ve hasta gruplarında sürdürülebilirliği gösterilmeli ve sistem gerçek klinik senaryolarda kapsamlı biçimde değerlendirilmelidir. (Sahoo et al., 2024; Horvath et al., 2026).

Sonuç olarak, OPMD ve oral kanser alanında geliştirilen yapay zekâ tabanlı modeller, klinik görüntü analizinden risk tahminine kadar geniş bir yelpazede umut vadetmektedir. Gelecekte çok merkezli, prospektif ve açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımlarını içeren çalışmalar, bu sistemlerin rutin klinik pratiğe entegrasyonunu hızlandıracaktır.

5. Klinik Karar Destek Sistemleri

Yapay zekâ tabanlı klinik karar destek sistemleri, sağlık profesyonellerinin tanı ve tedavi süreçlerinde daha doğru ve hızlı karar vermesine yardımcı olan bilişim araçlarıdır. Hasta verilerini depolar, analiz eder ve hekime tanı koyma, tedavi planlama, reçete yazma, ilaç etkileşimlerini değerlendirme ve doz ayarlama gibi konularda destek sağlar. Böylece hastaya özgü, daha güvenli ve akılcı bir sağlık hizmeti sunulmasına katkı sağlar. (Akalin & Veranyurt, 2022)

Klinik Karar Destek Sistemlerinin Sınıflandırılması

Klinik Karar Destek Sistemleri (KKDS) için literatürde ortak bir sınıflandırma bulunmamaktadır. Sistemler; kullanım amacı, işlevi ve kullanıcıyla etkileşim biçimine göre farklı şekillerde gruplandırılmaktadır.



Şekil 3. Sağlık Bilimlerinde Yapay Zekâ Tabanlı Klinik Karar Destek Sistem Çeşitleri (Akalin & Veranyurt, 2022).

Bu sınıflama, KKDS'lerin yalnızca tanı desteği değil; hasta güvenliği ve klinik kaliteyi artırmaya yönelik çok yönlü araçlar olduğunu göstermektedir.

Klinik Karar Destek Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

Günümüzde birçok ülkede sağlık kurumlarında Klinik Karar Destek Sistemleri (KKDS) aktif biçimde kullanılmaktadır. Bu sistemler; tanı koyma,

tedavi planlama, reçete düzenleme, hastalık yönetimi ve kritik laboratuvar değerlerine yönelik anlık uyarılar gibi süreçlerde sağlık profesyonellerine destek sağlamaktadır (Akalin & Veranyurt, 2022). Sağlık bilimlerinin geniş ve dinamik yapısı nedeniyle KKDS'lerin kullanım alanı giderek artmaktadır.

Literatürde KKDS'lerin başlıca avantajları şu şekilde özetlenmektedir (Castillo & Kelemen, 2013; Crabb et al., 2020; Purkuloğlu et al., 2019; Wasylewicz et al., 2020):

- Tanı ve tedavi süreçlerinde kanıta dayalı öneriler sunarak klinik karar verme sürecini desteklemesi (Çiriş Yıldız et al., 2020),
- Tıbbi ve ilaç uygulama hatalarını azaltmaya katkı sağlaması,
- Kaynakların daha etkin ve rasyonel kullanılmasına yardımcı olması,
- Hizmet kalitesini artırırken maliyetleri düşürme potansiyeli taşıması,
- Güncel rehber ve bakım protokollerine uyumu güçlendirmesi,
- Disiplinler arası iletişimi kolaylaştırarak standartlaşmayı teşvik etmesi.

Bununla birlikte, KKDS'lerin bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır (Castillo & Kelemen, 2013; Yılmaz & Özdemir, 2015). Uygun şekilde tasarlanmayan sistemler hatalı yönlendirmelere neden olabilir. Sistem geliştirme sürecinde klinik uzmanların yeterince yer almaması, uygulamada güvenlik sorunlarına yol açabilir. Ayrıca kullanıcı eğitiminin yetersiz olması veya sistemin karmaşık bir arayüze sahip olması, sağlık profesyonellerinin sistemi etkin kullanamamasına neden olabilir. Güncel ve güvenilir klinik protokollere dayanmayan sistemler ise gereksiz uyarılar üreterek “alarm yorgunluğu” oluşturabilir ve zaman kaybına yol açabilir.

KKDS'ler hasta güvenliği ve klinik kalite açısından önemli fırsatlar sunmakla birlikte, etkinliklerinin sürdürülebilir olması için doğru tasarım, multidisipliner iş birliği ve kullanıcı eğitimi kritik öneme sahiptir.

Sınırlılıklar ve Gelecek Perspektifler

Mevcut yapay zekâ temelli çalışmaların büyük bölümü, sınırlı hasta popülasyonları üzerinde ve geriye dönük veri setleri kullanılarak geliştirilmiştir. Bu durum, modellerin farklı klinik ortamlardaki performansının öngörülmesini güçleştirmektedir. Ayrıca görüntüleme koşullarındaki değişkenlik, cihaz farklılıkları ve uzmanlar arası etiketleme

tutarsızlıkları algoritmaların genellenebilirliğini sınırlayan faktörler arasındadır.

İlerleyen dönemde, farklı merkezlerden elde edilen standartlaştırılmış veri setlerinin bir araya getirilmesi kritik önem taşımaktadır. Görüntüleme protokollerinin harmonizasyonu, açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımlarının klinik anlamlılık açısından sistematik biçimde değerlendirilmesi ve prospektif klinik doğrulama çalışmalarının yürütülmesi, bu teknolojilerin güvenli entegrasyonu için temel gerekliliklerdir.

SONUÇ

Ağız mukozası lezyonlarının değerlendirilmesi, klinik heterojenite ve gözlemci bağımlılığı nedeniyle nesnel ve tekrarlanabilir yöntemlere ihtiyaç göstermektedir. Özellikle premalign lezyonlarda erken tanı, kanserleşme sürecinin önlenmesi, tedavi başarısının artırılması ve mortalitenin azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle riskli lezyonların erken evrede doğru şekilde tanımlanması klinik yönetimin temel hedefidir.

Derin öğrenme temelli modeller, lezyon tespiti ve malign dönüşüm riskinin öngörülmesinde yüksek performans potansiyeli sunmaktadır. Bununla birlikte mevcut çalışmaların büyük bölümü sınırlı ve tek merkezli veri setlerine dayanmaktadır. Klinik uygulamaya geçiş için çok merkezli ve prospektif validasyon çalışmalarının yürütülmesi gereklidir. Ayrıca regülasyon süreçlerinin netleştirilmesi, veri güvenliğinin sağlanması ve performans ölçütlerinin standartlaştırılması önem taşımaktadır.

Açıklanabilirlik yaklaşımları algoritmaların klinik güvenilirliğini artıran temel unsurlardır. Gelecekte multimodal veri entegrasyonu ve geniş ölçekli veri paylaşım modelleri ile sistemlerin genellenebilirliğinin güçlendirilmesi beklenmektedir. Bununla birlikte, görüntü analizi temelli yapay zekâ modellerinin hasta öyküsü, sistemik risk faktörleri ve klinik bulgular gibi parametreleri içeren yapay zekâ tabanlı klinik karar destek sistemleri ile entegre biçimde kullanılması, daha bütüncül bir değerlendirme sağlayarak tanısal doğruluğun artırılmasına ve bireyselleştirilmiş tedavi planlamasına katkıda bulunabilir.

KAYNAKLAR

- Akalın, B., & Veranyurt, Ü. (2022). Sağlık bilimlerinde yapay zekâ tabanlı klinik karar destek sistemleri. *Gevher Nesibe Journal of Medical & Health Sciences*, 7(18), 64–73.
- Alhazmi, A., et al. (2021). Error-free diagnosis of oral cancer using artificial intelligence: A systematic review. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 122(4), 435–442.
- Amiri, M., et al. (2023). Prediction of malignant transformation in oral potentially malignant disorders using machine learning. *Journal of Big Data*, 10, 45.
- Ana Davila, Jacinto Colan & Yasuhisa Hasegawa (2024). Comparison of fine-tuning strategies for transfer learning in medical image classification. *Image and Vision Computing*, 146, 105012.
- Castillo, R. S., & Kelemen, A. (2013). Considerations for a successful clinical decision support system. *Computers in Biology and Medicine*, 43(7), 818–828. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2013.04.006>
- Crabb, B. T., et al. (2020). Clinical decision support tools and their impact on patient care. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 27(9), 1400–1408. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa097>
- Çiriş Yıldız, C., Başbüyük, M., & Yıldırım, D. (2020). Klinik karar destek sistemlerinin hemşirelikte kullanımı. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 8(2), 483–495.
- Deperlioğlu, Ö., Güraksın, G. E., & Köse, U. (2016). Web tabanlı klinik karar destek sistemleri: Yapıları ve özellikleri. *Akademik Bilişim 2016*, Aydın, Türkiye.
- Desai, K. M., et al. (2025). Screening of oral potentially malignant disorders and oral cancer using deep learning models. *Scientific Reports*, 15(1), 17949.
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., et al. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115–118.
- Galić, I., Habijan, M., Leventić, H., & Romić, K. (2023). Machine learning empowering personalized medicine: A comprehensive review of medical image analysis methods. *Electronics*, 12(21), 4411.
- Gartner, L. P. (1994). Oral anatomy and tissue types. *Seminars in Dermatology*, 13(2), 68–73.

- Horvath, D., et al. (2026). Artificial intelligence helps diagnose oral potentially malignant disorders: A systematic review and meta-analysis. *JDR Clinical & Translational Research*. Advance online publication.
- Huang, S. C., Pareek, A., & Lungren, M. P. (2020). Fusion of medical imaging and electronic health records using deep learning: A systematic review and implementation guidelines. *NPJ Digital Medicine*, 3, 136.
- Jogin, M., Mohana, M., Madhulika, M. S., Divya, G. D., Meghana, R. K., & Apoorva, S. (2018). Feature extraction using convolution neural networks (CNN) and deep learning. In *2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)* (pp. 2319–2323). IEEE.
- Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, 62(1), 15–25.
- Kim, D. H., Kim, S. W., Lee, J., & Hwang, S. H. (2021). Narrow-band imaging for screening of oral premalignant or cancerous lesions: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Otolaryngology*, 46(3), 501–507. <https://doi.org/10.1111/coa.13716>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.
- Li, J. W., et al. (2024). Diagnostic accuracy of artificial intelligence–assisted clinical imaging in the detection of oral potentially malignant disorders and oral cancer: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Surgery*, 110, 5034–5046.
- Madabhushi, A., & Lee, G. (2016). Image analysis and machine learning in digital pathology: Challenges and opportunities. *Medical Image Analysis*, 33, 170–175. <https://doi.org/10.1016/j.media.2016.06.037>
- Maymone, M. B. C., Greer, R. O., Burdine, L. K., et al. (2019). Benign oral mucosal lesions: Clinical and pathological findings. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 80(1), 43–56.
- Musthafa, M. M., T. R., M., V. K., V., et al. (2024). Enhanced skin cancer diagnosis using optimized CNN architecture and checkpoints for automated dermatological lesion classification. *BMC Medical Imaging*, 24, 201.
- Neville, B. W., Damm, D. D., Allen, C. M., & Chi, A. C. (2016). *Oral and maxillofacial pathology* (4th ed.). Elsevier.
- Patton, L. L., Epstein, J. B., & Kerr, A. R. (2008). Oral cancer examination and adjunctive techniques for lesion diagnosis: A systematic review. *Journal of the American Dental Association*, 139(10), 1385–1397.

- Raza, H., & Singh, N. K. (2021). An overview of unsupervised deep learning for medical image analysis. *Current Medical Imaging*, 17(9), 1059–1077.
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
- Sahoo, A. K., et al. (2024). Diagnostic performance of artificial intelligence in the detection of oral potentially malignant disorders and oral cancer: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 24(1), 101952.
- Saldivia-Siracusa, C., et al. (2025). Explainable deep learning for the classification of oral potentially malignant disorders and squamous cell carcinoma. *Clinical Oral Investigations*, 29(1), 112–124.
- Shen, D., Wu, G., & Suk, H.-I. (2017). Deep learning in medical image analysis. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 19, 221–248.
- Sokolova, M., & Lapalme, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*, 45(4), 427–437.
- Talwar, V., et al. (2023). Screening of oral potentially malignant disorders using artificial intelligence–assisted smartphone-based photographic images. *Diagnostics*, 13(16), 2680.
- Tanriver, G., Soluk Tekkesin, M., & Ergen, O. (2021). Automated detection and classification of oral lesions using deep learning to detect oral potentially malignant disorders. *Cancers*, 13(11), 2766.
- Tiwari, L., Kujan, O., & Farah, C. S. (2020). Optical fluorescence imaging in oral cancer and potentially malignant disorders: A systematic review. *Oral Diseases*, 26(3), 491–510. <https://doi.org/10.1111/odi.13271>
- Villa, A., Lodolo, M., & Ha, P. (2025). Oncological outcomes of patients with oral potentially malignant disorders. *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 151(1), 65–71.
- Warnakulasuriya, S. (2020). Oral potentially malignant disorders: A comprehensive review on clinical aspects and management. *Oral Oncology*, 102, 104550.
- Wasylewicz, A. T. M., et al. (2020). Clinical decision support systems in healthcare: A review of benefits and risks. *Healthcare Informatics Research*, 26(4), 279–288. <https://doi.org/10.4258/hir.2020.26.4.279>
- World Health Organization. (2022). *WHO classification of head and neck tumours* (5th ed.). International Agency for Research on Cancer.

- Xiao, M., Zhang, L., Shi, W., Liu, J., He, W., & Jiang, Z. (2021). A visualization method based on the Grad-CAM for medical image segmentation model. In *Proceedings of the 2021 International Conference on Electronic Information Engineering and Computer Science (EIECS)* (pp. 242–247).
- Yıldırım, B., Şengüven, B., Barış, E., & Gültekin, S. E. (2011). Potansiyel malign bozukluklar ve ağız kanseri şüphesi bulunan lezyonlara yaklaşım ve diş hekimlerinin klinikteki rolü. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 5(2), 881–886.
- Yılmaz, E., & Özdemir, S. (2015). Klinik karar destek sistemleri ve hasta güvenliği. *Türkiye Klinikleri Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(3), 145–152.

ADLI DIŞ HEKİMLİĞİNDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ TRAVMA ZAMANLAMASI ANALİZİ

Halil İbrahim DURMUŞ

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0003-4762-4788
- ❖ Mail: halilibrahimdurmus@adiyaman.edu.tr

Ümit SOLMAZ

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0001-7686-8613
- ❖ Mail: usolmaz@adiyaman.edu.tr

Nuran DAĞ

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0001-3845-8872
- ❖ Mail: ndag@adiyaman.edu.tr

GİRİŞ

Adli diş hekimliği, diş ve çene yapısının adli amaçlarla incelenmesini içeren multidisipliner bir bilim dalıdır. Bu alan, özellikle insan kimliklendirme, yaş tahmini, ısırık izi analizi ve travma değerlendirmesi gibi hukuki açıdan kritik görevlerle ilişkilidir (Sezer, 2025). Dişler ve maksillofasiyal yapılar, çevresel ve travmatik etkilere karşı dayanıklılıkları nedeniyle adli soruşturmalar için son derece değerli bulgular sunar. Özellikle travma zamanlaması; bir yaralanmanın ne zaman olduğu bilgisinin belirlenmesi, olayın rekonstrüksiyonunu, failin eylem zamanını ve hukuki sorumlulukların değerlendirilmesini doğrudan etkiler. Bu, örneğin darp, cinsel saldırı, çocuk istismarı veya trafik kazası gibi vakalarda zarar gören kişinin yaralanma zamanını belirlemek bakımından adli raporlamanın merkezindedir.

Hukuki bağlamda travma zamanlaması, delillerin mahkemece kabul edilebilmesi ve olay örgüsünün doğru şekilde kurulabilmesi açısından kritik bir ölçüttür. Ceza hukuku uygulamalarında yaralanmanın zamanı, fiilin hukuki nitelendirilmesini (örneğin; suçun işlendiği an ile mağdurun ifadesi arasındaki ilişki) ve sorumlu kişilerin tespitini doğrudan etkiler. Çocuk istismarı gibi hassas vakalarda ise yaralanmanın oluş zamanının belirlenmesi, fail ile mağdurun beyanlarının çakışıp çakışmadığını ve istismarın süreklilik arz edip etmediğini ortaya koyabilir. Bu nedenle, bilimsel yöntemlerle yapılmış bir travma zamanlama analizi sadece medikal değil aynı zamanda adli açıdan da yüksek delil değeri taşır (Sezer, 2025).

Son yıllarda yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin adli bilimlerde kullanımı hızla artmaktadır. YZ uygulamaları; özellikle görüntü işleme, büyük veri analitiği ve örüntü tanıma gibi alanlarda uzman değerlendirmesini tamamlayıcı nitelikte ciddi avantajlar sunar (Morán-Torres et al., 2025). Adli odontoloji özelinde de derin öğrenme ve makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlar, dental travma verilerinin otomatik sınıflandırılması ve yaralanma zamanının objektif tahmini gibi uygulamalarla geleneksel yöntemlerin sınırlamalarını aşmayı hedefler. Bu teknolojiler; insan gözlemi ve uzman yorumu gerektiren işlemleri standardize etme, analiz süresini kısaltma ve subjektif yanılırları azaltma potansiyeline sahiptir (Morán-Torres et al., 2025; Sinha et al., 2025). Bu sayede travma zamanlaması gibi kritik değerlendirmelerde daha objektif, tekrarlanabilir ve yargı süreçlerinde güvenilir sonuçlar üretilebilir.

1. Adli Diş Hekimliğinde Travma Zamanlamasının Temelleri

Travmatik yaralanmalarda biyolojik iyileşme sürecinin doğru anlaşılması, adli diş hekimliğinde travma zamanlamasının bilimsel temelini oluşturur. Yara iyileşmesi; inflamasyon, proliferasyon ve yeniden şekillenme (remodelling) evrelerinden oluşan, zamana bağlı ve hücrel olarak düzenlenmiş bir süreçtir. Travmayı izleyen ilk saatlerde vazodilatasyon, damar geçirgenliğinde artış ve nötrofil infiltrasyonu gözlenirken; takip eden günlerde makrofaj aktivitesi, fibroblast proliferasyonu ve granülasyon dokusu gelişimi ön plana çıkar. İlerleyen haftalarda kollajen organizasyonu ve doku maturasyonu gerçekleşir (Guo & DiPietro, 2010). Bu evrelerin süre ve şiddeti; travmanın tipi, dokunun vaskülarizasyonu ve sistemik faktörler gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bu nedenle adli değerlendirmede biyolojik süreçlerin kronolojisi, yaralanmanın yaklaşık zaman aralığının belirlenmesinde önemli bir referans çerçevesi sunar.

Dental ve maksillofasiyal dokuların iyileşme dinamikleri, histolojik ve fizyolojik özellikleri nedeniyle birbirinden ayrılır. Alveolar kemikte travma sonrası iyileşme; hematoma organizasyonu, osteoklastik rezorpsiyon ve osteoblastik yeni kemik formasyonu basamaklarını içerir. Bu süreç radyografik olarak başlangıçta belirgin değişiklik göstermeyebilir; ancak günler ve haftalar içinde trabeküler organizasyonda farklılaşma ve kallus benzeri yapılar izlenebilir (Andreasen, Andreasen, Andersson, 2018). Periodontal ligament yaralanmalarında ise hücrel proliferasyon ve lif organizasyonu, dişin mobilite derecesi ve replasman rezorpsiyonu riskini belirler. Pulpa dokusunda travma sonrası vasküler dolaşımın bozulması; iskemi, inflamasyon ve olası nekroz gelişimi ile sonuçlanabilir. Pulpa iyileşmesinin ya da nekrozunun zamanlaması, klinik vitalite testleri ve radyografik bulgularla birlikte değerlendirildiğinde travmanın kronolojisine ilişkin önemli ipuçları sağlar (DiAngelis et al., 2012).

Adli diş hekimliğinde akut, subakut ve kronik lezyon ayrımı, travma zamanlamasının kategorik çerçevesini oluşturur. Akut evre genellikle ilk saatler ve birkaç günü kapsar; belirgin inflamasyon, ödem, hassasiyet ve renk değişikliği ile karakterizedir. Subakut dönemde inflamatuvar yanıt azalırken proliferatif faz bulguları ön plana çıkar; granülasyon dokusu oluşumu ve erken kollajen birikimi gözlenir. Kronik evrede ise fibrotik değişiklikler, skar dokusu oluşumu ve kemik remodelasyonu gibi geç dönem adaptasyonları görülür (Guo & DiPietro, 2010). Maksillofasiyal kemiklerde remodelasyon

sürecinin haftalar ila aylar boyunca devam edebilmesi, travma zamanlamasının kesin bir tarih vermekten ziyade belirli bir zaman aralığı şeklinde ifade edilmesini gerektirir.

Travma zamanlamasında klinik, radyolojik ve histopatolojik kriterlerin birlikte değerlendirilmesi esastır. Klinik muayenede renk değişimi, hematoma evrimi, diş mobilitesi ve perküsyon hassasiyeti gibi bulgular zamansal değerlendirmeye katkı sağlar. Radyolojik incelemelerde periapikal radyografiler ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KİBT), kök rezorpsiyonu, periodontal aralık değişiklikleri, alveolar kemik kırıkları ve iyileşme çizgilerinin izlenmesine olanak tanır (Patel et al., 2019). Histopatolojik inceleme ise inflamatuvar hücre dağılımı, fibroblast yoğunluğu ve kollajen organizasyonu gibi mikroskobik göstergeler aracılığıyla iyileşme evresini daha kesin biçimde ortaya koyabilir. Bu çok boyutlu yaklaşım, adli raporlamada daha objektif ve bilimsel temelli bir zamanlama değerlendirmesi yapılmasını mümkün kılar.

Sonuç olarak, travma zamanlaması; biyolojik iyileşme evrelerinin kronolojik özellikleri ile dental ve maksillofasiyal dokuların özgül yanıtlarının bütüncül değerlendirilmesine dayanır. Tek bir parametreye dayalı yorumlar yanıltıcı olabileceğinden, klinik bulguların radyolojik ve histopatolojik verilerle desteklenmesi adli güvenilirliği artırır.

2. Travma Zamanlaması Analizlerinin Önemi

Travma zamanlaması analizleri, adli diş hekimliğinde hem klinik hem de hukuki süreçlerde önemli bir rol oynamaktadır. Çocuk istismarı vakalarında yaralanmaların aynı ya da farklı zaman dilimlerinde meydana gelip gelmediğinin belirlenmesi, olayın kronolojisinin oluşturulması ve hukuki sorumluluğun değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle orofasiyal travmaların klinik bulgularla karşılaştırılması zaman çizelgesinin oluşturulmasına katkı sağlar (Fontana & Beck, 2017). Benzer şekilde darp ve şiddet olgularında hematoma, kemik kırığı ve yumuşak doku değişimlerinin belirli evreler göstermesi, travma zamanının tahminine imkân tanır (Giannoudis et al., 2018). Spor yaralanmalarında ise çene ve yüz bölgesi travmalarının iyileşme süreci KİBT ve Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) gibi görüntüleme yöntemleriyle izlenebilmekte olup, bu süreçler özellikle ihmal iddiaları ve sigorta uyuşmazlıklarında adli önem taşımaktadır (Mallon & Kakar, 2019). Kitlesel afetlerde çok sayıda vakanın hızlı değerlendirilmesi gerekliliği, otomatik analiz sistemlerinin kullanımını daha da önemli hâle getirmektedir (Ting et al., 2021). Tüm bu senaryolarda

geleneksel klinik ve radyolojik değerlendirmeler temel olmakla birlikte, YZ destekli modeller zamana bağlı doku değişimlerini nicel ve tekrarlanabilir biçimde analiz ederek objektifliği artırabilir. Ancak bu sistemlerin adli bağlamda güvenilir biçimde kullanılabilmesi için karar süreçlerinin şeffaf ve yorumlanabilir olması gerekmektedir; açıklanabilir YZ yaklaşımları bu gereksinimi desteklemektedir (Doshi-Velez & Kim, 2017).

3. Travma Zamanlamasında Kullanılan Geleneksel Yöntemler

Travmatik yaralanmaların zamanlamasının belirlenmesinde adli diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan geleneksel yöntemler, klinik muayene bulguları, radyolojik incelemeler ve doku düzeyindeki değerlendirmelerdir. Her bir yaklaşım, travmanın meydana geliş tarihine ilişkin dolaylı kanıtlar sağlar; ancak bireysel sınırlamaları ve subjektif değerlendirme ihtiyacı nedeniyle tek başına yeterli kabul edilmez.

3.1. Klinik Gözlem Kriterleri

Klinik değerlendirme, travma zamanlamasında ilk ve temel adımdır. Travma sonrası dokularda gelişen inflamasyon reaksiyonları, ödem, hematoma, doku rengindeki değişimler ve dokular arası fonksiyon farklılıkları gibi bulgular travmanın ne kadar süre önce meydana geldiğine dair ipuçları verir. Özellikle hematoma rengi ve sertliği gibi parametrik değişiklikler zaman içinde karakteristik bir evrilim gösterir (Andreasen, Andreasen & Andersson, 2018). Ancak klinik bulguların yorumu büyük ölçüde gözleme dayalıdır ve deneyimli klinisyenler arasında bile değerlendirme farklılıklarına yol açabilir. Bu nedenle yalnızca klinik kriterlere dayalı olarak travma zamanını kesin olarak belirlemek güçtür.

3.2. Radyografik Değerlendirme

Radyolojik yöntemler, travmanın doku ve kemik üzerindeki etkilerini üç boyutlu ve iki boyutlu görüntüler aracılığıyla ortaya koyar. Periapikal radyografi, panoramik görüntüleme ve KIBT özellikle kemik kırıkları, periodontal ligament aralığındaki bozulmalar, kök rezorpsiyonları ve periostal reaksiyonlar gibi travmaya bağlı anatomik değişikliklerin tespitinde kullanılır (Patel et al., 2019). KIBT, ekstraoral üç boyutlu görüntüleme sağlayarak kemik yapısındaki ince değişiklikleri daha hassas şekilde gösterebilirken, geleneksel periapikal ve panoramik filmler sınırlı perspektif sunabilir. Yine de radyografide zamanlama yapılırken, bu görüntüsel değişikliklerin travmadan

ne kadar süre sonra ortaya çıktığına ilişkin referans çizelgelerinin kısıtlı olması belirgin bir sınırlılıktır.

3.3. Histolojik ve Biyokimyasal Göstergeler

Travma sonrası ilk dönemden ileri dönemlere kadar olan dokusal yanıtlar, mikroskopik düzeyde de karakteristik değişiklikler gösterir. Histopatolojik analizler, inflamatuvar hücre infiltrasyonundan granülasyon dokusu oluşumuna ve fibroblast proliferasyonuna kadar belirli evrelerin varlığını ortaya koyabilir; bu evreler travmanın üzerinden geçen süreye bağlı olarak değişir (Guo & DiPietro, 2010). Bu mikroskopik göstergeler, özellikle kronikleşmiş veya iyileşme sürecine girmiş lezyonların tanımlanmasında önemlidir.

Biyokimyasal göstergeler ise doku onarımına eşlik eden moleküler değişimlerin ölçülmesine dayanır. Travma sonrası belirli sitokinler, büyüme faktörleri ve matriks metaloproteinaz gibi enzimlerin düzeylerinde görülen değişimler, dokuların iyileşme evresine ilişkin ipuçları verebilir (Eming, Martin & Tomic-Canic, 2017). Ancak bu tür analizlerin klinik pratikte uygulanması invaziv örnekleme gerektirdiğinden ve özel laboratuvar altyapısı ile analiz süreçlerini zorunlu kıldığından, rutin adli vakalarda yaygın olarak kullanılmaları sınırlıdır.

3.4. Sınırlılıklar ve Subjektivite Sorunları

Geleneksel travma zamanlama yöntemlerinin ortak bir yönü, çoğunun belirli bir dereceye kadar subjektif değerlendirmeye dayanmasıdır. Klinik bulguların yorumlanması, gözlemcinin deneyimine ve vaka sunumunun özelliklerine göre değişebilir. Radyolojik değerlendirmeler, görüntüleme kalitesi, anatomik varyasyonlar ve cihaz ayarlarına bağlı faktörlerden etkilenebilir; bu da zamanlama analizinin tekrarlanabilirliğini azaltır (Patel et al., 2019). Histolojik ve biyokimyasal yöntemler daha objektif veri sağlama potansiyeline sahip olsa da bunların rutin adli kullanımını sınırlayan pratik zorluklar vardır. Bu nedenlerle geleneksel yöntemler genellikle birbirleriyle triangüle edilerek birlikte yorumlanır; böylece travmanın muhtemel zaman aralığına daha sağlam bir yaklaşım elde edilir.

4. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesine Giriş

Yapay zekâ (YZ), insan bilişsel süreçlerini taklit edebilen algoritmik sistemlerin geliştirilmesini amaçlayan disiplinlerarası bir araştırma alanıdır. Günümüzde YZ; özellikle büyük veri analizi, örüntü tanıma ve karar destek

mekanizmalarında önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Sağlık bilimleri ve adli bilimler gibi yüksek doğruluk gerektiren alanlarda YZ sistemlerinin kullanımı hem tanısal süreçleri hızlandırmakta hem de insan kaynaklı varyasyonu azaltma potansiyeli sunmaktadır (Topol, 2019).

Makine öğrenmesi (ML), YZ'nin alt dalı olup sistemlerin açıkça programlanmadan verilerden öğrenmesini sağlar. ML algoritmaları, istatistiksel modelleme teknikleri kullanarak veri içindeki örüntüleri tanımlar ve yeni veriler üzerinde tahmin üretir. Derin öğrenme (deep learning) ise çok katmanlı yapay sinir ağları aracılığıyla özellikle görüntü ve ses verilerinde yüksek performans göstermektedir (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015).

4.1. Denetimli ve Denetimsiz Öğrenme

Denetimli öğrenme, etiketlenmiş veri setleri kullanılarak model eğitilmesini içerir. Örneğin dental travma görüntülerinin “akut” veya “kronik” şeklinde etiketlenmesi, sınıflandırma algoritmalarının eğitilmesine olanak sağlar. Denetimsiz öğrenme ise veri içinde önceden belirlenmiş etiketler olmadan yapısal örüntülerin keşfedilmesini amaçlar. Kümeleme algoritmaları (ör. k-means) bu kategoriye örnektir ve biyomedikal görüntülerde benzer özelliklerin gruplanmasında kullanılabilir (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016).

4.2. Görüntü Analizi ve Bilgisayarlı Görüşü

Adli diş hekimliğinde görüntü verileri merkezi öneme sahiptir. Bilgisayarlı görüşü (computer vision) sistemleri, radyografik veya klinik görüntülerden otomatik özellik çıkarımı yapabilmektedir. Özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN), görüntü sınıflandırma ve segmentasyon alanında yüksek doğruluk oranlarına ulaşmıştır. CNN mimarileri; kenar, doku ve şekil gibi çok katmanlı özellikleri otomatik olarak öğrenir ve bu sayede insan gözünün algılayamadığı mikroskobik farklılıkları tespit edebilir (Esteva et al., 2017).

4.3. Sağlık Alanında Yapay Zekâ Uygulamaları

YZ uygulamaları sağlık sektöründe radyoloji, dermatoloji ve patoloji gibi alanlarda klinik karar destek sistemlerine entegre edilmiştir. Özellikle radyolojik görüntü analizinde derin öğrenme tabanlı sistemlerin uzman hekimlerle karşılaştırılabilir doğruluk oranlarına ulaştığı bildirilmektedir (Rajpurkar et al., 2017). Diş hekimliğinde ise çürük tespiti, periodontal hastalık analizi ve yaş tahmini gibi alanlarda YZ tabanlı modeller

geliştirilmiştir (Schwendicke et al., 2020). Bu gelişmeler, adli diş hekimliği bağlamında travma zamanlaması gibi zamana duyarlı analizlerin de algoritmik olarak modellenebileceğini göstermektedir.

5. Travma Zamanlamasında Yapay Zekâ Destekli Analiz

Travma zamanlaması, geleneksel yaklaşımlarda çoğunlukla klinik deneyim ve yorumlayıcı değerlendirmelere dayanmaktadır. Bu yöntemler subjektif olabileceği için, sonuçların tekrarlanabilirliği sınırlıdır. YZ destekli analiz sistemleri, travma sonrası doku değişikliklerini nicel parametreler üzerinden modelleyerek daha objektif ve güvenilir sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır (Litjens et al., 2017).

YZ tabanlı travma zamanlaması modelleri, genellikle çoklu veri kaynaklarının entegrasyonu, uygun algoritma seçimi ve güvenilir eğitim süreçleri üzerine inşa edilir. Bu yaklaşımlar, adli patoloğlar için kritik öneme sahip olan yara yaşı tahmini konusunda özellikle faydalıdır. Mevcut yöntemler fiziksel bulgulara veya biyokimyasal testlere dayansa da travmadan sonraki zaman aralığını objektif ve doğru biçimde belirlemek hâlâ zorluklar taşımaktadır. Bunun üzerine yapılan bir çalışmada, metabolomik veriler ile makine öğrenimi algoritmalarının birleştirilmesiyle oluşturulan modellerin, yara yaşı tahmininde potansiyel olarak güvenilir ve kullanışlı bir strateji sunduğu gösterilmiştir (Cao et al., 2023).

5.1. Kullanılan Algoritmalar

Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN)

CNN'ler, görüntü sınıflandırma ve segmentasyon alanında en yaygın kullanılan derin öğrenme mimarisidir. Travma zamanlamasında CNN modelleri, görüntülerden otomatik özellik çıkarımı yaparak lezyon evresini sınıflandırabilir. Bu modeller, manuel özellik mühendisliği gereksinimini azaltır (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015).

Transfer Learning

Travma zamanlamasına özgü veri setleri genellikle sınırlı büyüklüktedir. Transfer learning yaklaşımı, büyük genel veri setlerinde önceden eğitilmiş modellerin dental görüntülere uyarlanmasını sağlar. Bu yöntem, küçük veri setlerinde dahi yüksek performans elde edilmesine yardımcı olur (Pan & Yang, 2010).

Zaman Serisi Analiz Modelleri

Travma sonrası doku değişimleri zamana bağlı ilerlediği için, ardışık görüntüler üzerinden analiz yapan zaman serisi modelleri (örneğin LSTM tabanlı yapılar) travmanın evrimini modelleyebilir. Bu tür yaklaşımlar, özellikle takip görüntüleri mevcut olduğunda zaman tahmininin hassasiyetini artırabilir (Zhang et al., 2020).

Travma zamanlaması modellerinde güvenilir referans zaman (gold standard) kritik öneme sahiptir; etiketleme hataları model performansını olumsuz etkileyebilir, bu nedenle çoklu uzman görüşü ve kör değerlendirme yöntemleri önerilmektedir (Litjens et al., 2017). Görüntülerin normalize edilmesi, gürültü azaltma ve segmentasyon gibi ön işlemler ile döndürme, ölçekleme ve kontrast değişimi gibi veri artırma teknikleri, küçük veri setlerinde aşırı öğrenme riskini azaltır ve model doğruluğunu artırır. Ayrıca, eğitim, doğrulama ve test alt kümelerinin ayrılması ile çapraz doğrulama uygulamaları, modelin genellenebilirliğini güçlendirir (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016).

5.2 Veri Kaynakları

Klinik Fotoğraflar: Klinik görüntüler, yumuşak doku değişikliklerini, hematom evrimini ve inflamasyon belirtilerini belgelemek açısından değerli veri kaynaklarıdır. Derin öğrenme algoritmaları, piksel düzeyinde renk ve doku analizleri yaparak travmanın akut, subakut veya kronik evrede olup olmadığını sınıflandırabilir. Hematom yaşını tahmin etmek amacıyla histolojik incelemeler, MRG veya darbeli lazer ve fototermal emilim tabanlı yöntemler geliştirilmiş olsa da bu teknikler genellikle invaziv örnekleme gerektirmekte veya kapsamlı teknik ve personel kaynakları talep etmektedir.

Buna alternatif olarak, hiperspektral görüntüleme (HSI) kullanılarak travma sonucu oluşan hematomların renk ve spektral özelliklerindeki zamana bağlı değişiklikler incelenmiş ve makine öğrenimi modelleriyle hematom yaşının tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu modeller, görüntü verilerindeki zaman bağımlı değişiklikleri öğrenerek hematomların gerçek yaşını tahmin etmiş ve tahmin doğruluğunu ölçmüştür (Al-Arami et al., 2025).

Ayrıca, bilgisayarlı görü sistemlerinin dermatolojik lezyon analizinde elde ettiği yüksek başarı düzeyi (Esteva et al., 2017), benzer metodolojilerin dental travma görüntülerinin değerlendirilmesine ve travmanın zamanlamasının belirlenmesine de uygulanabileceğini göstermektedir

Radyolojik Görüntüler: Periapikal radyografiler, panoramik görüntüler ve KIBT verileri, kemik iyileşmesinin zamansal değişimini analiz etmek için önemli veri kaynaklarıdır. Derin öğrenme tabanlı sistemler, özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN) kullanarak panoramik radyografilerde fraktür hatlarını ve kemik yoğunluğu değişimlerini otomatik olarak tespit edebilmektedir (Vinayahalingam et al., 2022; Son et al., 2021). Üç boyutlu görüntü verileri, travma sonrası erken kemik remodelasyonunun nicel analizini sağlamak açısından özellikle değerlidir.

Buna ek olarak, radyografik görüntüler üzerinde eğitilmiş derin öğrenme modelleri, kırıkların oluşma zamanını (time-since-injury) tahmin etmede de başarılı olmuştur. Bu modeller hem kırığın sınıflandırılmasını hem de gerçek travma zamanına yakın tahminler üretmeyi mümkün kılmaktadır. Örneğin, geliştirilen sistem uzun kemik kırıklarının yaşını gün düzeyinde tahmin edebilmiş ve ortalama tahmin hatası (MAE) yaklaşık 6,2 gün olarak ölçülmüştür. Bu bulgular, AI tabanlı yaklaşımların travma zamanlamasında geleneksel yöntemlerden daha objektif ve hassas tahminler sağlayabileceğini göstermektedir (Brink, Adler & Bambach, 2025).

Histolojik Kesitler: Histolojik kesitler, travma sonrası mikroskobik doku değişimlerini doğrudan inceleyerek travma zamanlamasının belirlenmesinde önemli bir veri kaynağıdır. İnflamatuvar hücre yoğunluğu, fibroblast proliferasyonu, kollajen birikimi ve doku remodelasyonu gibi parametreler, yaralanmanın akut, subakut veya kronik evresini gösterebilir. Geleneksel mikroskobik değerlendirme subjektiflik içerirken, yapay zekâ destekli sistemler hücresel segmentasyon ve sınıflandırma ile daha objektif ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlar (Campanella et al., 2019).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, derin öğrenme algoritmalarının histolojik kesitlerdeki zamana bağlı doku değişimlerini modelleyebileceğini ve travma evresini tahmin edebileceğini göstermektedir. Örneğin, yara iyileşmesi veya hematoma evrimi üzerine yapılan metabolik ve histolojik analizlerde, makine öğrenimi modelleri hücresel ve matris değişikliklerini öğrenerek travma sonrası geçen süreyi tahmin edebilmiştir (Cao et al., 2023; Brink, Adler & Bambach, 2025). Bu yöntemler, adli patoloji ve travma analizlerinde hem zaman tahmini doğruluğunu artırmak hem de geleneksel değerlendirmelerdeki subjektifliği azaltmak açısından büyük potansiyele sahiptir.

Multimodal Veri Kullanımı: Tek bir veri kaynağı yerine klinik, radyolojik ve histolojik verilerin birlikte analiz edilmesi, model doğruluğunu

artırabilir. Multimodal öğrenme yaklaşımları, farklı veri türlerinden elde edilen özellikleri entegre ederek daha güçlü tahmin modelleri oluşturur. Sağlık alanındaki multimodal yapay zekâ uygulamaları, tanısal doğruluğun artabileceğini göstermektedir (Huang et al., 2020).

5.3.Performans Ölçütleri

YZ modellerinin başarısı yalnızca doğruluk oranı ile değil, duyarlılık (sensitivity), özgüllük (specificity), F1 skoru ve ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) gibi metriklerle değerlendirilmelidir (Saito & Rehmsmeier, 2015). Özellikle adli uygulamalarda yanlış pozitif ve yanlış negatif oranlarının ayrı ayrı değerlendirilmesi büyük önem taşır. Klinik uygulanabilirlik açısından model çıktılarının yorumlanabilirliği ve hata payının açık biçimde raporlanması gereklidir.

6. Adli Diş Hekimliğinde Yapay Zekâ Uygulamaları

YZ teknolojileri, son yıllarda adli diş hekimliği uygulamalarında dikkat çekici bir gelişim göstermiştir. Görüntü işleme, örüntü tanıma ve büyük veri analitiği alanlarındaki ilerlemeler; kimliklendirme, yaş tahmini ve travmatik bulguların analizi gibi süreçlerde daha objektif ve tekrarlanabilir yöntemlerin geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Geleneksel yöntemlerin gözlemciye bağlı değişkenlik içermesi, YZ destekli sistemlerin adli odontoloji alanında tamamlayıcı bir araç olarak konumlanmasına yol açmıştır (Schwendicke, Samek, & Krois, 2020).

Adli soruşturmalarda makine öğrenimi uygulamalarının etik boyutları dikkate alınmalı ve olası önyargı veya hataların etkisini azaltmak amacıyla, bu modellerin elde ettiği bulguların diğer deliller ve uzman tanıklığıyla birlikte değerlendirilmesi sağlanmalıdır. (Mohite, Narain, & Jadhav, 2025).

6.1. Yaş Tahmini

Adli diş hekimliğinde yaş tahmini, özellikle kimliği belirsiz bireylerin tanımlanması ve göçmen, mülteci ya da çocuk istismarı vakalarında hukuki statünün belirlenmesi açısından önem taşır. Geleneksel yöntemler; diş gelişim evreleri, kök kapanması ve üçüncü molar maturasyonu gibi morfolojik kriterlere dayanır. Günümüzde ise derin öğrenme tabanlı CNN, panoramik radyografiler üzerinden kronolojik yaş tahmini yapabilmektedir.

Çeşitli çalışmalar, CNN modellerinin manuel yaş değerlendirme yöntemleriyle karşılaştırılabilir doğruluk oranlarına ulaştığını göstermektedir (Lee et al., 2021). Bu modeller, diş kök uzunluğu, pulpa-dentin oranı ve kemik yoğunluğu gibi parametreleri otomatik olarak analiz ederek insan gözünün ayırt etmekte zorlanabileceği ince varyasyonları yakalayabilmektedir. Böylece gözlemci bağımlılığı azaltılmakta ve standardizasyon artmaktadır.

6.2. Kimliklendirme

Adli kimliklendirme süreçlerinde dental kayıtların karşılaştırılması temel bir yöntemdir. Geleneksel olarak diş chart'ları, restorasyonlar ve morfolojik varyasyonlar manuel olarak karşılaştırılmaktadır. YZ sistemleri ise bu süreci otomatik eşleştirme algoritmalarıyla hızlandırabilmektedir.

Derin öğrenme tabanlı görüntü eşleştirme algoritmaları, antemortem ve postmortem dental radyografileri karşılaştırarak birey eşleştirme doğruluğunu artırmaktadır (Miki et al., 2017). Özellikle büyük veri setlerinde manuel karşılaştırmanın zaman alıcı olması nedeniyle, YZ tabanlı otomatik eşleştirme sistemleri kitlesel afet senaryolarında önemli avantaj sunmaktadır.

6.3. Isırık İzi Analizi

Diş izi karşılaştırmaları, 1960'lar ve 1970'lerde İngiltere ile ABD'de ölen kişilerin diş kalıntılarının tespitinde kritik bir rol oynamaya başlamış ve adli tıp pratiğine önemli katkılar sağlamıştır. Geleneksel yöntemler, diş dizilimleri ve ark morfolojisinin görsel olarak karşılaştırılmasına dayanır; ancak bu yaklaşım yüksek derecede öznel yargılara açıktır. Önceki araştırmalar, ısırık izi karşılaştırmalarında hatalı eşleştirme oranlarının kaygı verici düzeyde yüksek olabileceğini ortaya koymuştur. Uygulayıcılar arasında belirgin görüş farklılıkları bulunduğu hem geçmişteki hataların tekrarlanmasını önlemek hem de gelecekteki yanlış uygulamaları minimize etmek için güvenilir ve standartlaştırılmış bilimsel yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. (Bowers, 2006, 2018)

Bilgisayarlı görü ve şekil tanıma teknikleri, ısırık izlerinin dijital ortama aktarılmasına ve nicel ölçütler temelinde analiz edilmesine olanak sağlamıştır. Son dönem araştırmalar, CNN tabanlı modellerin ısırık izi segmentasyonu ve sınıflandırmasında umut verici sonuçlar elde ettiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, ısırık izi analizinin bilimsel güvenilirliği hâlâ tartışma konusudur; yapay zekâ sistemleri bu alanda standardizasyonu artırma potansiyeline sahip olmakla birlikte, metodolojik titizlik gerekmektedir. Gelecekte, sınıflandırma doğruluğunu artırmak amacıyla derin öğrenme

tabanlı örnek segmentasyon modellerinin geliştirilmesi mümkün olabilir (Chandramouleeswaran & Puviarasan, 2022).

6.4. Fraktür Tespiti

Dental ve maksillofasiyal fraktürlerin radyolojik tespiti, özellikle travma vakalarında hayati öneme sahiptir. Cerrahın yorgunluğu veya yeterli eğitim eksikliği gibi faktörler, radyografik değerlendirmelerde yanlış yorumlama riskini artırmakta ve bu durum maloklüzyon, kaynamama, osteomiyelit, kanama ve hava yolu tıkanıklığı gibi ciddi komplikasyonlara yol açabilmektedir. Son dönemde yapılan çalışmalar, mandibular kırıkların tespitinde CNN tabanlı derin öğrenme yöntemlerinin uygulanabilirliğini ortaya koymuştur. Bu algoritmalar, panoramik ve KIBT görüntülerindeki fraktür hatlarını otomatik olarak tanımlayabilmekte ve yüksek duyarlılık ile özgüllük değerleri sunmaktadır. YZ tabanlı fraktür tespit sistemleri, özellikle küçük veya erken evre kırıkların belirlenmesinde klinik desteği artırabilir; bu, adli travma analizlerinde erken dönem kemik değişikliklerinin saptanması açısından kritik öneme sahiptir. (Vinayahalingam et al., 2022).

7. Avantajlar ve Katkıları

YZ destekli travma zamanlaması analizleri, adli diş hekimliğinde hem metodolojik hem de uygulamaya yönelik önemli katkılar sunmaktadır. Geleneksel yöntemlerin deneyime dayalı ve kısmen subjektif yapısı göz önünde bulundurulduğunda, veri temelli algoritmik yaklaşımlar karar süreçlerinde standardizasyon, hız ve doğruluk artışı sağlamaktadır. Bu bölümde YZ'nin sağladığı başlıca avantajlar bilimsel çerçevede ele alınmaktadır.

7.1. Objektiflik ve Standardizasyon

Adli değerlendirmelerde en kritik sorunlardan biri uzmanlar arası yorum farklılıklarıdır. Travma zamanlamasında hematoma rengi, kemik iyileşme evresi veya inflamatuvar yanıtın derecesi gibi parametrelerin yoruma açık olması, raporlar arasında değişkenliğe yol açabilmektedir. YZ sistemleri, belirli görüntü özelliklerini matematiksel parametrelere dönüştürerek değerlendirme sürecini nicelleştirir. Bu yaklaşım, gözlemciye bağlı varyasyonu azaltır ve tekrarlanabilirliği artırır (Samek, Wiegand, & Müller, 2017).

Ayrıca standartlaştırılmış veri işleme ve model eğitimi protokolleri, farklı merkezlerde benzer sonuçların elde edilmesini mümkün kılar. Özellikle

tıbbi görüntü analizinde algoritmik sistemlerin insan uzmanlarla karşılaştırıldığında tutarlı performans gösterdiği bildirilmiştir (McKinney et al., 2020). Bu durum adli diş hekimliğinde rapor güvenilirliğini güçlendirebilir.

7.2. Hız ve İş Yükünün Azaltılması

Adli vakalarda zaman kısıtı önemli bir faktördür. Özellikle çoklu travma vakalarında yüzlerce görüntünün incelenmesi gerekebilir. Derin öğrenme tabanlı sistemler, büyük hacimli görüntü verilerini saniyeler içinde analiz edebilmekte ve ön sınıflandırma yapabilmektedir (Topol, 2019). Bu özellik, uzmanların yalnızca şüpheli veya sınırda vakalara odaklanmasını sağlayarak iş yükünü azaltır.

Kitlesel afet senaryolarında hızlı veri işleme kapasitesi, travma zamanlamasının erken belirlenmesine katkıda bulunarak hem klinik müdahaleyi hem de adli süreçleri hızlandırabilir.

7.3. Çoklu Veri Entegrasyonu ve Analitik Derinlik

YZ'nin önemli avantajlarından biri multimodal veri entegrasyonudur. Klinik bulgular, radyolojik görüntüler ve histopatolojik veriler tek bir model içinde analiz edilebilir. Geleneksel yöntemlerde bu veriler genellikle ayrı ayrı yorumlanırken, derin öğrenme sistemleri farklı veri türlerinden elde edilen özellikleri birleştirerek daha kapsamlı çıkarımlar yapabilir (Rajkomar, Dean, & Kohane, 2019).

Bu bütüncül yaklaşım, travma zamanlamasında daha hassas tahmin aralıklarının oluşturulmasına olanak tanır. Örneğin kemik iyileşmesi ile inflamatuvar hücre yoğunluğu arasındaki korelasyon eş zamanlı olarak modellenebilir.

7.4. Erken Evre Değişikliklerin Tespiti

İnsan gözünün algılayamayacağı mikroskobik veya piksel düzeyindeki değişiklikler, derin öğrenme algoritmaları tarafından saptanabilmektedir. Özellikle erken inflamasyon bulguları veya minimal kemik dansite değişimleri gibi ince parametreler, travmanın erken döneminin belirlenmesinde kritik olabilir. Tıbbi görüntü analizinde YZ'nin erken evre patolojileri saptamadaki başarısı literatürde gösterilmiştir (Ardila et al., 2019).

Bu durum, travma zamanlamasında saatler veya günler düzeyinde daha hassas tahminler yapılabilmesine katkı sağlayabilir.

7.5. Karar Destek Sistemi Olarak Kullanım

YZ sistemleri, insan uzmanların yerini almak yerine karar destek mekanizması olarak konumlandırılmalıdır. Klinik karar destek sistemlerinin doğru kullanımı, hata oranlarını azaltmakta ve karar kalitesini artırmaktadır (Sutton et al., 2020). Adli diş hekimliğinde YZ çıktıları, uzman görüşüyle birlikte değerlendirilerek raporlanmalıdır.

Ayrıca açıklanabilir yapay zekâ (Explainable AI) yaklaşımları, algoritmanın hangi özelliklere dayanarak karar verdiğini gösterebildiği için mahkemelerde bilimsel şeffaflık açısından avantaj sağlar.

7.6 Eğitim ve Akademik Katkı

YZ tabanlı sistemler yalnızca uygulamada değil, eğitim süreçlerinde de katkı sağlayabilir. Travma evrelerinin algoritmik sınıflandırmaları, öğrencilere objektif referans noktaları sunarak öğrenme sürecini destekleyebilir. Simülasyon temelli eğitim modelleri, farklı travma senaryolarının zamansal evrimini görselleştirerek kavramsal anlayışı güçlendirebilir.

8. Sınırlılıklar ve Zorluklar

YZ destekli travma zamanlaması analizleri adli diş hekimliğinde yeni fırsatlar yaratırken, bu uygulamaların geniş ölçekte kabulü ve güvenilirliği pek çok teknik ve metodolojik sınırlılığı da beraberinde getirir. Bu sınırlılıklar yalnızca algoritmik performansla ilgili olmayıp, veri kalitesi, klinik heterojenite ve model genellenebilirliği gibi temel sorunları içerir.

8.1. Veri Seti Yetersizliği

YZ modellerinin başarısı büyük ve yüksek kaliteli veri setlerine dayanır. Ancak adli diş hekimliği travma vakalarında yeterli sayıda etiketlenmiş görüntü ve klinik veri seti bulunmamaktadır. Özellikle multimodal (radyografik + klinik + histolojik) veri kümeleri nadirdir ve birden fazla kurumdan standardize edilmiş şekilde derlenmesi zordur. Kısıtlı ve heterojen veri setleri, modellerin gerçek dünyada genellenebilirliğini olumsuz etkiler ve overfitting riskini artırır (Shen, Wu & Suk, 2017).

8.2. Etiketleme Güvenilirliği

Travma zamanlaması için kullanılan etiketi (örneğin “akut”, “subakut”, “kronik”) doğru şekilde belirlemek zordur. Klinik bulguların zaman aralıklarına dayanarak tanımlanması çoğu zaman subjektif değerlendirmeye

dayanır ve uzmanlar arasında tutarsızlıklar olabilir. Bu nedenle “gold standard” etiketlenmenin kendisi hata içerebilir; bir YZ modelini eğitirken bu hataların modele aktarılması söz konusu olabilir (Char et al., 2020).

8.3. Overfitting Riski

Küçük veya dengesiz veri setlerinde derin öğrenme modelleri, eğitim verisine çok iyi uyum sağlarken yeni vaka verilerinde performans düşüklüğü gösterebilir. Bu duruma overfitting (aşırı öğrenme) denir ve modelin gerçek klinik senaryolarda güvenilir tahminler yapmasını engeller. Özellikle radyografik görüntülerde anatomik varyasyonlar ve artefaktlar overfitting’i tetikleyebilir (Leibig et al., 2017).

8.4. Klinik Heterojenite

Travma vakaları, yaş, cinsiyet, genetik farklılıklar ve eşlik eden patolojiler gibi bireysel değişkenlerle büyük çeşitlilik gösterir. Bir YZ modelinin tüm bu heterojenlikleri kapsayacak şekilde eğitilmesi zordur. Farklı cihazlarla elde edilen görüntülerin kalite ve çözünürlük farklılıkları da model performansını etkileyebilir (Zeiler & Fergus, 2014).

8.5. Standardizasyon Eksikliği

Adli diş hekimliğinde kullanılan görüntü alma protokolleri ve klinik değerlendirme kriterleri arasında uluslararası standardizasyon eksikliği vardır. Bu durum YZ modellerinin çok merkezli çalışmalarda tutarlı performans göstermesini zorlaştırır. Ayrıca travma zamanlamasında referans zaman noktalarının tanımlanması konusunda ortak bir ölçüt yoktur.

9. Etik, Hukuki ve Regülasyonel Boyut

Adli diş hekimliğinde YZ destekli travma zamanlaması analizlerinin uygulanması, yalnızca teknik doğruluk açısından değil; aynı zamanda etik, hukuki ve regülasyonel çerçevede de değerlendirilmelidir. Bu bağlamda hem hastaların hakları hem de adli süreçlerdeki bilimsel geçerlilik önemlidir.

9.1. Veri Gizliliği ve Düzenleyici Gereklilikler

YZ modelleri geniş klinik ve görüntü verisi gerektirir. Bu nedenle hasta mahremiyeti ve kişisel verilerin korunması temel etik gereklilikler arasındadır. Özellikle AB’de GDPR gibi düzenlemeler, bireylerin verilerinin nasıl işlendiğini açık şekilde talep eder. Ayrıca YZ algoritmalarının adli kullanımına ilişkin uluslararası standartlar ve tıbbi cihaz regülasyonları (ör. FDA, EMA)

algoritmaların güvenli ve geçerli şekilde uygulanmasını garanti eder (Voigt & Von dem Bussche, 2017; Price & Cohen, 2019).

9.2. Adli Delil Niteliği ve Mahkeme Kabulü

YZ çıktılarının adli delil olarak kabul edilebilmesi için bilimsel geçerlilik, yeniden üretilebilirlik ve metodolojik açıklanabilirlik gereklidir. Daubert kriterleri veya benzeri yargısal standartlar, algoritmaların bilimsel dayanağını değerlendirmek için kullanılabilir. Explainable AI yaklaşımları, model kararlarının şeffaf ve anlaşılabilir olmasını sağlayarak mahkeme süreçlerinde güvenilirliği artırır (Rogers & Valsamakis, 2021; Doshi-Velez & Kim, 2017).

9.3. Uzman Sorumluluğu

YZ çıktıları karar verici değil, karar destek aracıdır. Adli diş hekimlerinin algoritma çıktısının sınırlarını anlaması, klinik bağlamla entegre etmesi ve potansiyel belirsizlikleri raporlarında açıkça belirtmesi gerekir. Bu hem etik hem de yasal sorumluluğun bir parçasıdır (Char et al., 2020).

10. Gelecek Perspektifleri ve Araştırma Alanları

Adli diş hekimliğinde YZ destekli travma zamanlaması hâlâ gelişim aşamasında bir alandır. Mevcut çalışmalar genellikle medikal görüntü analizi ve klinik karar destek sistemleri üzerine odaklanmış olup, adli diş hekimliğine özgü yüksek kaliteli, prospektif ve çok merkezli araştırmalara ihtiyaç vardır.

Güvenilir YZ sistemleri için geniş, temsil edici ve çok merkezli veri tabanları oluşturulması kritik öneme sahiptir. Farklı yaş grupları ve travma tiplerini kapsayan veri bankaları, modelin genellenebilirliğini artırır ve demografik önyargıları azaltır (Kelly et al., 2019). Federated learning gibi yaklaşımlar, verilerin fiziksel olarak paylaşılmadan modelin eğitilmesini sağlayarak veri güvenliğini destekler (Rieke et al., 2020).

Ayrıca YZ sistemlerinin kabul edilebilirliği için yalnızca doğruluk değil, açıklanabilirlik de gereklidir. Açıklanabilir yapay zekâ (XAI) yöntemleri, modelin karar mekanizmasını görselleştirerek hem uzman değerlendirmesine hem de mahkeme süreçlerine uyum sağlar (Holzinger et al., 2022).

Gelecekte saat veya gün bazlı daha hassas zaman tahminleri yapan regresyon modelleri, travmanın zamanlamasını olasılık dağılımı şeklinde

sunarak adli raporlamada kantitatif bir yaklaşım sağlayabilir. Ayrıca multimodal analizler, radyografik görüntülerin yanı sıra klinik notlar, biyobelirteçler ve histolojik verileri aynı modelde entegre ederek daha kapsamlı biyolojik modellemelere olanak tanır (Ngiam et al., 2011).

Son olarak, YZ uygulamalarının metodolojik rehberler ve standartlar ile desteklenmesi gereklidir. Klinik validasyon, veri güvenliği, performans raporlama ve hata bildirimi gibi konuların standardize edilmesi, disiplinin kurumsal gelişimi için önemlidir (Liu et al., 2019).

SONUÇ

Adli diş hekimliğinde travma zamanlaması hem klinik hem de hukuki süreçler açısından kritik öneme sahiptir. Geleneksel yöntemler, büyük ölçüde deneyime dayalı ve subjektif olduğundan, doğruluk ve tekrarlanabilirlik sınırlıdır. YZ destekli analiz sistemleri, görüntü işleme, çoklu veri entegrasyonu ve kantitatif modelleme yetenekleri sayesinde bu alanda yeni bir paradigma sunmaktadır. Bu teknolojiler, hematoma evrimi, kemik iyileşmesi ve mikroskobik doku değişiklikleri gibi parametreleri nicel olarak değerlendirerek, travmanın zamanlamasına dair objektif ve tekrarlanabilir bilgiler sağlamaktadır.

Bununla birlikte, YZ sistemlerinin etkinliği veri kalitesi, etiketleme güvenilirliği ve klinik heterojenite gibi faktörlere bağlıdır. Küçük veya dengesiz veri setleri, overfitting riskini artırabilirken, uluslararası standardizasyon eksikliği ve regülasyon belirsizlikleri, sistemlerin adli delil niteliğini sınırlandırabilir. Bu nedenle, YZ destekli yaklaşımlar insan uzmanlığının yerini almak yerine, klinik değerlendirme ve adli raporlama süreçlerini destekleyen hibrit modeller çerçevesinde kullanılmalıdır. Açıklanabilir yapay zeka yöntemleri, algoritmanın karar süreçlerini şeffaf hâle getirerek mahkemelerde bilimsel savunulabilirlik açısından avantaj sağlar.

Geleceğe dönük olarak, büyük ve çok merkezli veri tabanlarının oluşturulması, federated learning uygulamaları, multimodal veri entegrasyonu ve açıklanabilir algoritmaların geliştirilmesi, YZ destekli travma zamanlamasının güvenilirliğini ve hukuki kabul edilebilirliğini artıracaktır. Ayrıca, eğitim ve akademik çalışmalarda algoritmik sınıflandırmaların kullanılması, öğrencilerin ve genç uzmanların objektif referanslarla öğrenmesini sağlayarak disiplinin sürdürülebilir gelişimine katkıda bulunacaktır. Sonuç olarak, adli diş hekimliğinde YZ destekli travma zamanlaması analizi, bilimsel nesnelliği güçlendiren ve multidisipliner iş

birliği ile metodolojik titizliği birleştiren gelişmekte olan bir alan olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Al-Arami, S., Lüdtke, S., Dreßler, J., & Babian, C. (2025). Age prediction of hematoma using hyperspectral imaging (HSI). *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 21(4), 1699–1708.
- Andreasen, J. O., Andreasen, F. M., & Andersson, L. (2018). *Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth* (5th ed.). Wiley-Blackwell.
- Ardila, D., Kiraly, A. P., Bharadwaj, S., Choi, B., Reicher, J. J., Peng, L., ... & Shetty, S. (2019). End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest CT. *Nature Medicine*, 25(6), 954–961.
- Bowers, C. M. (2006). Problem-based analysis of bite mark misidentifications: The role of DNA. *Forensic Science International*, 159(Suppl. 1), S104–S109.
- Bowers, C. M. (2018). A review of a forensic pseudoscience: Identification of criminals from bite mark patterns. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 61, 34–39.
- Brink, F. W., Adler, B., Bambach, S., Lo, C. B., Rust, S., Bartlett, C. W., Bradshaw, L., Henry, K., & Messer, D. (2025). Using deep learning for estimation of time-since-injury in pediatric accidental fractures. *Pediatric Radiology*.
- Campanella, G., Hanna, M. G., Geneslaw, L., Miraflor, A., Silva, V. W., Busam, K. J., ... & Fuchs, T. J. (2019). Clinical-grade computational pathology using weakly supervised deep learning. *Nature Medicine*, 25(8), 1301–1309.
- Cao, J., An, G., Li, J., Wang, L., Du, Q., Yun, K., & Sun, J. (2023). Combined metabolomics and tandem machine learning models for wound age estimation: A novel analytical strategy. *Forensic Sciences Research*, 8(1), 50–61.
- Chandramouleeswaran, M., & Puviarasan, N. (2022). Intelligent bite marking analysis and classification using deep convolutional neural network based Xception model. *International Journal of Health Sciences*, 6(S3), 12440–12456.
- Char, D. S., Shah, N. H., & Magnus, D. (2018). Implementing machine learning in health care—Addressing ethical challenges. *New England Journal of Medicine*, 378(11), 981–983.
- DiAngelis, A. J., Andreasen, J. O., Ebeleseder, K. A., Kenny, D. J., Trope, M., Sigurdsson, A., Andersson, L., ... & Tsukiboshi, M. (2012). International Association of Dental Traumatology guidelines for the

- management of traumatic dental injuries. *Dental Traumatology*, 28(1), 2–12.
- Doshi-Velez, F., & Kim, B. (2017). Towards a rigorous science of interpretable machine learning. *arXiv*.
- Eming, S. A., Martin, P., & Tomic-Canic, M. (2014). Wound repair and regeneration: Mechanisms, signaling, and translation. *Science Translational Medicine*, 6(265), 265sr6.
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115–118.
- Fontana, M., & Beck, J. (2017). Forensic aspects of child abuse and neglect. In R. S. Feiglin (Ed.), *Fundamentals of Forensic Odontology* (pp. 123–145). Springer.
- Giannoudis, P. V., Hildebrand, F., & Pape, H. C. (2018). Damage control orthopaedics in severe trauma. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 100(17), 1481–1489.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- Guo, S., & DiPietro, L. A. (2010). Factors affecting wound healing. *Journal of Dental Research*, 89(3), 219–229.
- Holzinger, A., Carrington, A., & Müller, H. (2022). Measuring the quality of explanations: The system causability scale (SCS). *KI – Künstliche Intelligenz*, 34, 193–198.
- Huang, S. C., Pareek, A., Seyyedi, S., Banerjee, I., & Lungren, M. P. (2020). Fusion of medical imaging and electronic health records using deep learning: A systematic review. *NPJ Digital Medicine*, 3, Article 136.
- Kelly, C. J., Karthikesalingam, A., Suleyman, M., Corrado, G., & King, D. (2019). Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence. *BMC Medicine*, 17, Article 195.
- Kim, J. E., Nam, N. E., Shim, J. S., Jung, Y. H., Cho, B. H., & Hwang, J. J. (2020). Deep learning for automatic detection of mandibular fracture on panoramic radiographs. *Scientific Reports*, 10, Article 20358.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.
- Lee, J. H., Kim, D. H., Jeong, S. N., & Choi, S. H. (2018). Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of Dentistry*, 77, 106–111.
- Leibig, C., Allken, V., Ayhan, M. S., & Wahl, F. M. (2017). Leveraging uncertainty information from deep neural networks for disease detection. *Scientific Reports*, 7, Article 17816.
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., ... & Sánchez, C. I. (2017). A survey on deep learning in medical

- image analysis. *Medical Image Analysis*, 42, 60–88.
<https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.88>
- Liu, X., Rivera, S. C., Moher, D., Calvert, M. J., & Denniston, A. K. (2019). Reporting guidelines for clinical trial reports for interventions involving artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25, 1827–1831.
- Mallon, W. J., & Kakar, S. (2019). Facial trauma in athletes: Emergency evaluation and management. *Clinics in Sports Medicine*, 38(1), 119–138.
- McKinney, S. M., Sieniek, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N., Ashrafiyan, H., ... & Shetty, S. (2020). International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*, 577(7788), 89–94.
- Miki, Y., Muramatsu, C., Hayashi, T., Zhou, X., Hara, T., Katsumata, A., & Fujita, H. (2017). Classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network. *Computers in Biology and Medicine*, 80, 24–29.
- Mohite, S., Narain, B., & Jadhav, B. T. (2025). A systematic review of CNN-based model approaches for human identification using bitemark evidence. *International Journal of Scientific Development and Research*, 10(7), Article b835.
- Morán-Torres, R., Feld, K., Hesser, J., & Taalab, Y. M. (2025). Artificial intelligence and computer vision in forensic sciences. *Rechtsmedizin*.
- Ngiam, J., Khosla, A., Kim, M., Nam, J., Lee, H., & Ng, A. Y. (2011). Multimodal deep learning. In *Proceedings of the ICML* (pp. 689–696).
- Pan, S. J., & Yang, Q. (2010). A survey on transfer learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 22(10), 1345–1359.
- Patel, S., Brown, J., Semper, M., Abella, F., Mannocci, F., & Dummer, P. M. H. (2019). European Society of Endodontology position statement: Use of cone beam computed tomography in endodontics. *International Endodontic Journal*, 52(12), 1675–1678.
- Price, W. N., & Cohen, I. G. (2019). Privacy in the age of medical big data. *Nature Medicine*, 25(1), 37–43.
- Rajkomar, A., Dean, J., & Kohane, I. (2019). Machine learning in medicine. *New England Journal of Medicine*, 380(14), 1347–1358.
- Rajpurkar, P., Irvin, J., Zhu, K., Yang, B., Mehta, H., Duan, T., ... & Ng, A. Y. (2017). CheXNet: Radiologist-level pneumonia detection on chest X-rays with deep learning. *arXiv*.
- Rieke, N., Hancox, J., Li, W., Milletari, F., Roth, H. R., Albarqouni, S., ... & Cardoso, M. J. (2020). The future of digital health with federated learning. *NPJ Digital Medicine*, 3, Article 119.

- Rogers, M., & Valsamakis, S. (2021). Forensic use of artificial intelligence: Standards and admissibility of AI evidence. *Journal of Forensic Sciences*, 66(4), 1332–1341.
- Saito, T., & Rehmsmeier, M. (2015). The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. *PLoS ONE*, 10(3), e0118432.
- Schwendicke, F., Samek, W., & Krois, J. (2020). Artificial intelligence in dentistry: Chances and challenges. *Journal of Dental Research*, 99(7), 769–774.
- Sezer, B. (2025). The role of forensic odontology in modern forensic science: Applications, responsibilities and emerging trends. *Adli Tıp Dergisi (Turkish Journal of Forensic Medicine)*, 39(2), 242–255.
- Shen, D., Wu, G., & Suk, H. I. (2017). Deep learning in medical image analysis. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 19, 221–248.
- Sinha, S., Srivastava, T., Rehan, A. D., & Pandey, S. (2025). AI-driven innovations in forensic odontology: Challenges and opportunities. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 17(Suppl. 3), S2038–S2040.
- Sutton, R. T., Pincock, D., Baumgart, D. C., Sadowski, D. C., Fedorak, R. N., & Kroeker, K. I. (2020). An overview of clinical decision support systems: Benefits, risks, and strategies for success. *NPJ Digital Medicine*, 3, Article 17.
- Ting, D. S. W., Pasquale, L. R., Peng, L., Campbell, J. P., Lee, A. Y., & Tham, Y. C. (2021). Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology. *British Journal of Ophthalmology*, 105, 816–826.
- Topol, E. (2019). *Deep Medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again*. Basic Books.
- Vinayahalingam, S., van Nistelrooij, N., van Ginneken, B., Bressen, K., Tröltzsch, D., Heiland, M., Flügge, T., & Gaudin, R. (2022). Detection of mandibular fractures on panoramic radiographs using deep learning. *Scientific Reports*, 12, Article 19596.
- Voigt, P., & Von dem Bussche, A. (2017). *The EU General Data Protection Regulation (GDPR): A practical guide* (1st ed.). Springer International Publishing.
- Zeiler, M. D., & Fergus, R. (2014). Visualizing and understanding convolutional networks. In *European Conference on Computer Vision (ECCV)* (pp. 818–833).
- Zhang, L., Lu, L., Wang, X., Zhu, R. M., Bagheri, M., Summers, R. M., & Yao, J. (2020). Spatio-temporal convolutional LSTMs for tumor growth prediction by learning 4D longitudinal patient data. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 39(4), 1114–1126.

DENTAL KAYNAKLI YAKINMALAR İLE ACİL SERVİSE BAŞVURAN HASTALARIN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ YÖNETİMİ

Ayşe BOZKURT

- ❖ Kurum Bilgisi: Dt. İl Sağlık Müdürlüğü Kaalite Departmanı
Osmaniye/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0006-3986-4414
- ❖ Mail: ayseakin05@gmail.com

1. GİRİŞ

Diş acil servisleri, acil müdahale gerektiren dental problemlere odaklanan klinik hizmet birimleridir. Bu servisler, şiddetli diş ağrısı, odontojenik enfeksiyonlar ve dental travmalar nedeniyle başvuran hastaların hızlı ve etkili bir şekilde yönetilmesini sağlar (Emara et al., 2020). Bu tür başvurular hem hastaların klinik ihtiyaçlarını karşılamak hem de acil servislerin iş yükünü etkin biçimde yönetmek açısından kritik öneme sahiptir (Schwendicke et al., 2020).

Diş acil servislerinde dental patolojilerin tanısı, genellikle sistemik bulguların sınırlı olması nedeniyle çeşitli zorluklar içermektedir. Hekimler, çoğu zaman kısa süreli hasta değerlendirmeleri, klinik muayene ve sınırlı radyolojik veriler doğrultusunda tanı ve tedavi kararlarını vermek durumundadır. Bu süreçte yanlış veya gecikmiş tanı, komplikasyon riskini artırarak tedavi sürecinin uzamasına neden olabilmektedir (Lee et al., 2018). Bu nedenle özellikle odontojenik enfeksiyonlar ve travmatik dental yaralanmalar, diş acil servislerinde hızlı ve etkin yönetim stratejilerinin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.

Son yıllarda yapay zekâ uygulamaları, diş hekimliği pratiğinde ve özellikle acil dental hizmetlerde tanı ve karar destek süreçlerinde önemli bir gelişim göstermiştir (Topol, 2019). Yapay zekâ algoritmaları, dental görüntüleri analiz ederek çürük, apse ve travmatik lezyonları yüksek doğruluk oranlarıyla tespit edebilmektedir (Lee et al., 2018). Özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN) ve diğer derin öğrenme modelleri, klinik karar destek sistemlerine entegre edilerek tanı ve tedavi süreçlerinin optimize edilmesine katkı sağlamaktadır (Schwendicke et al., 2020). Bu teknolojiler, hekimlerin karar alma süreçlerini destekleyerek tanı süresini kısaltmakta ve hasta güvenliğini artırmaktadır (Emara et al., 2020).

Bununla birlikte, yapay zekâ uygulamalarının bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Veri güvenliği, algoritmik yanlılık ve etik-mediko-legal sorumluluklar, klinik uygulamalarda dikkatle ele alınması gereken önemli konular arasında yer almaktadır (Topol, 2019; Schwendicke et al., 2020). Bu faktörler göz önünde bulundurularak geliştirilen ve uygulanan yapay zekâ sistemleri, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırma potansiyeline sahiptir.

Sonuç olarak, yapay zekâ destekli yaklaşımlar, diş acil servislerinde tanı ve tedavi süreçlerinin daha hızlı, doğru ve güvenilir bir şekilde yürütülmesine katkı sağlamaktadır. Bu bölümde, diş acil servislerine başvuran hastaların tanı ve yönetim süreçleri yapay zekâ perspektifinden ele alınacak; dental patolojilerin yönetimindeki zorluklar, yapay zekâ uygulamalarının katkıları ve güncel literatürdeki gelişmeler kapsamlı şekilde değerlendirilecektir.

2. Epidemiyoloji

Dental aciller, acil servislerde dental kaynaklı acil başvuruların tanı, yönetim ve takip süreçlerini kapsayan özel klinik bir alandır. Bu başvurular, acil servislerde önemli bir hasta grubunu oluşturmaktadır ve etkili yönetimleri hem hasta sağlığı hem de sağlık hizmetlerinin etkin kullanımı açısından kritik öneme sahiptir. Literatür verilerine göre dental acil başvurular, toplam acil servis başvurularının %1–5’ini oluşturmaktadır olup bazı bölgelerde bu oran %10’a kadar çıkabilmektedir (Lima et al., 2023). Bu başvuruların başlıca nedenleri arasında şiddetli diş ağrısı, odontojenik enfeksiyonlar ve travmatik dental yaralanmalar yer almaktadır (Frichembruder et al., 2020). Özellikle diş apseleri ve pulpa kaynaklı komplikasyonlar, dental acillerin yönetiminde öncelikli dikkat gerektiren durumlar olarak öne çıkmaktadır (Sun et al., 2015).

Yaş ve cinsiyet dağılımı incelendiğinde, dental acillere başvuran hastaların çoğunluğunu genç erişkinler ve orta yaş grubu oluşturmaktadır. Travmatik dental yaralanmaların daha sık görüldüğü çocuk ve genç erişkin gruplarında erkeklerin başvuru oranı kadınlara kıyasla daha yüksektir (Bae et al., 2011). Bununla birlikte, yaşlı popülasyon da özellikle periodontal komplikasyonlar ve kronik hastalıklarla ilişkili dental acil başvurularında önemli bir paya sahiptir (Frichembruder et al., 2020).

Dental acillerin başvuru risk faktörleri arasında yetersiz ağız hijyeni, kronik sistemik hastalıklar, immün yetmezlik ve düşük sosyoekonomik düzey öne çıkmaktadır. Özellikle sigortasız veya düşük gelirli bireyler, acil diş hizmetlerini daha yoğun kullanmaktadır (Akinlotan & Ferdinand, 2020). Ayrıca, düzenli dental kontrollerin yapılmaması ve önleyici bakım hizmetlerinin sınırlı olması, dental acillere başvuruları artıran önemli etkenlerdendir (Frichembruder et al., 2020).

Dental aciller, acil servislerin operasyonel yükünü artırmakta ve hasta akışını doğrudan etkilemektedir. Yoğun saatlerde artan başvurular, diğer acil vakalarda gecikmelere ve klinik süreçlerin yavaşlamasına neden olmaktadır. Uygun şekilde yönetilmeyen dental acil başvuruları ise tekrar ziyaret oranlarını artırarak hem sağlık hizmeti maliyetlerini yükseltmekte hem de hasta memnuniyetini olumsuz etkilemektedir (Sun et al., 2015).

Güncel teknolojiler ve yapay zekâ uygulamaları, dental acillerin epidemiyolojik verilerini analiz ederek başvuru sıklığı ve risk faktörlerini belirlemede etkili araçlar sunmaktadır. Makine öğrenimi algoritmaları, hastaların başvuru olasılıklarını tahmin edebilir ve acil servislerde önceliklendirme, kaynak tahsisi ve yoğunluk yönetimi süreçlerini optimize edebilir (Akinlotan & Ferdinand, 2020). Özellikle büyük veri setleri ve elektronik sağlık kayıtlarının analizi, hasta akışının düzenlenmesi ve müdahale önceliklerinin belirlenmesinde klinik karar desteği sağlamaktadır.

Buna ek olarak, dental acillerin epidemiyolojik verileri, halk sağlığı planlaması ve sağlık politikalarının geliştirilmesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Düzenli epidemiyolojik analizler, risk gruplarını ve yüksek başvuru bölgelerini belirleyerek önleyici sağlık hizmetlerinin ve eğitim programlarının tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Örneğin, çocuk ve genç erişkinlerde travmatik dental yaralanmaların sık görüldüğü bölgelerde uygulanacak okul temelli ağız sağlığı eğitimleri, acil başvuru oranlarını azaltabilecek potansiyele sahiptir (Lima et al., 2023).

Sonuç olarak, dental aciller; yaş, cinsiyet, sosyoekonomik durum ve davranışsal faktörlere bağlı olarak belirli epidemiyolojik desenler göstermektedir. Yapay zekâ destekli sistemler, bu verilerin analizini kolaylaştırarak klinik süreçlerin optimizasyonuna ve acil servis kaynaklarının daha etkin kullanımına katkı sağlayabilir. Bu sayede hem hasta bakım kalitesi artırılabilir hem de sağlık sisteminin sürdürülebilirliği desteklenebilir.

3. Dental Patolojilerin Klinik Sınıflandırılması

Dental aciller, acil servislerde sık görülen ve klinik olarak çeşitlilik gösteren durumları kapsar. Bu patolojilerin doğru sınıflandırılması, hem acil müdahale süreçlerinin etkinliğini artırmak hem de komplikasyon

risklerini azaltmak açısından kritik öneme sahiptir (Hammel & Fischel, 2019). Klinik olarak dental aciller genellikle dört ana kategori altında toplanabilir: odontojenik enfeksiyonlar, dental travmalar, periodontal ve endodontik aciller ile ağrı ve komplikasyonlar. Bu sınıflandırma, acil servis hekimlerinin hızlı tanı koymalarına ve uygun tedavi protokollerini uygulamalarına yardımcı olur (Alelweet et al., 2025).

3.1 Odontojenik Enfeksiyonlar

Odontojenik enfeksiyonlar, diş ve çevresindeki dokulardan kaynaklanan enfeksiyonları ifade eder. Bu enfeksiyonlar genellikle diş pulpası veya periodontal dokulardan başlar ve hızla yayılabilir (DeAngelis et al., 2014). Klinik olarak diş apsesi, selülit ve perikoronitis gibi durumları içerir. Enfeksiyonun şiddeti ve yayılım alanı tedavi yaklaşımını belirler; bazı vakalarda lokal drenaj ve antibiyotik tedavisi yeterliyken, ilerlemiş enfeksiyonlarda hastaneye yatış ve intravenöz tedavi gerekebilir. Özellikle bağışıklık sistemi zayıf olan hastalarda ciddi komplikasyonlar gelişebilir. Bu nedenle acil servislerde hızlı tanı ve erken müdahale, mortalite ve morbiditeyi azaltmak açısından kritik öneme sahiptir (Neal & Schlieve, 2022).

3.2 Dental Travmalar

Dental travmalar, diş veya çene bölgesine gelen doğrudan fiziksel darbeler sonucu oluşan yaralanmalardır. Klinik tablolar arasında diş kırıkları, luxasyonlar ve avülsiyonlar yer alır (Hammel & Fischel, 2019). Travmaların tipi ve şiddeti tedavi protokolünü doğrudan etkiler. Örneğin, avülsiyon vakalarında dişin reimplantasyonu mümkünse hızlı bir şekilde yapılmalıdır. Travmanın zamanlaması ve hastanın yaşı da prognoz açısından önemlidir. Çocuk ve genç erişkinlerde travmatik dental yaralanmalar daha sık görülür ve acil servislerde hızlı müdahale gerektirir. Bu travmaların doğru sınıflandırılması, hem dişin canlılığının korunmasını sağlar hem de uzun vadeli estetik ve fonksiyonel komplikasyonları azaltır.

3.3 Periodontal ve Endodontik Aciller

Periodontal aciller genellikle diş eti ve çevre bağ dokusunda ani başlayan inflamatuvar süreçleri kapsar. Dişeti apseleri, periodontitis ile ilişkili akut iltihaplar ve peri-apikal lezyonlar bu kategoriye girer (DeAngelis et al., 2014). Endodontik aciller ise diş pulpasında başlayan ve genellikle şiddetli ağrı ile kendini gösteren patolojilerdir. Tedavi

genellikle kanal tedavisi veya acil drenaj ile sağlanır. Periodontal ve endodontik acillerin ayırt edilmesi, yanlış tedavi riskini azaltır ve hastanın tekrar acil servise başvurma olasılığını düşürür. Ayrıca bu acillerin epidemiyolojik verileri, halk sağlığı planlamasında önleyici stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlar (Alelweet et al., 2025).

3.4 Ağrı ve Komplikasyonlar

Dental acillerin büyük bir kısmı şiddetli ağrı ile kendini gösterir. Ağrı, sadece hastanın yaşam kalitesini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda acil servisin hasta akışını ve kaynak kullanımını da etkiler (Hammel & Fischel, 2019). Akut ağrı çoğunlukla odontojenik, periodontal veya endodontik patolojilerden kaynaklanır. Komplikasyonlar arasında sepsis, yüz ve boyun bölgesinde yaygın enfeksiyonlar ve nadiren sistemik etkiler görülebilir. Özellikle ciddi odontojenik enfeksiyonların ilerlemesi, yaşamı tehdit eden durumlara yol açabilir (Neal & Schlieve, 2022). Bu nedenle ağrı ve komplikasyonların hızlı değerlendirilmesi, hem klinik karar süreçlerini hızlandırır hem de ciddi sonuçları önler. Ayrıca yapay zekâ ve elektronik sağlık kayıtları kullanılarak ağrı profilleri ve riskli hasta grupları analiz edilebilir, böylece acil servislerde önceliklendirme ve kaynak tahsisi optimize edilebilir.

4. Yapay Zekâ Temelleri

Yapay zekâ, insan zekâsının simülasyonu yoluyla bilgisayar sistemlerinin öğrenme, problem çözme, karar verme ve veri analizi gibi bilişsel görevleri yerine getirebilmesini sağlayan bir bilim dalıdır. Gelişen algoritmalar ve büyük veri analizi ile yapay zekâ, günümüzde sağlık, mühendislik, finans ve eğitim gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Janiesch et al., 2021; Yenikaya & Oktaysoy, 2023). Yapay zekâ sistemleri, verilerden öğrenme yeteneği sayesinde öngörüler ve karar süreçlerini otomatikleştirir, karmaşık problemlere çözüm üretir ve insan hatasını minimize eder (Abdel-Jaber et al., 2022).

4.1 Yapay Zekânın Tanımı

Yapay zekâ, insan zekâsının bilgisayar sistemlerinde taklit edilmesini ifade eder. Bu kapsamda sistemler, verileri analiz ederek öğrenir, örüntüleri tanır ve tahminlerde bulunabilir (Janiesch et al., 2021). Yapay zekânın temel amacı, karmaşık görevleri otomatikleştirmek ve insan karar verme süreçlerini desteklemektir. Farklı yapay zekâ yaklaşımları, sembolik mantık tabanlı yöntemlerden istatistiksel

modellemeye kadar uzanır. Sağlık sektöründe yapay zekâ, tanı ve tedavi süreçlerinin hızlanmasına, hasta verilerinin analizine ve klinik karar destek sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlar (Yenikaya & Oktaysoy, 2023).

4.2 Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme

Makine öğrenmesi, verilerden örüntüleri ve ilişkileri öğrenerek gelecekteki tahminler ve kararlar üretebilen algoritmaların geliştirilmesiyle ilgilenir. Denetimli, denetimsiz ve pekiştirmeli öğrenme olmak üzere farklı türleri bulunur (Janiesch et al., 2021). Derin öğrenme ise makine öğrenmesinin bir alt dalı olarak çok katmanlı yapay sinir ağlarını kullanır ve karmaşık veri setlerinde yüksek doğruluk sağlar (Abdel-Jaber et al., 2022). Özellikle görüntü, ses ve doğal dil işleme gibi alanlarda derin öğrenme, geleneksel yöntemlere kıyasla üstün performans göstermektedir. Bu yöntemler, büyük veri setleriyle çalışırken otomatik özellik çıkarımı yapabilir ve modelin öğrenme kapasitesini artırır (Kaya et al., 2019).

4.3 Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN)

Konvolüsyonel sinir ağları (CNN), özellikle görsel veri analizi için geliştirilmiş derin öğrenme modelleridir. CNN'ler, giriş verisindeki özellikleri katman katman çıkararak sınıflandırma ve tanıma işlemleri gerçekleştirir (Abdel-Jaber et al., 2022). Bu ağlar, filtreler ve havuzlama katmanları kullanarak görüntülerdeki desenleri öğrenir ve tanır. Sağlık alanında, tıbbi görüntülerin analizinde CNN'ler; radyoloji, dermatoloji ve dental görüntüleme gibi uygulamalarda yüksek doğruluk oranları sunmaktadır (Atlan & Pençe, 2021). Ayrıca, CNN'ler veri boyutu ve karmaşıklığı arttıkça performansını optimize ederek klinik karar destek sistemlerine entegre edilebilir.

4.4 Yapay Zekânın Uygulama Alanları

Yapay zekâ, veri analizi ve öngörü yetenekleri sayesinde sağlık, finans, otomotiv ve eğitim başta olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır (Janiesch et al., 2021). Özellikle tıp alanında yapay zekâ, tanı, tedavi planlaması, ilaç keşfi ve hasta takip sistemlerinde kritik rol oynar. Makine öğrenmesi algoritmaları hastalık risklerini önceden tahmin edebilirken, derin öğrenme modelleri medikal görüntülerde anomalileri tespit edebilir (Kaya et al., 2019; Atlan & Pençe, 2021). Ayrıca yapay zekâ destekli sistemler, klinik süreçlerin hızlanmasını, hasta

güvenliğinin artırılmasını ve maliyetlerin düşürülmesini sağlar (Yenikaya & Oktaysoy, 2023).

5. Dental Acillerde Yapay Zeka Kullanımı

Dental aciller, hızlı müdahale gerektiren ve hasta sayısının yoğun olduğu klinik ortamlardır. Bu alanlarda yapay zekâ kullanımı, hasta bakım kalitesini artırmak, klinik süreçleri optimize etmek ve acil servislerin operasyonel yükünü azaltmak için giderek önem kazanmaktadır. Yapay zekâ, veriye dayalı analizler ve öngörüler ile klinik karar alma süreçlerini destekler, risk gruplarını belirler ve hasta triage sistemlerini geliştirir (Schwendicke et al., 2023; Sikri et al., 2024).

5.1 Klinik Karar Destek Sistemleri

Klinik karar destek sistemleri (KDSS), yapay zekânın dental acillerde en temel uygulamalarından biridir. Bu sistemler, hastaların semptom, laboratuvar ve görüntüleme verilerini analiz ederek olası tanıları ve önerilen tedavi seçeneklerini sunar (Gokdeniz et al., 2023; Jabeen et al., 2024). Örneğin, odontojenik enfeksiyon veya pulpa kaynaklı ağrı vakalarında KDSS, uygun antibiyotik tedavisi, drenaj veya kanal tedavisi gibi seçenekleri klinik rehberler doğrultusunda önerebilir. Bu sayede acil servis hekimleri hızlı ve doğru kararlar alabilir, hatalı veya gecikmiş müdahalelerin önüne geçilebilir. Ayrıca KDSS, elektronik sağlık kayıtları ile entegre çalışarak hastaların geçmiş verilerini dikkate alabilir ve kişiselleştirilmiş öneriler sunabilir (Federation, 2025).

5.2 Triage ve Risk Sınıflama

Dental acillerde hasta yoğunluğu ve aciliyetin doğru yönetilmesi için triage sistemleri hayati önem taşır. Yapay zekâ tabanlı triage algoritmaları, hastaların semptom şiddeti, vital bulgular ve medikal geçmişi gibi parametreleri analiz ederek önceliklendirme yapabilir (Sikri et al., 2024). Bu sistemler, yüksek riskli hastaları hızlı bir şekilde belirler ve müdahale süresini kısaltır. Özellikle yüz ve boyun bölgesine yayılabilen odontojenik enfeksiyonlar veya ciddi travma vakalarında AI destekli risk sınıflaması, komplikasyonların önlenmesinde kritik rol oynar (Schwendicke et al., 2023). Böylelikle hem acil servis akışı optimize edilir hem de kritik vakalara zamanında müdahale edilmesi mümkün olur.

5.3 Örnek Uygulamalar

Dental acillerde yapay zekânın uygulamaları giderek çeşitlenmektedir. Görüntü tanı alanında konvolüsyonel sinir ağları (CNN) kullanılarak panoramik ve intraoral radyograflerde çürük, kırık veya apse tespit edilebilmektedir (Gokdeniz et al., 2023; Sikri et al., 2024). Ayrıca makine öğrenmesi algoritmaları, tekrar acil başvuru riskini öngörerek hasta yönetimini destekler (Jabeen et al., 2024). Klinik uygulamalarda, büyük hastane acil servislerinde AI tabanlı karar destek sistemlerinin entegrasyonu ile triage sürelerinin kısaldığı ve klinik verimliliğin arttığı gösterilmiştir (Federation, 2025). Bazı dijital platformlar, yapay zekâ ile ön tanı ve tedavi önerilerini acil hekimine sunarak müdahale süresini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Bu tür sistemler, özellikle yoğun saatlerde acil serviste hasta akışının kesintisiz sürdürülmesini sağlar ve sağlık hizmetlerinin etkin kullanımını artırır.

6. Dental Görüntüleme ve Veri Kaynakları

Dental acillerde doğru tanı ve hızlı müdahale, görüntüleme ve veri kaynaklarının etkin kullanımına bağlıdır. Görüntüleme yöntemleri, diş ve çevre dokuların yapısal ve patolojik durumunu ortaya koyarak klinik karar sürecini destekler. Ayrıca elektronik veri kaynakları, hasta geçmişi ve önceki tedaviler hakkında bilgi sağlayarak yapay zekâ uygulamalarının temelini oluşturur (Ballini et al., 2025; Tay et al., 2026).

6.1 Panoramik ve Periapikal Radyografler

Panoramik radyografi, tüm ağız ve çene yapısını tek bir görüntüde sunarak genel değerlendirme sağlar. Bu yöntemde dişlerin pozisyonu, çene kemiklerinin durumu ve yaygın patolojiler gözlemlenebilir. Periapikal radyografler ise özellikle tek diş veya küçük bölgeler için detaylı bilgi sunar ve kök, pulpa ve periapikal alanın incelenmesini sağlar.

Her iki yöntem, odontojenik enfeksiyonların, diş kırıklarının ve travmatik yaralanmaların tespitinde klinik olarak temel bir rol oynar. Radyografik bulgular, acil müdahale önceliklerini belirlemek ve tedavi planlarını oluşturmak için yapay zekâ tabanlı algoritmalara veri sağlar. Özellikle yüksek çözünürlüklü panoramik ve periapikal görüntüler, makine öğrenimi modellerinin eğitiminde sıkça kullanılmaktadır (Ballini et al., 2025).

6.2 CBCT ve BT Görüntüleri

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT) ve klasik bilgisayarlı tomografi (BT), üç boyutlu (3D) görüntüleme imkânı sunar ve özellikle karmaşık travmalar, apse yayılımı veya cerrahi planlama gerektiren durumlarda tercih edilir. CBCT, düşük radyasyon dozu ile yüksek detay sunarken, BT daha geniş anatomik alanlarda kapsamlı bilgi sağlar (Patel et al., 2015; Durack & Patel, 2012).

Bu yöntemler, diş ve çene kemiği ilişkilerini, lezyon boyutlarını ve çevre dokuların durumunu değerlendirmek için kullanılır. Elde edilen 3D veriler, yapay zekâ algoritmalarına entegre edilerek otomatik segmentasyon, lezyon tespiti ve tedavi önerileri için kullanılabilir. Bu sayede acil servislerde hızlı ve güvenilir tanı imkânı sağlanır (Sitaras et al., 2025).

6.3 Klinik Veri Setleri ve Elektronik Kayıtlar

Klinik veri setleri, dental acil başvurularında hastaların semptomları, vital bulguları, laboratuvar sonuçları ve geçmiş tedavi bilgilerini içerir. Elektronik sağlık kayıtları (EHR), bu verilerin düzenli olarak saklanması ve erişilebilir olmasını sağlar.

Yapay zekâ modelleri, büyük veri setleri üzerinde eğitilerek hasta risk profilleri oluşturabilir, tekrar acil başvuru olasılıklarını tahmin edebilir ve klinik karar destek sistemlerini güçlendirebilir. Örneğin, geçmişte odontojenik enfeksiyon nedeniyle başvuran bir hastanın kayıtları, algoritma tarafından analiz edilerek olası komplikasyon riskini önceden belirleyebilir. Ayrıca elektronik kayıtlar, epidemiyolojik araştırmalar ve halk sağlığı planlaması için de değerli veri kaynağıdır (Tay et al., 2026).

6.4 Yapay Zekâ Entegrasyonu

Dental görüntüleme ve veri kaynakları, yapay zekâ uygulamaları için kritik altyapıyı oluşturur. Panoramik, periapikal, CBCT ve BT görüntüleri, konvolüsyonel sinir ağları (CNN) gibi derin öğrenme algoritmaları ile analiz edilebilir. Bu algoritmalar, çürük, kırık, apse ve diğer patolojileri otomatik olarak tespit edebilir (Sitaras et al., 2025).

Elektronik sağlık kayıtları ile entegre edilen modeller, risk sınıflama ve hasta triage sistemlerinde kullanılabilir. Böylece acil servis

hekimleri, veri odaklı ve hızlı kararlar alabilir, hasta bakım kalitesi artırılır ve kaynak kullanımı optimize edilir (Ballini et al., 2025).

7. Dental Patolojilerin Tanısında Yapay Zekâ

Dental acillerde hızlı ve doğru tanı, hasta bakım kalitesini artırmak ve komplikasyon risklerini azaltmak açısından kritik öneme sahiptir. Geleneksel tanı yöntemleri; radyografik inceleme, klinik muayene ve laboratuvar testlerine dayansa da bu süreçler zaman alıcı olabilir ve subjektif değerlendirmelere açık olabilir. Yapay zekâ (YZ) ve makine öğrenmesi (ML) algoritmaları, dental patolojilerin tanısında önemli avantajlar sunar; görüntü analizi, risk sınıflaması ve klinik karar destek sistemleri ile tanı süreçlerini optimize eder (Ding et al., 2023). Bu bölümde, YZ uygulamalarının çürük, apse, periodontal hastalıklar ve travmatik dental yaralanmaların tanısındaki rolü incelenmektedir.

7.1 Çürük ve Lezyon Tespiti

Diş çürüklerinin erken tespiti, hem ilerleyici doku kaybını önlemek hem de minimal invaziv tedavi yöntemlerini uygulamak için önemlidir. Geleneksel radyografik değerlendirme yöntemleri, çürüklerin erken evrelerini her zaman net olarak ortaya koyamayabilir. Yapay zekâ, özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN) kullanarak panoramik, periapikal ve bitewing radyografilerde çürük tespitini otomatikleştirebilir (Lee et al., 2018; Garcia-Canas et al., 2022).

CNN tabanlı algoritmalar, diş yüzeyindeki mikro lezyonları, mine ve dentin kayıplarını yüksek doğrulukla saptayabilir. Bu yöntemler, özellikle acil servislerde hızlı tarama ve önceliklendirme için kullanılabilir. Örneğin, bir hastanın radyografisi YZ modeli tarafından analiz edilerek çürüğün konumu ve şiddeti raporlanabilir; acil müdahale gerektiren durumlar önceliklendirilebilir. Böylece hem klinik karar süreçleri hızlanır hem de insan kaynaklı hata oranı azalır (Liu et al., 2024).

7.2 Apse ve Enfeksiyon Analizi

Odontojenik enfeksiyonlar ve apseler, dental acillerin en sık görülen nedenlerinden biridir. Enfeksiyonun yayılım alanı, şiddeti ve risk faktörlerinin doğru değerlendirilmesi, tedavi planını doğrudan etkiler. Yapay zekâ uygulamaları, CBCT ve BT görüntülerini analiz ederek apse

bölgelerini otomatik olarak segmentleyebilir ve volumetrik ölçümlerle enfeksiyon yayılımını nicel olarak değerlendirebilir (Ding et al., 2023).

YZ tabanlı modeller, apse ve selülit gibi yumuşak doku enfeksiyonlarının erken tespitinde de etkilidir. Algoritmalar, inflamasyon bölgelerini işaretleyerek klinik karar desteği sağlar ve cerrahi müdahale gerekip gerekmediğini önceden öngörebilir. Bu sayede acil servislerde hastaların triage edilmesi hızlanır ve tedavi süresi kısalır. Ayrıca, hastaların elektronik sağlık kayıtlarındaki geçmiş enfeksiyon verileri ile entegre edildiğinde, tekrar başvuru olasılıkları tahmin edilebilir ve önleyici tedbirler planlanabilir (Ding et al., 2023).

7.3 Periodontal Hastalıklar

Periodontal hastalıklar, dişeti ve çevre bağ dokusundaki inflamatuvar süreçleri içerir ve kronikleştiğinde diş kaybına yol açabilir. Klinik olarak periodontitis ve dişeti apseleri gibi acil durumlar hızlı tanı ve müdahale gerektirir. Yapay zekâ, periodontal hastalıkların tanısında radyografik ve klinik verileri birleştirerek risk sınıflaması yapabilir (Ding et al., 2023).

Örneğin, dişeti çekilmesi, kemik kaybı ve gingival inflamasyon gibi parametreler YZ algoritmaları tarafından analiz edilebilir. CNN modelleri, CBCT ve panoramik görüntülerde kemik kaybını otomatik olarak tespit ederek klinik rapor oluşturabilir. Ayrıca, hastanın yaş, sistemik hastalık durumu ve önceki periodontal tedavileri gibi elektronik kayıt bilgileri ile entegre edildiğinde, gelecekteki komplikasyon riskleri öngörülebilir. Bu yaklaşım, hem acil müdahale hem de uzun vadeli önleyici tedavi stratejilerini destekler (Ding et al., 2023).

7.4 Travma Değerlendirmesi

Dental travmalar; diş kırıkları, luxasyonlar ve avülsiyonları içerir ve acil müdahale gerektirir. Travmanın tipi ve şiddeti, tedavi planını doğrudan etkiler. Yapay zekâ, özellikle CBCT ve periapikal radyografileri analiz ederek travmanın lokalizasyonunu, kırık tipini ve çevre dokulara etkisini tespit edebilir (Ding et al., 2023).

YZ algoritmaları, avülsiyon vakalarında dişin tekrar yerine konulabilirliğini ve replante edildikten sonraki prognozu öngörebilir. Ayrıca, travmanın zamanlaması ve hastanın yaşı gibi veriler ile entegre edildiğinde risk sınıflaması yapabilir ve önceliklendirilmiş acil müdahale

planı oluşturabilir. Bu, özellikle acil servislerde hızlı karar verme ve kaynak optimizasyonu açısından kritiktir (Ding et al., 2023).

7.5 Klinik Karar Destek Sistemleri

Yapay zekâ tabanlı klinik karar destek sistemleri (CDSS), dental patolojilerin tanısında ve yönetiminde etkili bir araçtır. Çürük, apse, periodontal hastalık ve travma verileri bir araya getirilerek hastanın risk profili oluşturulur. CDSS, acil servis hekimlerine öneriler sunar, önceliklendirme ve tedavi planlamasını kolaylaştırır. Bu sistemler, özellikle yoğun acil servis ortamlarında hasta akışını optimize eder ve tedavi sürelerini kısaltır (Ding et al., 2023).

YZ destekli sistemler ayrıca veri tabanlı öğrenme özelliği sayesinde zaman içinde performanslarını artırır. Yeni vaka verileri ile model güncellenir ve tahmin doğruluğu sürekli iyileştirilir. Bu yaklaşım, hem hasta bakım kalitesini yükseltir hem de acil servis kaynaklarının etkin kullanımını sağlar (Liu et al., 2024).

8. Yapay Zekâ Destekli Klinik Yönetim

Dental acillerin yönetimi, hızlı tanı, doğru risk değerlendirmesi ve etkili tedavi planlamasını gerektirir. Geleneksel klinik süreçlerde karar akışı, hekim deneyimi ve manuel veri analizine dayanır; bu durum zaman kaybına ve subjektif hatalara yol açabilir. Yapay zekâ (YZ) destekli klinik yönetim sistemleri, tanıdan tedaviye kadar olan tüm karar süreçlerini optimize ederek acil servis performansını artırabilir (Kareemi et al., 2025; Akalın & Veranyurt, 2021). Bu bölümde, YZ'nin klinik iş akışına entegrasyonu, karar akışındaki rolü ve hız-doğruluk katkısı ele alınmaktadır.

8.1 Tanıdan Tedaviye Karar Akışı

YZ tabanlı sistemler, hastanın klinik verilerini, radyografik görüntülerini ve geçmiş tedavi kayıtlarını analiz ederek hızlı ve tutarlı kararlar sunar. Tanı sürecinde makine öğrenmesi algoritmaları, olası patolojileri belirler ve risk seviyelerini sınıflar. Bu veriler, hekimlerin tedavi önceliklerini belirlemesine ve acil müdahale gerektiren vakaları hızlıca saptamasına olanak tanır (Kuo & Chang, 2025).

Örneğin, bir diş apsesi vakasında YZ algoritması, enfeksiyonun yayılımını ve şiddetini analiz ederek lokal drenaj mı yoksa intravenöz antibiyotik tedavisi mi gerektiğini öngörebilir. Aynı zamanda, hastanın

kronik hastalık geçmişi veya immün sistem durumu gibi veriler, tedavi risklerini ve komplikasyon olasılıklarını belirlemede kullanılabilir. Bu süreç, hekimlerin doğru ve hızlı karar vermesini destekler, acil servislerde bekleme sürelerini kısaltır ve hasta güvenliğini artırır (Kareemi et al., 2025).

8.2 Klinik İş Akışı Entegrasyonu

YZ destekli sistemler, klinik iş akışına sorunsuz bir şekilde entegre edilebilir. Elektronik sağlık kayıtları (EHR), radyografi ve CBCT görüntüleri ile bağlantılı çalışan algoritmalar, verileri otomatik olarak analiz ederek öneriler sunar. Bu entegrasyon, klinik personelin iş yükünü azaltır ve acil servislerde süreçlerin daha verimli yönetilmesini sağlar (Bulut, 2025).

Örneğin, bir acil diş vakasında hasta kaydı oluşturulduktan hemen sonra YZ sistemi, mevcut görüntüleri tarar, patolojiye göre risk sınıflaması yapar ve önerilen tedavi seçeneklerini listeler. Bu, hem hekimlerin hem de yardımcı sağlık personelinin müdahale önceliklerini hızla belirlemesine olanak tanır. İş akışına entegre YZ sistemleri, ayrıca hasta takibi, tekrar başvuruların analizi ve kaynak yönetimi gibi alanlarda da değerli bilgiler sağlar (Önder, 2025).

8.3 Hız ve Doğruluk Katkısı

YZ tabanlı yönetim sistemlerinin en önemli katkılarından biri, tanı ve tedavi sürecinin hızını ve doğruluğunu artırmasıdır. Geleneksel yöntemlerde, radyografik inceleme ve klinik değerlendirme süreleri uzayabilir; özellikle yoğun acil servis ortamlarında bu gecikmeler ciddi sorunlar yaratabilir. YZ algoritmaları, büyük veri setlerini hızlı bir şekilde analiz ederek acil müdahale gereken vakaları anında belirleyebilir (Kuo & Chang, 2025).

Ayrıca, yapay zekâ destekli sistemler insan hatasını minimize eder. Özellikle erken evre çürükler, mikro apse oluşumları veya travmatik lezyonlar gibi zor tespit edilen durumları yüksek doğrulukla saptayabilir. Bu durum, hem hasta bakım kalitesini artırır hem de tekrar acil başvuru oranlarını düşürür. YZ'nin hız ve doğruluk katkısı, acil servislerde hasta akışını optimize eder ve klinik verimliliği artırır (Kareemi et al., 2025).

8.4 Örnek Uygulamalar

Dünya genelinde birçok dental acil merkez, YZ tabanlı klinik yönetim sistemlerini uygulamaya başlamıştır. Klinik karar destek sistemleri, acil diş vakalarında tanı doğruluğunu artırmak, tedavi sürelerini kısaltmak ve kaynak kullanımını optimize etmek için kullanılmaktadır (Bulut, 2025).

Örneğin, bir hastanede CBCT görüntüleri ve EHR verileri ile entegre edilen YZ sistemi, dental travmaları otomatik olarak sınıflandırmakta ve uygun tedavi planını önererek acil müdahale süresini anlamlı ölçüde azaltmıştır. Ayrıca, klinik iş akışına entegre yapay zekâ, hasta takibi ve risk analizi gibi süreçlerde de etkin rol oynar. Tekrar başvuru olasılığı yüksek hastalar, YZ tarafından önceden belirlenebilir ve önleyici tedbirler alınabilir (Önder, 2025).

9. Klinik Karar Destek Sistemleri

Dental acil servislerde doğru ve hızlı karar almak, hem hasta güvenliği hem de klinik verimlilik açısından kritik öneme sahiptir. Klinik karar destek sistemleri (KKDS), elektronik sağlık kayıtları, radyografik görüntüler ve geçmiş hasta verilerini analiz ederek hekimlerin tanı ve tedavi süreçlerinde daha bilinçli ve hızlı hareket etmesini sağlar. Bu sistemler, risk skorlama, tedavi planlama ve senaryo tabanlı uygulamalar ile acil servislerde karar süreçlerini optimize eder (Khatamov et al., 2025; El Arab & Al Moosa, 2025).

9.1 Risk Skorlama Algoritmaları

KKDS'nin temel bileşenlerinden biri, hastaların klinik durumunu ve risk seviyesini analiz eden algoritmalar. Bu algoritmalar, hastanın yaşı, kronik hastalıkları, bağışıklık durumu, enfeksiyon yayılımı ve önceki tedavi geçmişi gibi faktörleri değerlendirir. Risk skorlama algoritmaları, acil müdahale önceliğini belirlemede kullanılır. Örneğin, diş apsesi veya travmatik dental yaralanma vakalarında algoritma, komplikasyon olasılığı yüksek hastaları önceliklendirir. Bu sayede kritik vakalar hızlı bir şekilde müdahale edilirken, daha düşük riskli vakalar uygun takip planına alınabilir (El Arab & Al Moosa, 2025).

9.2 Tedavi Planlama Önerileri

KKDS, yalnızca risk analizi yapmakla kalmaz, aynı zamanda olası tedavi seçeneklerini önerir. Makine öğrenmesi ve yapay zekâ

algoritmaları, hastanın klinik ve radyografik verilerini değerlendirerek lokal drenaj, antibiyotik tedavisi veya ileri cerrahi müdahale gibi uygun tedavi planlarını sunar. Hekimler, sistemin önerilerini gözden geçirerek kendi klinik deneyimleriyle harmanlayabilir ve hızlı karar verebilir. Bu süreç, hem tedavi doğruluğunu artırır hem de acil serviste bekleme sürelerini azaltır (Fernandes Prabhu et al., 2025).

9.3 Senaryo Tabanlı Uygulamalar

KKDS, senaryo tabanlı simülasyonlar ile klinik eğitim ve karar destek süreçlerini güçlendirebilir. Örneğin, acil servise başvuran bir hastanın farklı risk faktörleri ve klinik bulguları sisteme girildiğinde, algoritma olası senaryoları değerlendirir ve en uygun müdahale akışını önerir. Bu tür uygulamalar, özellikle yeni mezun hekimler ve asistanlar için acil durumlara hazırlık sağlar, hızlı karar verme becerilerini geliştirir ve klinik hata olasılığını düşürür (Khatamov et al., 2025; Shen et al., 2025).

Senaryo tabanlı KKDS ayrıca hasta yoğunluğu ve kaynak sınırlılığı gibi gerçek zamanlı koşulları da dikkate alabilir. Bu sayede hem hasta akışı optimize edilir hem de acil servisin operasyonel verimliliği artar. Sistem, tekrar başvuru olasılığı yüksek hastaları öngörebilir ve önleyici tedbirlerin planlanmasına yardımcı olabilir (Fernandes Prabhu et al., 2025).

10. Avantajlar ve Katkıları

Yapay zekâ destekli sistemlerin dental acil servislerde kullanımı, klinik süreçlerde birçok avantaj ve katkı sağlar. Bu sistemler, hem tanı doğruluğunu artırmak hem de hasta bakım kalitesini yükseltmek için kritik bir rol oynar. Ayrıca, multidisipliner ekipler arasındaki koordinasyonu güçlendirerek acil servislerin operasyonel verimliliğine katkıda bulunur (Ouanes & Farhah, 2024; Stafie et al., 2023).

10.1 Tanı Doğruluğu ve Zaman Kazancı

Yapay zekâ algoritmaları, dental görüntüleme ve hasta verilerini analiz ederek tanı sürecinde yüksek doğruluk sağlar. Örneğin, çürükler, apse ve periodontal lezyonlar gibi patolojiler algoritmalar tarafından hızlı ve güvenilir bir şekilde tespit edilebilir (Devi et al., 2023). Bu sayede hekimler, manuel incelemelere kıyasla daha kısa sürede doğru tanıya ulaşabilir. Zaman kazancı, özellikle acil servislerde yoğun hasta akışı

sırasında kritik bir avantajdır. Hızlı ve doğru tanı, hem acil müdahale süresini kısaltır hem de yanlış tedavi riskini azaltır (Bajgain et al., 2023).

10.2 Hasta Sonuçlarına Etkisi

Yapay zekâ destekli karar sistemleri, doğru tanı ve hızlı müdahale sayesinde hasta sonuçlarını iyileştirir. Erken ve uygun tedavi, komplikasyon riskini azaltır, hastaların acil servise tekrar başvurma olasılığını düşürür ve genel yaşam kalitesini artırır (Ouanes & Farhah, 2024). Ayrıca, tedavi planlarının kişiselleştirilmesi ve risk analizi, kronik hastalıkları veya bağışıklık yetmezliği olan hastalarda olası komplikasyonların önlenmesine yardımcı olur. Bu durum, hem klinik güvenliği artırır hem de hasta memnuniyetini yükseltir (Stafie et al., 2023).

10.3 Multidisipliner Koordinasyon

Yapay zekâ sistemleri, diş hekimleri, radyologlar, ağız cerrahları ve acil servis personeli arasında koordinasyonu destekler. Sistem, tüm klinik verileri entegre ederek ekip üyelerinin aynı bilgi temelinde hareket etmesini sağlar (Devi et al., 2023). Bu sayede tedavi planlaması ve müdahale süreci daha uyumlu ve verimli bir şekilde yürütülür. Ayrıca, multidisipliner yaklaşım, özellikle karmaşık dental acil vakalarında klinik kararların standardize edilmesine ve hataların minimize edilmesine katkı sağlar (Bajgain et al., 2023).

11. Sınırlılıklar ve Etik / Hukuki Boyut

Yapay zekâ destekli sistemlerin dental acil servislerde kullanımı, pek çok avantaj sağlamakla birlikte belirli sınırlılıklar ve etik/hukuki boyutlar içerir. Bu faktörlerin dikkate alınması, sistemlerin güvenli, adil ve yasalara uygun bir şekilde uygulanabilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Pham, 2025; Singh et al., 2025).

11.1 Veri Güvenliği ve Gizliliği

Yapay zekâ uygulamaları, büyük miktarda hasta verisi ve görüntü analizi gerektirir. Bu durum, veri güvenliği ve gizliliği açısından önemli riskler doğurur (Jha et al., 2025). Elektronik sağlık kayıtları, radyografiler ve klinik veriler, yetkisiz erişim, siber saldırı veya veri sızıntısı riskine açıktır. Bu nedenle, hasta bilgileri ulusal ve uluslararası veri koruma düzenlemelerine uygun şekilde korunmalıdır. GDPR (General Data Protection Regulation) ve KVKK (Kişisel Verilerin Korunması Kanunu)

gibi mevzuatlar, sağlık verilerinin işlenmesi ve paylaşılmasında uyulması gereken temel kuralları belirler. Klinik uygulamalarda yapay zekâ sistemlerinin bu düzenlemelerle uyumlu çalışması, hasta mahremiyetinin korunması açısından zorunludur (Kasula, 2024).

11.2 Algoritmik Yanlılık (Bias)

Yapay zekâ algoritmaları, eğitildikleri veri setlerindeki önyargılardan etkilenebilir. Eğer eğitim verileri homojen değilse veya belirli hasta gruplarını yeterince temsil etmiyorsa, tanı ve tedavi önerileri yanlı olabilir (Singh et al., 2025). Örneğin, yaş, cinsiyet, etnik köken veya sosyoekonomik durum bakımından dengesiz veri setleri, bazı hasta gruplarında hatalı sınıflama ve yanlış önceliklendirmelere yol açabilir. Algoritmik yanlılık, hem klinik güvenliği riske atar hem de etik açıdan adil hasta bakımını engeller. Bu nedenle, yapay zekâ sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında veri setlerinin çeşitliliği ve algoritmaların performansının sürekli değerlendirilmesi büyük önem taşır (Jha et al., 2025).

11.3 Mediko-Legal Sorumluluklar

Yapay zekâ destekli karar sistemleri klinik öneriler sunsa da nihai karar hekimler tarafından verilir. Bu durum, mediko-legal sorumlulukları tartışmalı hale getirebilir (Pham, 2025). Yanlış tanı veya hatalı tedavi kararları durumunda, hem yazılım geliştiricilerin hem de sağlık kurumlarının sorumluluk sınırları net olarak belirlenmelidir. Özellikle acil serviste hızlı müdahale gereken dental vakalarda, yapay zekâ önerilerine güvenilirlik atfedilse de hekimlerin bağımsız klinik değerlendirmesi ve profesyonel yargısı kritik kalır. Yasal çerçevede, yapay zekâ sistemlerinin kullanımına ilişkin protokoller, sorumluluk dağılımını ve risk yönetimini tanımlamalıdır (Kasula, 2024; Singh et al., 2025).

12. Gelecek Perspektifleri

Dental acillerde yapay zekâ uygulamalarının gelişimi, yalnızca mevcut klinik süreçleri optimize etmekle kalmayacak, aynı zamanda gelecekte acil servis yönetimi ve hasta bakımında köklü dönüşümlere yol açacaktır (Rahim et al., 2024; Schwendicke et al., 2023). Bu perspektif, otonom sistemlerden tele-dentistry uygulamalarına ve büyük veri entegrasyonuna kadar çeşitli alanları kapsamaktadır.

12.1 Otonom Tanı Sistemleri

Gelecekte yapay zekâ, dental acillerde otonom tanı sistemleri ile hekim müdahalesine gerek kalmadan bazı durumları değerlendirebilecektir (Sitaras et al., 2025). Konvolüsyonel sinir ağları (CNN) ve ileri görüntü işleme algoritmaları, radyografik ve klinik veriler üzerinden otomatik olarak çürük, apse veya travmatik lezyonları tespit edebilir. Bu tür sistemler, acil servislerde tanı süresini önemli ölçüde kısaltarak hızlı müdahale gerektiren vakalarda zaman kazandıracaktır. Otonom sistemlerin, hekim gözetimi ile entegre çalışması, hem güvenliği artıracak hem de hata payını minimize edecektir.

12.2 Tele-Dentistry Entegrasyonu

Yapay zekâ tabanlı sistemler, tele-dentistry uygulamaları ile birleştiğinde, acil dental hizmetlerin coğrafi olarak erişimini artırabilir (Rahim et al., 2024). Özellikle kırsal veya sağlık hizmetlerine uzak bölgelerde, hastaların mobil cihazlar üzerinden dental görüntü göndermesi ve yapay zekâ algoritmaları ile ön değerlendirme yapılması mümkün olacaktır. Bu sayede, acil müdahale gerektiren durumlar hızla belirlenebilir ve uygun yönlendirmeler yapılabilir. Tele-dentistry entegrasyonu, hasta bekleme sürelerini azaltırken, kaynak kullanımını da optimize ederek sağlık sistemi üzerindeki yükü hafifletecektir (El-Hakim et al., 2025).

12.3 Büyük Veri ve Yapay Zekâ Kombinasyonu

Büyük veri analizleri ve yapay zekâ kombinasyonu, dental acillerin epidemiyolojik verilerinin daha etkin kullanılmasına olanak tanıyacaktır (Sitaras et al., 2025). Hasta demografisi, geçmiş klinik kayıtlar, radyografik görüntüler ve sosyal determinanlar bir araya getirilerek risk grupları ve başvuru trendleri öngörülebilir. Makine öğrenimi algoritmaları, bu veriler üzerinden başvuru olasılıklarını tahmin ederek acil servis planlamasında proaktif stratejiler geliştirebilir. Ayrıca, yapay zekâ destekli analizler, halk sağlığı programlarının tasarımında ve önleyici müdahalelerin optimize edilmesinde kritik rol oynayacaktır (Schwendicke et al., 2023).

SONUÇ

Dental aciller, acil servislerde sık karşılaşılan ve hızlı müdahale gerektiren durumları kapsamaktadır. Yapay zekâ destekli sistemler, tanı

doğruluğunu artırma, hasta akışını optimize etme ve acil servis kaynaklarının etkin kullanımına katkı sağlama potansiyeline sahiptir (Samaranayake et al., 2025). Klinik sınıflandırma, veri entegrasyonu ve karar destek sistemleri ile birlikte kullanıldığında, hem akut vakalarda hem de kronik dental sorunların yönetiminde önemli avantajlar sunmaktadır. Acil servislerde dental acillerin yönetiminde, yapay zekâ tabanlı triage ve risk skorlama sistemlerinin entegre edilmesi önerilmektedir; bu sayede kritik vakalar hızlı şekilde önceliklendirilebilir ve tedavi süreci hızlandırılabilir (Dashti et al., 2024). Ayrıca, dijital görüntüleme ve elektronik hasta kayıtlarının sistematik kullanımı, tanı sürecini destekleyerek hatalı veya gecikmiş müdahalelerin önüne geçebilir. Klinik protokollerin güncel veri ve algoritmalarla desteklenmesi, hem hekim kararlarını güçlendirecek hem de hasta güvenliğini artıracaktır (Estai et al., 2018). Dental acillerde yapay zekâ uygulamalarının etkinliği ve güvenilirliği, sürekli araştırma ve veri analizleri ile izlenmelidir. Klinik eğitim programlarında yapay zekâ araçlarının kullanımı, genç hekimlerin ve diş hekimliği öğrencilerinin bu teknolojilere adaptasyonunu hızlandıracaktır. Ayrıca, interdisipliner yaklaşımlar ile hem tıp hem de diş hekimliği alanlarında veri odaklı karar süreçleri desteklenebilir. Bu sayede hem hasta sonuçları iyileştirilebilir hem de acil servislerin operasyonel verimliliği sürdürülebilir şekilde artırılabilir (Dashti et al., 2024; Samaranayake et al., 2025).

KAYNAKLAR

- Abdel-Jaber, H., Devassy, D., Al Salam, A., Hidaytallah, L., & El-Amir, M. (2022). A review of deep learning algorithms and their applications in healthcare. *Algorithms*, 15(2), 71.
- Akalın, B., & Veranyurt, Ü. (2021). Sağlık hizmetleri ve yönetiminde yapay zekâ. *Acta Infologica*, 5(1), 231–240.
- Akinlotan, M. A., & Ferdinand, A. O. (2020). Emergency department visits for nontraumatic dental conditions: A systematic literature review. *Journal of Public Health Dentistry*, 80(4), 313–326.
- Alelweet, M. A., Alotaibi, F. K. M., Almaghgsi, M. F., Almosallam, N. A., Magliyah, Y. F., Ashor, R. M., ... & Alalyani, N. H. M. (2025). Acute dental conditions in emergency departments: Assessment, diagnosis, and management. *The Review of Diabetic Studies*, 441–449.
- Atlan, F., & Pençe, İ. (2021). Yapay zekâ ve tıbbi görüntüleme teknolojilerine genel bakış. *Acta Infologica*, 5(1), 207–230.

- Bae, J. H., Kim, Y. K., & Choi, Y. H. (2011). Clinical characteristics of dental emergencies and prevalence of dental trauma at a university hospital emergency center in Korea. *Dental Traumatology*, 27(5), 374–378.
- Bajgain, B., Lorenzetti, D., Lee, J., & Sauro, K. (2023). Determinants of implementing artificial intelligence-based clinical decision support tools in healthcare: A scoping review protocol. *BMJ Open*, 13(2), e068373.
- Ballini, A., Prencipe, F. A., De Tullio, F., Fabrocini, A., Cupelli, P., Rignani, M., ... & Musella, G. (2025). Artificial intelligence in dentistry: A narrative review of applications, challenges, and future directions. *Minerva Dental and Oral Science*, 74(5), 337–348.
- Bulut, C. (2025). Sağlık kurumlarında yapay zekâ destekli karar destek sistemlerinin kullanımı. *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 11(1), 27–37.
- Dashti, M., Ghasemi, S., & Khurshid, Z. (2024). Integrating artificial intelligence in dental education: An urgent call for dedicated postgraduate programs. *International Dental Journal*, 74(6), 1466–1468.
- DeAngelis, A. F., Barrowman, R. A., Harrod, R., & Nastri, A. L. (2014). Maxillofacial emergencies: Oral pain and odontogenic infections. *Emergency Medicine Australasia*, 26(4), 336–342.
- Devi, K. J., Alghamdi, W., Alkhayyat, A., Sayyora, A., & Sathish, T. (2023). Artificial intelligence in healthcare: Diagnosis, treatment, and prediction. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 399, p. 04043).
- Ding, H., Wu, J., Zhao, W., Matinlinna, J. P., Burrow, M. F., & Tsoi, J. K. (2023). Artificial intelligence in dentistry—A review. *Frontiers in Dental Medicine*, 4, 1085251.
- Durack, C., & Patel, S. (2012). Cone beam computed tomography in endodontics. *Brazilian Dental Journal*, 23(3), 179–191.
- El Arab, R. A., & Al Moosa, O. A. (2025). The role of AI in emergency department triage: An integrative systematic review. *Intensive and Critical Care Nursing*, 89, 104058.
- El-Hakim, M., Anthonappa, R., & Fawzy, A. (2025). Artificial intelligence in dental education: A scoping review of applications, challenges, and gaps. *Dentistry Journal*, 13(9), 384.
- Emara, R., Krois, J., & Schwendicke, F. (2020). Maintaining pulpal vitality: Cost-effectiveness analysis on carious tissue removal and direct pulp capping. *Journal of Dentistry*, 96, 103330.

- Esmailyfard, R., Bonyadifard, H., & Paknahad, M. (2024). Dental caries detection and classification in CBCT images using deep learning. *International Dental Journal*, 74(2), 328–334.
- Estai, M., Kanagasingam, Y., Tennant, M., & Bunt, S. (2018). A systematic review of the research evidence for the benefits of teledentistry. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 24(3), 147–156.
- Federation, F. W. D. (2025). Artificial intelligence in dentistry. *International Dental Journal*, 75(1), 3.
- Fernandes Prabhu, D., Gurupur, V., Stone, A., & Trader, E. (2025, October). Integrating artificial intelligence, electronic health records, and wearables for predictive, patient-centered decision support in healthcare. In *Healthcare* (Vol. 13, No. 21, p. 2753).
- Frichembruder, K., Mello dos Santos, C., & Neves Hugo, F. (2020). Dental emergency: Scoping review. *PLoS One*, 15(2), e0222248.
- Garcia-Canas, A., Bonfanti-Gris, M., Paraiso-Medina, S., Martinez-Rus, F., & Pradies, G. (2022). Diagnosis of interproximal caries lesions in bitewing radiographs using a deep convolutional neural network-based software. *Caries Research*, 56(5–6), 503–511.
- Gokdeniz, S. T., Buyuksungur, A., & Kolsuz, M. E. (2023). Artificial intelligence in dentistry. In *Human Teeth—From Function to Esthetics*. IntechOpen.
- Hammel, J. M., & Fischel, J. (2019). Dental emergencies. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 37(1), 81–93.
- Jabeen, S., Sultana, F., Baby, D., & Sabharwal, R. (2024). Role of artificial intelligence in dentistry: Current applications and future perspectives.
- Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685–695.
- Jha, D., Durak, G., Sharma, V., Keles, E., Cicek, V., Zhang, Z., ... & Bagci, U. (2025). A conceptual framework for applying ethical principles of AI to medical practice. *Bioengineering*, 12(2), 180.
- Kareemi, H., Yadav, K., Price, C., Bobrovitz, N., Meehan, A., Li, H., ... & Vaillancourt, C. (2025). Artificial intelligence-based clinical decision support in the emergency department: A scoping review. *Academic Emergency Medicine*, 32(4), 386–395.
- Kasula, B. Y. (2024). Ethical implications and future prospects of artificial intelligence in healthcare: A research synthesis. *International Meridian Journal*, 6(6), 1–7.

- Kaya, U., Yılmaz, A., & Dikmen, Y. (2019). Sağlık alanında kullanılan derin öğrenme yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 792–808.
- Khatamov, U., Boymuradov, S. A., Khurshid, Z., Songsiripraduboon, S., Abdulahtov, J., & Tuygunov, N. Diagnostic performance of artificial intelligence for facial fracture detection: A systematic review. Available at SSRN 5381775.
- Kuo, K. M., & Chang, C. S. (2025). A meta-analysis of the diagnostic test accuracy of artificial intelligence predicting emergency department dispositions. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 25(1), 187.
- Lee, J. H., Kim, D. H., Jeong, S. N., & Choi, S. H. (2018). Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of Dentistry*, 77, 106–111.
- Lima, T. C. D. S., Coste, S. C., Fernandes, M. I. A. P., Barbato-Ferreira, D. A., Colosimo, E. A., Del Fabbro, M., ... & Bastos, J. V. (2023). Prevalence of traumatic dental injuries in emergency dental services: A systematic review and meta-analysis. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 51(2), 247–255.
- Liu, Y., Xia, K., Cen, Y., Ying, S., & Zhao, Z. (2024). Artificial intelligence for caries detection: A novel diagnostic tool using deep learning algorithms. *Oral Radiology*, 40(3), 375–384.
- Neal, T. W., & Schlieve, T. (2022). Complications of severe odontogenic infections: A review. *Biology*, 11(12), 1784.
- Ouanes, K., & Farhah, N. (2024). Effectiveness of artificial intelligence (AI) in clinical decision support systems and care delivery. *Journal of Medical Systems*, 48(1), 74.
- Önder, O. (2025). Klinik karar destek sistemleri bağlamında tıpta yapay zeka kullanımında etik sorun alanları (Doktora tezi).
- Patel, S., Durack, C., Abella, F., Shemesh, H., Roig, M., & Lemberg, K. (2015). Cone beam computed tomography in endodontics—A review. *International Endodontic Journal*, 48(1), 3–15.
- Rahim, A., Khatoon, R., Khan, T. A., Syed, K., Khan, I., Khalid, T., & Khalid, B. (2024). Artificial intelligence-powered dentistry: Probing the potential, challenges, and ethicality of artificial intelligence in dentistry. *Digital Health*, 10, 20552076241291345.
- Samaranayake, L., Tuygunov, N., Schwendicke, F., Osathanon, T., Khurshid, Z., Boymuradov, S. A., & Cahyanto, A. (2025). The transformative role of artificial intelligence in dentistry: A comprehensive overview. *International Dental Journal*, 75(2), 383–396.

- Schwendicke, F. A., Samek, W., & Krois, J. (2020). Artificial intelligence in dentistry: Chances and challenges. *Journal of Dental Research*, 99(7), 769–774.
- Schwendicke, F., Arsiwala-Scheppach, L. T., & Krois, J. (2023). Artificial intelligence: What it is and what it can do for dentists. *Dental Update*, 50(4), 245–249.
- Shen, Y., Yu, J., Zhou, J., & Hu, G. (2025). Twenty-five years of evolution and hurdles in electronic health records and interoperability in medical research: Comprehensive review. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e59024.
- Sikri, A., Sikri, J., Piplani, V., & Thakur, Y. (2024). Applications of artificial intelligence in dentistry: A narrative review. *South Asian Research Journal of Oral and Dental Sciences*, 6(1), 1–10.
- Singh, M. P., Keche, Y. N., & Keche, Y. (2025). Ethical integration of artificial intelligence in healthcare: Narrative review of global challenges and strategic solutions. *Cureus*, 17(5).
- Sitaras, S., Tsolakis, I. A., Gelsini, M., Tsolakis, A. I., Schwendicke, F., Wolf, T. G., & Perlea, P. (2025). Applications of artificial intelligence in dental medicine: A critical review. *International Dental Journal*, 75(2), 474–486.
- Stafie, C. S., Sufaru, I. G., Ghiciuc, C. M., Stafie, I. I., Sufaru, E. C., Solomon, S. M., & Hancianu, M. (2023). Exploring the intersection of artificial intelligence and clinical healthcare: A multidisciplinary review. *Diagnostics*, 13(12), 1995.
- Sun, B. C., Chi, D. L., Schwarz, E., Milgrom, P., Yagapen, A., Malveau, S., ... & Lowe, R. A. (2015). Emergency department visits for nontraumatic dental problems: A mixed-methods study. *American Journal of Public Health*, 105(5), 947–955.
- Tay, F. R., Loveless, R., & Ravenel, T. D. (2026). The role of artificial intelligence in shaping dentistry through advancement in data acquisition, clinical practice, education, and research. *Dental Research*, 1(1), 100005.
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44–56.
- Yenikaya, M. A., & Oktaysoy, O. (2023). Yapay zekâ uygulamalarının sağlık sektöründe kullanımı: Derin öğrenme yöntemiyle ön tanı. *Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 127–131.

DENTAL TEDAVİLERDE HASTA- MERKEZLİ DİJİTAL İZLEM VE UZAKTAN KLİNİK DEĞERLENDİRME

İlke Manolya ÖZDEMİR

- ❖ Kurum Bilgisi: Endodonti, Diş Hekimliği Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0001-4279-9645
- ❖ Mail: manolya163@hotmail.com

GİRİŞ

Bilim ve teknolojiye yaşanan ilerlemelerin, tarihsel süreç boyunca sağlık alanında karşılık bulduğu ve insan sağlığının geliştirilmesi amacıyla klinik uygulamalara uyarlanarak kullanıldığı görülmektedir. Özellikle bilgisayar ve bilgi teknolojilerindeki hızlı gelişim, sağlık hizmetlerinin sunum biçimlerini dönüştürmüş ve yeni disiplinlerin ortaya çıkmasına, bunların araştırmalara, eğitim ve klinik uygulamalara entegre olmasına zemin hazırlamıştır.

Bu gelişmelerden biri olan tele-tıp, zaman ve mekan kısıtlılıklarını azaltarak sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırmış; bu yaklaşımın diş hekimliği alanındaki yansıması ise tele-dişhekimliği olmuştur. Tele-dişhekimliği, dental tanı, konsültasyon, tedavi süreçleri ile mesleki bilgi ve eğitimin desteklenmesi amacıyla elektronik bilgi, görüntüleme ve iletişim teknolojilerinin kullanılması ifade etmektedir. Bu kapsamda ses, görüntü ve veri aktarımına dayalı dijital iletişim sistemleri, hasta ve hekim arasındaki etkileşimi fiziksel birliktelik olmaksızın mümkün kılmaktadır.

Tele-dişhekimliği uygulamaları, iletişimin zamanlamasına göre senkron ve asenkron olmak üzere iki temel grupta ele alınmaktadır. Asenkron sistemlerde klinik veriler ve görüntüler kaydedilerek daha sonra değerlendirilmek üzere iletilirken, senkron sistemlerde hasta ve hekim arasında gerçek zamanlı bir etkileşim sağlanmaktadır.

Literatürde tele-dişhekimliğinin oral diagnozdan protetik tedavilere, ortodontiden koruyucu diş hekimliğine, periodontolojiden endodonti ve çene cerrahisine kadar birçok disiplinde kullanılabildiği bildirilmektedir. Bunun yanı sıra, özellikle COVID-19 pandemisi sürecinde uzaktan değerlendirme ve takip olanağı sunarak yüz yüze temasın azaltılmasına katkı sağlamış ve bulaş riskinin düşürülmesinde destekleyici bir rol üstlenmiştir. Ayrıca bu uygulama, coğrafi engeller nedeniyle sağlık hizmetlerine fiziki erişimi kısıtlı olan bireyler için önemli bir alternatif oluşturarak, merkez ve kırsal bölgeler arasındaki ağız sağlığı hizmetinden faydalanmadaki dengesizliğin ve eşitsizliğin azaltılmasında umut vadetmektedir.

Bu çerçevede dijital sağlık uygulamaları, yalnızca teknolojik bir yenilik olarak değil; hasta-merkezli bakım anlayışını güçlendiren, izlem ve değerlendirme süreçlerini destekleyen araçlar olarak ele alınmalıdır. Bu bölümde, dental tedavilerde hasta-merkezli dijital izlem ve uzaktan klinik değerlendirme yaklaşımları; tele-dişhekimliği uygulamalarının geçmişten

günümüze şekillenmesi, uygulamaları, klinik kullanım alanları, hasta-hekim ilişkileri, sundukları olanaklar, sınırlılıkları ve geleceğe yönelik perspektifleriyle değerlendirilecektir.

1. Klinik İzlem ve Değerlendirmede Tele-dişhekimliğinin Yeri ve Gelişimi

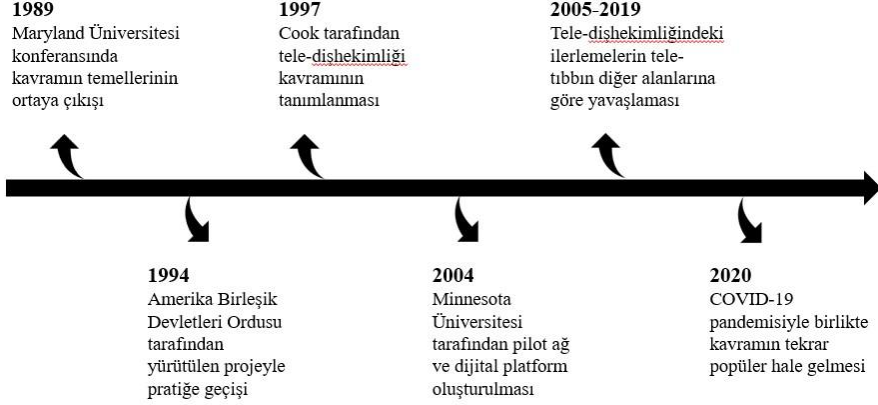
Tele-dişhekimliği kavramının temelleri ilk olarak 1989 yılında Maryland Üniversitesi'nde dental bilişim konulu bir konferansın bildirgesinde “diş hekimliği meslek odaları, diş hekimliği okulları, araştırma toplulukları, genel diş hekimleri, uzman diş hekimleri, diş hekimliği yardımcıları, diğer sağlık dalları ile beraber bilgisayar ve telekomünikasyon endüstrisinin ilgili üyeleri de dâhil olmak üzere diş hekimliğinin tüm bileşenleri arasında iletişim ve ağ kurmayı sağlamak için çeşitli mekanizmalar hemen geliştirilmelidir” şeklinde ortaya konmuştur (Abbey & Zimmerman, 2012). Bu yaklaşım, dental bilişimin yapılandırılmış bir proje alanı olarak ele alınmasının başlangıcı olarak kabul edilmektedir.

Uygulamaya girmesi ise 1990'lı yılların ortalarında görülmeye başlanmıştır. Bu kapsamda, 1994 yılında Amerika Birleşik Devletleri Ordusu tarafından yürütülen “Total Dental Access” projesi, dijital dental kayıtlar ve radyografilerin uzmanlara iletilerek uzaktan tanı ve tedavi planlaması yapılabileceğini göstermiştir (Rocca ve ark.,1999). Literatürde “tele-dişhekimliği” teriminin kavramsal olarak tanımlanması ise 1997 yılında Cook tarafından yapılmış; bu yaklaşım, “uzaktan tanı ve tedaviye yönelik önerilerin videokonferans teknolojileri aracılığıyla sağlanması” olarak ifade edilmiştir (Cook ve ark., 2000).

1990'lı yılların sonu ve 2000'li yılların başında telekomünikasyon altyapısının güçlenmesi, dijital görüntüleme teknolojilerinin gelişmesi ve elektronik sağlık kayıtlarının yaygınlaşması, tele-dişhekimliği uygulamalarının kapsamını genişletmiştir. 2004 yılında Minnesota Üniversitesi gibi bazı akademik merkezler tarafından yürütülen pilot ağlar aracılığıyla, kırsal bölgelerde yaşayan hastaların uzman diş hekimlerine dijital platformlar üzerinden erişimi sağlanmış ve tele-dişhekimliğinin halk sağlığı alanındaki potansiyeli test edilmiştir (Estai ve ark., 2016).

Tüm bu gelişmelere rağmen diş hekimliği alanı, diğer tıbbi disiplinlere kıyasla telekomünikasyon teknolojilerinin entegrasyonunda daha yavaş bir ilerleme göstermiş olsa da, COVID-19 pandemisi bu süreçte önemli bir kırılma noktası oluşturmuştur. Fiziksel temasın azaltılması gerekliliği,

uzaktan değerlendirme ve dijital izlem yaklaşımlarının hızla benimsenmesine yol açmıştır (Clark, 2000). Böylece tele-dişhekimliği, deneysel ve sınırlı uygulamalardan çıkarak, hasta merkezli dijital izlem ve uzaktan klinik değerlendirme süreçlerinin vazgeçilmez bir tamamlayıcısı haline gelmiştir. (Şekil 1)



Şekil 1. Tele-dişhekimliğinin Tarihsel Gelişimini Gösteren Zaman Çizelgesi

Tele-dişhekimliği, başlangıçta deneysel nitelik taşıyan bir yaklaşım iken, zaman içerisinde gelişerek günümüz ağız ve diş sağlığı hizmetlerinde giderek daha fazla yer bulan yerleşik bir uygulama haline gelmiştir. Dijital teknolojilerdeki ilerlemeler, yapay zeka tabanlı sistemler, bulut destekli veri yönetimi çözümleri ve gerçek zamanlı iletişim platformlarının yaygınlaşması, uzaktan dental bakımın daha erişilebilir, etkin ve sürdürülebilir şekilde sunulmasına olanak sağlamıştır (Johnson ve ark., 2019). Bu teknolojik altyapı, tele-dişhekimliğinin modern diş hekimliği pratiğine entegrasyonunu önemli ölçüde hızlandırmıştır.

Yapay zeka tabanlı yazılımlar, dental görüntüleri analiz ederek ağız hastalıklarının erken bulgularını saptayabilmekte ve tanı sürecinde diş hekimlerine destek olmaktadır. Bu tür sistemler, görüntü yorumlama süresini kısaltarak klinik verimliliği artırmakta ve tanısız hataların azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca yapay zeka temelli chat-botlar ve sanal asistanlar, hastaların sık karşılaşılan dental sorunlara hızlı yanıtlar almasını sağlayarak hasta bilgilendirmesi ve etkileşimini güçlendirmektedir (Strunga ve ark., 2023).

Bulut tabanlı elektronik sağlık kayıtlarının tele-dişhekimliği uygulamalarına entegre edilmesi, dijital dönüşümün bir diğer önemli

boyutunu oluşturmaktadır. Bu sistemler sayesinde farklı uzmanlık alanlarından klinisyenler, hasta kayıtlarına güvenli biçimde ve eş zamanlı olarak erişebilmekte, klinik verileri paylaşabilmekte ve tedavi süreçlerini kesintisiz biçimde sürdürebilmektedir (Carrard ve ark., 2018).

2. Tele-dişhekimliği Uygulamaları

Tele-dişhekimliği, uzaktan dental bakımın etkin biçimde sunulabilmesini sağlayan birden fazla temel uygulama alanı üzerine yapılandırılmıştır. Bu uygulamalar, farklı dijital teknolojilerin birlikte kullanımıyla hasta erişimini artırmayı, klinik süreçleri daha verimli hale getirmeyi ve sunulan hizmetin kalitesini desteklemeyi amaçlamaktadır. Bu çerçevede tele-dişhekimliği; tele-konsültasyon, tele-diyagnoz, tele-izlem, tele-eğitim ve dijital sağlık kayıtlarının kullanımını içeren çeşitli işlevsel yaklaşımları kapsamaktadır (Migas ve ark., 2022).

a.Tele-konsültasyon

Tele-konsültasyon, diş hekimliği uygulamalarında hastaya ait klinik verilerin uzaktan paylaşılması ve farklı uzmanlık alanlarının eş zamanlı ya da zaman bağımsız olarak değerlendirme sürecine dahil edilmesini mümkün kılar. Bu yaklaşım, tanı ve tedavi planlamasında çok yönlü bakış açısını destekleyerek klinik kararların daha tutarlı ve koordineli biçimde alınmasına katkı sağlar.

Uzaktan konsültasyon süreçlerinin yalnızca diş hekimleri veya diş hekimliği uzmanları arasında sınırlı kalması, klinik karar sürecinde önemli bir kısıtlılık oluşturmaktadır. Ağız ve diş sağlığı uygulamaları, kulak burun boğaz, onkoloji, dahiliye, dermatoloji ve travmatoloji gibi tıbbi branşlarla sık disiplinler arası etkileşim gerektirdiğinden, bu alanları kapsayan bütüncül dijital konsültasyon platformlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir entegrasyon, hastaların farklı sağlık kuruluşları arasında tekrar eden başvurularını, uzun bekleme sürelerini ve zaman kaybını azaltarak daha etkin ve koordineli bir sağlık hizmeti sunulmasına katkı sağlayacaktır.

Tele-dişhekimliği kapsamında yürütülen tele-konsültasyon uygulamaları, iletişimin zamanlamasına bağlı olarak senkron ve asenkron olmak üzere iki temel yöntem altında ele alınmaktadır. Senkron tele-konsültasyon, hasta ile diş hekiminin eş zamanlı olarak iletişim kurabildiği gerçek zamanlı bir yaklaşımı ifade etmektedir. Bu yöntemde video konferans teknolojileri kullanılarak, hasta ve diş hekiminin karşılıklı etkileşimi yoluyla

klirik durum anlık olarak değeriendirilebilmektedir (Gleeson & Kalsi, 2022). (Şekil 2)

Asenkron tele-konsültasyon ise “depola ve ilet” prensibine dayanmaktadır. Bu yaklaşımda, diş hekimi tarafından elde edilen klinik bilgiler ve statik görüntüler önceden kaydedilmekte ve daha sonra değeriendirilmek üzere dijital ortamda iletilmektedir (Bhamra ve ark., 2024). Kaydedilen veriler, ilgili uzmanlara gönderilerek zaman ve mekandan bağımsız şekilde incelenebilmekte; böylece uzaktan klinik görüş alınması ve tedavi planlamasına destek sağlanmaktadır. Verilerin, daha önce uygulanan tedavilere ilişkin kayıtların, yapılan testler ve sonuçlarının, klinik notların ve görüntülerin eksiksiz şekilde iletilmesi uzman görüşüne ihtiyaç duyulan durumlarda hastalar açısından büyük önem taşımaktadır (Estai ve ark., 2018). (Şekil 3)



Şekil 2. Hasta ile uzman hekimin direkt gerçek zamanlı olarak iletişim kurduğu senkron tele-konsültasyon modeli



Şekil 3. Verilerin kaydedilip iletildiği ve uzman değeriendirmesinin sonradan yapıldığı asenkron tele-konsültasyon modeli.

b.Tele-diagnoz

Tele-diagnoz, tele-dişhekimliği uygulamaları içerisinde önemli bir yere sahip olup, dental hastalıkların uzaktan değeriendirilmesi ve tanılanmasını mümkün kılan bir yaklaşımdır. Diş hekimliği hizmetlerinin erişilebilirliği artarken, tanı süreçlerinde zaman ve kaynak açısından da avantaj sağlanmaktadır (Inquimbirt ve ark., 2021).

Tele-dişhekimliği kapsamında yapılan uzaktan değeriendirmeler, klinik triyaj sürecini destekleyerek vakaların önceliklendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, acil müdahale gerektirmeyen durumların uygun şekilde yönlendirilmesini sağlarken, tedavi ihtiyacı yüksek hastaların gecikmeden bakım almasına katkıda bulunabilir.

Oral kanserler, erken tanı ile büyük ölçüde tedavi edilebilir olmakla birlikte, bazı lezyonların malign seyri nedeniyle zamanında teşhis hayati önem taşımaktadır. Telediyagnoz uygulamaları, şüpheli oral lezyonların erken fark edilmesine ve hızlı yönlendirmeye olanak sağlayarak, erken tanının hasta yaşamı üzerindeki belirleyici etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır.

Torres-Pereira ve arkadaşları ve Cardozo ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen araştırmalarda, hastalara ait anamnez formları dijital ortama aktarılmış, oral lezyonlara ait görüntüler ağız içi kamera kullanılarak taranıp kaydedilmiştir. Bu veriler elektronik posta yoluyla oral diagnoz uzmanlarına iletilmiş ve uzaktan değerlendirmeleri talep edilmiştir. Histopatolojik incelemenin altın standart olarak kabul edildiği çalışmalarda bulgular, bilgi teknolojilerinin etkin kullanımının, konsültasyon sürecinin doğruluğunu artırabileceğini göstermiştir. Özellikle uzaktan çalışan birden fazla uzmanın sürece dahil edilmesinin, doğru tanı koyma olasılığını yükselttiği iki çalışmada da rapor edilmiştir (Torres-Pereira ve ark., 2013; Cardozo ve ark., 2022).

Birur ve arkadaşları ise genel diş hekimleri ile ön saflarda görev yapan sağlık çalışanlarının oral kanser uzmanlarıyla iletişimini kolaylaştırmak amacıyla geliştirilen cep telefonu tabanlı bir uzaktan izlem yazılımının etkinliğini değerlendirmiştir. Çalışmanın sonuçları, mobil sağlık temelli bu yaklaşımın, özellikle kaynakların sınırlı olduğu koşullarda görev yapan genel diş hekimlerinin oral kanser lezyonlarını uzaktan ve erken dönemde tanınmasına anlamlı katkı sağladığını ortaya koymuştur (Birur ve ark., 2015).

c.Tele-izlem

Uzaktan hasta izlemi de tele-dişhekimliğinin önemli uygulama alanlarından biri olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımda hastalar, tedavi sürecinin belirli aşamalarında fiziksel olarak klinikte bulunmaksızın, dijital sistemler aracılığıyla izlenebilmektedir. İzlem süreci, hastane ortamında gerçekleştirilebileceği gibi, hastanın kendi yaşam alanında da sürdürülebilmekte; böylece klinik takip daha esnek ve sürekliliği olan bir yapıya kavuşmaktadır (da Costa ve ark., 2021).

ADSM ve üniversite hastaneleri gibi hasta yoğunluğunun yüksek olduğu merkezlerde, tedavi sonrası hasta bilgilendirme ve postoperatif bakım önerilerinin ayrıntılı biçimde aktarılması ve takibi çoğu zaman yeterince sağlanamamaktadır. Oysa her dental tedavi sonrasında dikkat edilmesi gereken noktalar ve düzenli takip, tedavi başarısının sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Dijital izlem uygulamaları, tedaviye özgü postoperatif

bakım önerilerinin hastaya ulaştırılmasını ve iyileşme sürecinin uzaktan takip edilmesini sağlayarak hasta uyumunu artırabilir ve olası komplikasyonların erken fark edilmesine katkı sunabilir.

Özellikle ortodontik tedavilerde, periodontal hastalıkların takibinde ve cerrahi sonrası bakım süreçlerinde etkili olduğu bildirilen uzaktan izlem sayesinde diş hekimleri, hastaların tedavi sürecindeki ilerlemelerini, iyileşme durumlarını değerlendirebilmekte ve hastalara bireyselleştirilmiş öneriler sunabilmektedir (Gryglewska ve ark., 2022). Özellikle hareket kısıtlılığı bulunan ya da uzak bölgelerde yaşayan bireyler için önemli avantajlar sunan tele-izlem uygulamaları, düzenli klinik ziyaretlere duyulan gereksinimi azaltarak hem hasta hem de hekim açısından zaman ve kaynak tasarrufu sağlamaktadır (Al-Buhaisi ve ark., 2024).

Ayrıca bazı bireylerde, sistemik hastalıklar, nörogelişimsel durumlar veya özel bakım gereksinimleri nedeniyle diş hekimliği hizmetlerine yüz yüze başvuru konusunda çekinceler oluşabilmektedir. Anoreksiya ve bulimia nervoza, HIV/AIDS, Behçet hastalığı, otizm spektrum bozukluğu, obsesif kompulsif bozukluk ve benzeri gibi durumlarda, ağız sağlığı yakından izlenmesi gereken bir alan olmasına rağmen, sosyal kaygılar klinik başvuruların ertelenmesine yol açabilmektedir. Uzaktan bilgilendirme, önleyici yaklaşımlar ve dijital izlem uygulamaları, bu bireylerin kendilerini daha güvende hissederek ağız sağlıklarını sürdürebilmelerine ve bakım sürekliliğinin sağlanmasına katkı sunabilir.

d.Tele-eğitim

Tele-eğitim, dijital platformlar ve iletişim teknolojilerinden yararlanarak diş hekimliği alanında öğrenme olanaklarını genişleten yenilikçi bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntem diş hekimliği öğrencileri, klinisyenler ve hastalar için nitelikli eğitim içeriklerine erişimi kolaylaştırmakta, canlı dersler, kayıtlı sunumlar ve etkileşimli olgu tartışmaları aracılığıyla coğrafi sınırlamaları ortadan kaldırmaktadır. E-öğrenme araçlarındaki gelişmeler, sanal simülasyonlar ve yapay zeka destekli eğitim uygulamaları sayesinde tele-eğitim, günümüz diş hekimliği eğitiminde önemli bir yer edinmiştir (Nascimento da Silva Mulder & Ramos Pinto, 2024).

Web seminerleri, çevrim içi kurslar ve sanal gerçeklik tabanlı eğitim programları, fiziksel olarak aynı ortamda bulunma gerekliliği olmaksızın gerçek zamanlı öğrenme ve beceri gelişimine olanak tanımaktadır (Mardani ve ark., 2020). Bu durum özellikle sürekli mesleki eğitim açısından büyük önem taşımakta; sadece öğrencilerin değil, genel diş hekimlerinin ve

uzmanların da güncel araştırmaları, yeni teknikleri ve teknolojik gelişmeleri yakından takip edebilmesini mümkün kılmaktadır.

Hastalar açısından bakıldığında ise tele-eğitim, ağız ve diş sağlığı farkındalığının artırılmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Eğitici videolar, mobil uygulamalar ve çevrim içi bilgilendirme görüşmeleri aracılığıyla bireyler, koruyucu diş hekimliği uygulamaları, tedavi seçenekleri ve tedavi sonrası bakım süreçleri hakkında bilgilendirilebilmektedir. Bu tür dijital kaynaklar, hastaların kendi sağlık süreçlerine daha bilinçli katılım göstermesini destekleyerek tedaviye uyumu artırmaktadır (Varkey ve ark., 2022).

Görsel materyaller, çok dilli içerikler ve etkileşimli eğitim modülleri, sınırlı eğitim düzeyine veya okuma becerisine sahip bireylerin dahi karmaşık diş hekimliği bilgilerini kavrayabilmesine katkı sağlamaktadır. Sağlık ve ağız sağlığı okuryazarlığındaki artışın, daha iyi sağlık sonuçları ve hastalık yükünün azalmasıyla ilişkili olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu yaklaşımın halk sağlığı açısından önemi daha da belirginleşmektedir. Bu durum, bireylerin yaşam boyu öğrenme sürecini desteklemekte ve ağız sağlığında koruyucu yaklaşımlara geçişi teşvik etmektedir (Howell & Fukuoka, 2022). Bununla birlikte tele-eğitimin; uygulamalı eğitimin sınırlı olması, teknolojik altyapıya erişimde yaşanabilen güçlükler ve çevrim içi programların akreditasyon ve adaptasyon gereksinimleri gibi bazı zorlukları da bulunmaktadır. Ancak dijital öğrenme yöntemlerindeki sürekli gelişim göz önüne alındığında, tele-eğitimin diş hekimliği eğitiminde vazgeçilmez bir bileşen haline gelmesi ve bilgiye erişimi daha geniş kitleler için mümkün kılması beklenmektedir (Giraudeau ve ark., 2022).

e.Dijital Sağlık Kayıtları

Geleneksel kağıt temelli kayıtların aksine, elektronik dental kayıtlar; hasta verilerinin daha düzenli, güvenli ve hızlı biçimde yönetilmesine olanak tanımaktadır. Bu sistemler; tıbbi öyküler, tanısal görüntüler, tedavi planları, reçeteler ve klinik ilerleme notları gibi pek çok bilgiyi tek bir dijital yapı altında bir araya getirerek kayıt süreçlerini kolaylaştırmaktadır (Mühlemann ve ark., 2019).

Elektronik dental kayıt sistemleri, hasta güvenliği açısından da önemli avantajlar sunmaktadır. El yazısına bağlı hataların azaltılması, belge kaybı riskinin ortadan kaldırılması ve kayıtların daha düzenli tutulması, klinik hataların önlenmesine yardımcı olmaktadır. Bulut tabanlı veri depolama çözümleri ise hasta bilgilerinin güvenli biçimde yedeklenmesini ve ihtiyaç

duyulduğunda uzaktan erişilebilir olmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca dijital kayıtların farklı uzmanlık alanlarından hekimler arasında kolaylıkla paylaşılabilmesi, disiplinler arası iletişimi güçlendirmekte ve bakım sürekliliğinin sağlanmasına katkı sunmaktadır. Bu sayede hastalar, daha bütüncül ve koordineli bir sağlık hizmetinden yararlanabilmektedir (Schleyer ve ark., 2013).

3. Branş Bazında Tele-dişhekimliği Uygulama Alanları

a.Endodonti

Endodonti, tanı ve tedavi aşamalarında yüksek düzeyde uzmanlık gerektiren bir branştır ve bu alanda tele-dişhekimliği uygulamaları özellikle tanısal destek ve klinik rehberlik açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Tele-dişhekimliği, endodontide ilk kez Baker ve arkadaşlarının 2000 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, periapikal lezyonların değerlendirilmesinde geleneksel radyograflerin negatoskop üzerinden incelenmesi ile videokonferans yoluyla ekrana aktarılan görüntülerin yorumlanması arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığının gösterilmesiyle yer bulmuştur (Baker III ve ark., 2000). Benzer şekilde, internet tabanlı telekomünikasyonun kullanıldığı çalışmalarda ön dişlerin periapikal lezyonlarının uzaktan tanısının başarılı biçimde yapılabildiği bildirilmiş ve acil durumlarda müdahaleye erişimin kolaylaştığı vurgulanmıştır (Živković ve ark., 2010).

Endodontik tedavinin başarısında kritik öneme sahip olan kök kanal ağzlarının tespiti de tele-dişhekimliği kapsamında değerlendirilmiştir. Bu amaçla yapılan bir çalışmada, çekilmiş dişlerde açılan giriş kaviteleri intraoral kamera ile görüntülenmiş ve gözlemcilerden kanal lokalizasyonlarını belirlemeleri istenmiştir. Uzaktan yapılan bu değerlendirmelerde kanal ağzlarının ortalama %87 oranında doğru saptandığı bildirilmiştir (Brüllmann ve ark., 2009). Bu bulgular, tele-dişhekimliğinin, özellikle genel diş hekimlerinin endodontistlerden uzaktan rehberlik alarak tanı ve tedavi sürecini desteklemesine olanak tanıdığını göstermektedir.

b.Ortodonti

Ortodonti alanında tele-dişhekimliği uygulamaları, uzaktan konsültasyon ve tedavi takibini mümkün kılarak klinik süreçlere önemli katkılar sağlamaktadır. Hasta-hekim iletişimi ve hekimler arası iletişim

güçlenmekte; özellikle sevk imkanlarının kısıtlı olduğu durumlarda, eğitilmiş genel diş hekimleri tarafından yürütülen ve ortodonti uzmanları tarafından uzaktan denetlenen önleyici tedavilerin maloklüzyon şiddetini azaltmada etkili olabileceği bildirilmektedir (Berndt ve ark., 2008). Ayrıca tele-konsültasyonların, gereksiz ortodontik sevkleri azaltılabileceği belirtilmiştir.

Tele-izlemin hastalar açısından zaman ve maliyet tasarrufu sağladığı; video tabanlı görüşmelerin kullanım kolaylığı ve hasta memnuniyeti açısından öne çıktığı gösterilmiştir. Bu şekilde özellikle tedavi takibi ve gevşemiş braket ya da ligatürler, taşkın ark telleri, hasar görmüş aparey ve plaklar gibi minör ortodontik acil durumların yönetiminde etkin biçimde kullanılabilir. Bununla birlikte, braket yerleştirilmesi ve tel değişimi gibi doğrudan klinik müdahale gerektiren işlemlerin yüz yüze ortamda gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Caprioglio ve ark., 2020). Yani her branşta olduğu gibi tele-dişhekimliği ortodontik uygulamalarda da geleneksel ortodontik tedavilerin yerine geçen bir yöntemden ziyade, hasta-merkezli bakım anlayışını destekleyen tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

c.Periodontoloji

Periodontolojide tele-dişhekimliği, periodontal cerrahiler sonrası kontrol ve hijyen eğitimi gibi süreçlerde uzaktan izlem olanağı sunmaktadır. Yapılan çalışmalarda, intraoral görüntülerin çevrim içi olarak uzmana iletilmesiyle hastaların çoğunun tekrar kliniğe gitmesine gerek kalmadığı; web tabanlı yazılı, görsel ve videolu eğitimlerin ise plak kontrolü ve periodontal sağlık üzerinde olumlu etkiler sağladığı bildirilmiştir (Ojima ve ark., 2003).

d.Pedodonti/Koruyucu Önleyici Diş Hekimliği

Pedodontide tele-dişhekimliği, erken tanı, koruyucu yaklaşımlar ve uzaktan danışmanlık açısından giderek daha fazla kullanılmaktadır. Fotoğraf temelli uzaktan değerlendirmelerin, erken çocukluk çağı çürüklerinin ve ileri çürük lezyonlarının saptanmasında başarılı olduğu; ancak başlangıç ve orta düzey çürüklerin tanısında sınırlılıkları bulunduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte tele-dişhekimliği, çocuklarda sürme paternlerinin izlenmesi, çürük riskinin değerlendirilmesi, oral alışkanlıkların takibi ve ebeveynlere yönelik uzaktan bilgilendirme, dental fobinin aşılması ve davranış yönlendirmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Sharma ve ark., 2021). Video görüşmeler ve dijital eğitim materyalleri sayesinde gereksiz klinik ziyaretler azaltılabilmekte, ağız hijyeni alışkanlıklarının geliştirilmesi desteklenmekte ve özellikle okul temelli programlar ile dezavantajlı topluluklarda pedodontik

bakımın erişilebilirliği artırılabilir. Önleyici ve koruyucu diş hekimliği yaklaşımları, mevcut sorunları tedavi etmekten ziyade problemlerin ortaya çıkmasını engellemeyi hedefler. Tele-dişhekimliği sayesinde rutin kontrollerin daha düzenli ve ilgi çekici hale gelmesi, hastaların ağız bakımına yönelik motivasyonunu artırarak oral hastalıkların gelişme riskini azaltmaktadır. Bununla birlikte, teknolojik araçlara erişimdeki eşitsizlikler tele-dişhekimliğinin kullanımını sınırlayan faktörler arasında yer almaktadır.

e.Protetik Diş Tedavisi

Protetik diş tedavisinde tele-dişhekimliği, videokonferans yoluyla tanı ve tedavi planlamasına olanak tanıyarak özellikle uzman erişiminin sınırlı olduğu bölgelerde klinik desteği artırmaktadır. Yapılan çalışmalarda, uzman gözetiminin uzaktan sağlandığı protez uygulamalarının fonksiyonel sonuçlarının yüz yüze eğitimle benzer olduğu ve hasta memnuniyetinde iyileşme sağladığı gösterilmiştir (Keeppanasserril ve ark., 2011).

f.Ağız Diş ve Çene Cerrahisi

Ağız, çene ve yüz cerrahisinde tele-dişhekimliği; konsültasyon, preoperatif değerlendirme ve postoperatif izlem süreçlerinde destekleyici bir rol üstlenmektedir. Yapılan çalışmalarda, uzaktan gerçekleştirilen değerlendirmelerin hasta ve hekimler tarafından genel olarak kabul gördüğü; özellikle dijital görüntü aktarımı ve akıllı telefon kullanımının uzman konsültasyonunu hızlandırarak hasta bakımını iyileştirdiği bildirilmektedir. İmplant cerrahisi ile gömülü veya yarı gömülü üçüncü molar dişlerin tanı ve tedavi planlamasında tele-tıp yaklaşımlarının, yüz yüze klinik değerlendirmelerle benzer doğrulukta sonuçlar verdiği gösterilmiştir (Duka ve ark., 2009). Cerrahi sonrası iyileşmenin ve sütürlerin uzaktan izlenmesi, gereksiz klinik ziyaretleri azaltarak bakım sürekliliğini desteklemektedir. Bununla birlikte, fizik muayene gerektiren durumlarda yüz yüze değerlendirmenin gerekliliği devam etmektedir.

4. Tele-dişhekimliğinde Hasta-Hekim İlişkileri ve Sosyal Dinamikler

Tele-dişhekimliği uygulamalarında hasta-hekim ilişkisinin temelini karşılıklı güven, açık iletişim ve aydınlatılmış onam oluşturmaktadır. Uzaktan sunulan hizmetlerin etkili biçimde yürütülebilmesi için, çevrim içi konsültasyonun kapsamı, yararları ve sınırlılıkları konusunda hastanın yeterince bilgilendirilmesi ve rızasının alınması gerekmektedir (Daniel & Kumar, 2014). Bu nedenle tele-dişhekimliği çoğunlukla, hasta ile hekim

arasında daha önce kurulmuş bir yüz yüze ilişkinin tamamlayıcısı olarak uygulanmakta, uygun durumlarda aynı hekimin hem yüz yüze hem de uzaktan bakım sunması önerilmektedir.

Diş hekiminin temel sorumlulukları, sanal konsültasyonda elde edilen bilginin tanı için yeterliliğini değerlendirmek, uygun tedavi planını oluşturmak, koruyucu ve temel ağız sağlığı hizmetlerine yönlendirmek ve gerektiğinde sevk ile takip süreçlerini hızlandırmaktır (Darley ve ark., 2022). Bu süreçte hastanın beklentileri, olası riskler ve tedaviye ilişkin belirsizlikler dikkate alınmalı, hasta verilerinin gizliliği ve güvenliği titizlikle korunmalıdır. Hastaların kişisel sağlık bilgilerinin kimler tarafından ve hangi koşullarda kullanılabileceği konusunda bilgilendirilmesi, güven ilişkisinin sürdürülebilirliği açısından önemlidir.

Literatürde, tele-dişhekimliğinin özellikle dezavantajlı ve kırsal bölgelerde hizmete erişimi artırdığı, erken tanı ve müdahaleyi kolaylaştırdığı bildirilmektedir (Al-Buhaisi ve ark., 2024). Hastalar açısından daha az seyahat ihtiyacı, kısa bekleme süreleri ve maliyet avantajı sağlarken, hekimler için hasta takibinin elektronik ortamda sürdürülmesine ve klinik iş yükünün daha verimli yönetilmesine olanak tanımaktadır.

5. Tele-dişhekimliğinde Etik ve Hukuki Çerçeve: Sınırlılıklar ve Sorumluluklar

Tele-dişhekimliği uygulamalarında etik ve hukuki değerlendirmenin merkezinde, hasta verilerinin gizliliği ve hizmetin güvenli sunumu yer almaktadır. Dental ve tıbbi bilgilerin elektronik ortamda iletilmesi ve dijital sistemlerde saklanması; yetkisiz erişim, veri ihlali ve mahremiyet kaybı risklerini beraberinde getirmektedir. Bu nedenle hastalar, tüm teknik önlemler alınsa dahi elektronik veri aktarımına özgü riskler konusunda açık biçimde bilgilendirilmelidir.

Anayasa'nın 17. maddesi ve İnsan Hakları ve Biyotıp Sözleşmesi'nin 5. maddesi gereğince, tele-dişhekimliği dahil tüm tıbbi uygulamalarda bilgilendirilmiş onam alınması zorunludur. Bu onam sürecinde, uzaktan sunulan hizmetin kapsamı, sınırlılıkları ve teknolojik aksaklıklara bağlı olarak ortaya çıkabilecek tanı ve tedavi riskleri hastaya açık biçimde aktarılmalıdır (Schrimshaw ve ark., 2011).

Tele-dişhekimliğinin önemli sınırlılıklarından biri, dijital olarak aktarılan verilerin yüz yüze klinik muayene ile elde edilen bulgular kadar ayrıntılı ve güvenilir olmayabilmesidir. Ağız içi fotoğraflar, videolar ve diğer

dijital kayıtlar tanısal açıdan değerli bilgiler sunsa da, hekimin doğrudan gerçekleştirdiği klinik muayenenin yerini tam olarak alamamakta; palpasyon, perküsyon, canlılık testleri ve üç boyutlu değerlendirme gerektiren durumlarda gözden kaçabilecek bulgular söz konusu olabilmektedir. Bu durum, uzaktan sunulan hizmetlerin yüz yüze bakım ile eşdeğerliği konusunda etik ve hukuki tartışmaları da beraberinde getirmektedir.

Fizik muayene gerektiren durumlar, teknik altyapı yetersizlikleri ve veri güvenliğine ilişkin kaygılar tele-dişhekimliğinin başlıca sınırlılıkları arasında yer almaktadır. Uzaktan sunulan hizmetlerde tedavi standartlarının nasıl tanımlanacağı ve olası bir malpraktis durumunda sorumluluğun hangi ölçüde paylaşılacağı konularında da hukuki belirsizlikler devam etmektedir. Bu nedenle tele-dişhekimliğinin güvenli ve etkili biçimde uygulanabilmesi için uygun rehberlerin geliştirilmesi, teknik altyapının güçlendirilmesi ve hekimlerin teknolojiye uyumunun artırılması büyük önem taşımaktadır.

6. Öneriler ve Gelecek Perspektifleri

Tele-dişhekimliğinin gelişimi, dijital sağlık teknolojilerindeki ilerlemelerle yakından ilişkilidir. Klinik uygulamalarda uzaktan hizmetlerin daha güvenli ve tutarlı biçimde sunulabilmesi için, standardize edilmiş protokollerin geliştirilmesi ve kanıta dayalı uygulamaların artırılması gerekmektedir (Talla ve ark., 2023). Özellikle çevrim içi konsültasyonların hangi durumlarda yeterli olabileceği ve hangi olgularda mutlaka yüz yüze değerlendirme gerektirdiğinin net biçimde tanımlanması, uygulama sınırlarını belirlemek açısından önem taşımaktadır.

Teknik altyapının güçlendirilmesi, güvenli veri iletimi sağlayan yazılım ve platformların yaygınlaştırılması, tele-dişhekimliğinin etkinliğini artırabilecek temel adımlar arasında yer almaktadır. Bu kapsamda, yapay zeka destekli karar destek sistemleri, gelişmiş görüntüleme teknolojileri ve hasta izlem yazılımlarının klinik süreçlere entegrasyonu, uzaktan değerlendirmelerin doğruluğunu artırma potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda, dijital okuryazarlığı artırmaya yönelik eğitim programlarının hem diş hekimleri hem de hastalar için yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Tele-dişhekimliği uygulamalarının temel amacı, coğrafi ve sosyoekonomik engeller nedeniyle uzman desteğine erişimi sınırlı olan bireyler için ağız ve diş sağlığı hizmetlerine ulaşımı kolaylaştırmaktır. Ancak uygulamaların günümüzde daha çok Avustralya, Birleşik Krallık ve Kanada gibi gelişmiş ülkelerde ve sağlık okuryazarlığı yüksek toplumlarda yaygın

olduğu görülmektedir (Estai ve ark., 2018). Bu durum, tele-dişhekimliğinin eşitsizlikleri azaltma potansiyeline rağmen, mevcut sosyoekonomik farkların daha da belirginleşmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle, kırsal bölgelerde görev yapan genel diş hekimlerinin desteklenmesi, toplum genelinde farkındalığın artırılması ve lisans eğitimlerinde tele-dişhekimliğine daha fazla yer verilmesi, bu uygulamaların daha kapsayıcı ve etkin biçimde kullanılmasına katkı sağlayacaktır.

Gelecekte tele-dişhekimliği uygulamalarının, yüz yüze bakım ile entegre biçimde yürütüldüğü hibrit modellerin daha yaygın hale gelmesi beklenmektedir. Bu modeller, özellikle kronik hastalıkların takibi, postoperatif izlem ve koruyucu diş hekimliği uygulamalarında klinik verimliliği artırabilir. Ayrıca kırsal ve dezavantajlı bölgelerde hizmete erişimi artırmaya yönelik olarak mobil sağlık çözümleri ve bölgesel tele-sağlık ağlarının geliştirilmesi önemli bir potansiyel sunmaktadır.

SONUÇ

Dijital teknolojiler, diş hekimliğinde tanı, konsültasyon ve tedavi takibi süreçlerinin mekândan bağımsız biçimde yürütülmesine olanak sağlamıştır. Görüntü, video ve elektronik kayıtların hızlı paylaşımı sayesinde tele-dişhekimliği; klinik karar süreçlerini destekleyen, hasta takibini kolaylaştıran ve koruyucu yaklaşımları güçlendiren bir araç haline gelmiştir. Literatürde son yıllarda artan yayın sayısı, bu uygulamaların giderek daha fazla ilgi gördüğünü ve klinik pratiğe entegrasyon potansiyelinin yükseldiğini göstermektedir.

Uzaktan değerlendirme ve izlem yaklaşımları, özellikle yüz yüze hizmete erişimin sınırlı olduğu durumlarda bakım sürekliliğine katkı sağlamakta ve sağlık kaynaklarının daha etkin kullanılmasına yardımcı olmaktadır. Bu uygulamalar doğru endikasyonlarda kullanıldığında, diş hekimliğinde erişilebilirlik ve bakım sürekliliğini yeniden tanımlama potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

- Abbey, L. M., & Zimmerman, J. L. (2012). *Dental informatics: Integrating technology into the dental environment*. Springer Science & Business Media.
- Al-Buhaisi, D., Karami, S., & Gomaa, N. (2024). The role of teledentistry in improving oral health outcomes and access to dental care: An umbrella review. *Journal of Oral Rehabilitation*, 51(11), 2375–2389.
- Baker III, W. P., Loushine, R. J., West, L. A., Kudryk, L. V., & Zadinsky, J. R. (2000). Interpretation of artificial and in vivo periapical bone lesions comparing conventional viewing versus a video conferencing system. *Journal of Endodontics*, 26(1), 39–41.
- Berndt, J., Leone, P., & King, G. (2008). Using teledentistry to provide interceptive orthodontic services to disadvantaged children. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(5), 700–706.
- Bhamra, I. B., Gallagher, J. E., & Patel, R. (2024). Telehealth technologies in care homes: A gap for dentistry? *Journal of Public Health*, 46(1), e106–e135.
- Birur, P. N., Sunny, S. P., Jena, S., & Kandasarma, U. (2015). Mobile health application for remote oral cancer surveillance. *The Journal of the American Dental Association*, 146(12), 886–894.
- Brüllmann, D. D., Alvarez, P., & Willershausen, B. (2009). Recognition of root canal orifices in video sequences as a future support system during endodontic treatment. *Journal of Endodontics*, 35(10), 1400–1403.
- Caprioglio, A., Pizzetti, G. B., Zecca, P. A., Fastuca, R., Maino, G., & Nanda, R. (2020). Management of orthodontic emergencies during 2019-NCOV. *Progress in Orthodontics*, 21(1), 10.
- Cardozo, I., Silva, V. C., Perdoncini, N. N., & Torres-Pereira, C. C. (2022). Telehealth in oral medicine: Report of an experience from public health care in a southern Brazilian state. *Brazilian Oral Research*, 36, e031.
- Carrard, V. C., Roxo Gonçalves, M., Rodriguez Strey, J., Pilz, C., Martins, M. A. T., & Martins, M. D. (2018). Telediagnosis of oral lesions in primary care: The EstomatoNet Program. *Oral Diseases*, 24(6), 1012–1019.
- Clark, G. T. (2000). Teledentistry: What is it now, and what will it be tomorrow? *Journal of the California Dental Association*, 28(2), 121–126.
- Cook, J., Austen, G., & Stephens, C. (2000). Videoconferencing: What are the benefits for dental practice? *British Dental Journal*, 188(2), 67–70.
- da Costa, C. B., da Silva Peralta, F., Maeyama, M. A., Castro, R. G., & de Mello, A. L. S. F. (2021). Teledentistry system in dental health public

- services: A mixed-methods intervention study. *International Journal of Medical Informatics*, 153, 104533.
- Daniel, S. J., & Kumar, S. (2014). Teledentistry: A key component in access to care. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 14, 201–208.
- Darley, S., Coulson, T., Peek, N., & Moschogianis, S. (2022). Understanding how the design and implementation of online consultations affect primary care quality: Systematic review of evidence with recommendations for designers, providers, and researchers. *Journal of Medical Internet Research*, 24(10), e37436.
- Duka, M., Mihailović, B., Miladinović, M., Janković, A., & Vujičić, B. (2009). Evaluation of telemedicine systems for impacted third molars diagnosis. *Vojnosanitetski Pregled*, 66(12), 985–991.
- Estai, M., Winters, J., Kanagasingam, Y., Shiikha, J., Checker, H., Kruger, E., & Tennant, M. (2016). Validity and reliability of remote dental screening by different oral health professionals using a store-and-forward telehealth model. *British Dental Journal*, 221(7), 411–414.
- Estai, M., Kanagasingam, Y., Tennant, M., & Bunt, S. (2018). A systematic review of the research evidence for the benefits of teledentistry. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 24(3), 147–156.
- Giraudeau, N., Bauer, M., Tramini, P., Inquimbert, C., & Toupenay, S. (2022). A national teledentistry study on the knowledge, attitudes, training and practices of private dentists. *Digital Health*, 8, 20552076221085069.
- Gleeson, H., & Kalsi, A. (2022). Remote clinical consultations in restorative dentistry—A survey. *Journal of Dentistry*, 117, 103914.
- Gryglewska, B., Perera, I., Klimek, E., Fedyk-Łukasik, M., Piotrowicz, K., Mocanu, I., & Muntianu, L. (2022). Teledentistry and oral health in older adults—Aspects for implementation of the “Patient centric solution for smart and sustainable healthcare (ACESO)” project. *Folia Medica Cracoviensia*, 62(2), 5–16.
- Howell, S. E., & Fukuoka, B. (2022). Teledentistry for patient-centered screening and assessment. *Dental Clinics of North America*, 66(2), 195–208.
- Inquimbert, C., Hirata-Tsuchiya, S., Yoshii, S., Molinari, N., Nogue, E., Roy, C., & Morotomi, T. (2021). Concordance study between regular face-to-face dental diagnosis and dental telediagnosis using fluorescence. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 27(8), 509–517.
- Johnson, L., Callaghan, C., Balasubramanian, M., Haq, H., & Spallek, H. (2019). Cost comparison of an on-premise IT solution with a cloud-based solution for electronic health records in a dental school clinic. *Journal of Dental Education*, 83(8), 895–903.

- Keeppanasserril, A., Mathew, A., & Muddappa, S. C. (2011). Effectiveness of tele-guided interceptive prosthodontic treatment in rural India: A comparative pilot study. *Online Journal of Public Health Informatics*, 3(2), e61013.
- Mardani, M., Cheraghian, S., Naeeni, S. K., & Zarifsanaiey, N. (2020). Effectiveness of virtual patients in teaching clinical decision-making skills to dental students. *Journal of Dental Education*, 84(5), 615–623.
- Migas, K., Kozłowski, R., Sierocka, A., & Marczak, M. (2022). Evaluation of tele-dentistry and face-to-face appointments during the provision of dental services in Poland. *Journal of Personalized Medicine*, 12(10), 1640.
- Mühlemann, S., Sandrini, G., Ioannidis, A., Jung, R. E., & Hämmerle, C. H. F. (2019). The use of digital technologies in dental practices in Switzerland: A cross-sectional survey. *Swiss Dental Journal SSO: Science and Clinical Topics*, 129(9), 700–707.
- Nascimento da Silva Mulder, J., & Ramos Pinto, M. (2024). Teledentistry applied to health and education outcomes: Evidence gap map. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e60590.
- Ojima, M., Hanioka, T., Kuboniwa, M., Nagata, H., & Shizukuishi, S. (2003). Development of web-based intervention system for periodontal health: A pilot study in the workplace. *Medical Informatics and the Internet in Medicine*, 28(4), 291–298.
- Rocca, M. A., Kudryk, V. L., Pajak, J. C., & Morris, T. (1999). The evolution of a teledentistry system within the Department of Defense. *Proceedings of the AMIA Symposium*, 921–924.
- Schleyer, T., Song, M., Gilbert, G. H., & Rindal, D. B. (2013). Electronic dental record use and clinical information management patterns among practitioner-investigators in the Dental Practice-Based Research Network. *The Journal of the American Dental Association*, 144(1), 49–58.
- Schrimshaw, E. W., Siegel, K., Wolfson, N. H., Mitchell, D. A., & Kunzel, C. (2011). Insurance-related barriers to accessing dental care among African American adults with oral health symptoms in Harlem, New York City. *American Journal of Public Health*, 101(8), 1420–1428.
- Sharma, H., Suprabha, B. S., & Rao, A. (2021). Teledentistry and its applications in paediatric dentistry: A literature review. *Pediatric Dental Journal*, 31(3), 203–215.
- Strunga, M., Urban, R., Surovková, J., & Thurzo, A. (2023). Artificial intelligence systems assisting in the assessment of the course and retention of orthodontic treatment. *Healthcare*, 11(6), 826.

- Talla, P. K., Inquimbert, C., Dawson, A., Zidarov, D., Bergeron, F., & Chandad, F. (2023). Barriers and enablers to implementing teledentistry from the perspective of dental health care professionals: Protocol for a systematic quantitative, qualitative, and mixed studies review. *JMIR Research Protocols*, 12(1), e44218.
- Torres-Pereira, C. C., Morosini, I. A. C., Possebon, R. S., Giovanini, A. F., Bortoluzzi, M. C., & Leão, J. C. (2013). Teledentistry: Distant diagnosis of oral disease using e-mails. *Telemedicine and e-Health*, 19(2), 117–121.
- Varkey, I. M., Ghule, K. D., Mathew, R., Desai, J., Gomes, S., Mudaliar, A., Bhor, M., & Tungare, K. (2022). Assessment of attitudes and practices regarding oral healthcare during the COVID-19 pandemic among the parents of children aged 4–7 years. *Dental and Medical Problems*, 59(3), 365–372.
- Živković, D., Tošić, G., Mihailović, B., Miladinović, M., & Vujičić, B. (2010). Diagnosis of periapical lesions of the front teeth using the internet. *PONS – Medicinski časopis*, 7(4), 138–143.

DİŞ HEKİMLİĞİNDE GÜNCEL DİJİTAL ÖLÇÜ SİSTEMLERİ

Yusuf Kamil ŞEKER

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0004-1668-3114
- ❖ Mail: yusufkamil95@gmail.com

Ayşe Yekta ŞEKER

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0005-9138-0671
- ❖ Mail: yektainecik14@gmail.com

Emine Begüm BÜYÜKERKMEN

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-5403-667X
- ❖ Mail: bbuyukerkmen@erbakan.edu.tr

GİRİŞ

Son yıllarda diş hekimliği alanında yaşanan en dikkat çekici gelişme dijital teknolojilerin uygulama alanının genişlemesi olmuş, bu genişleme tanısal ve restoratif uygulama süreçlerini çığır açıcı biçimde değiştirmiştir. Özellikle ağız içi tarayıcılar (IOS), dental ve gingival dokuların hastanın ağız ortamından doğrudan, hızlı ve yüksek hassasiyet ve doğrulukla kaydedilmesini mümkün kılarak geleneksel ölçü yöntemlerine güçlü bir alternatif oluşturmuştur. Bu sistemler; protetik diş hekimliği başta olmak üzere; ortodonti, implantoloji, periodontoloji, endodonti ve pedodonti gibi farklı disiplinlerde kullanılmakta olup, hasta konforunun artırılması, klinik işlem süresinin kısaltılması ve enfeksiyon kontrolünün iyileştirilmesi gibi önemli katkılar sağlamaktadır (Cervino, Fiorillo, Arzukanyan, Spagnuolo, & Cicciù, 2019; Lo Russo et al., 2019).

Bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD-CAM) teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte klinisyenler, konvansiyonel döküm yöntemleriyle üretimi mümkün olmayan zirkonya ve alümina gibi ileri seramik materyaller kullanılarak restorasyonlar hazırlayabilmektedir. Bunun yanı sıra, üç boyutlu baskı teknolojilerinin klinik uygulamalara entegre edilmesi ve hasta verilerinin dijital ortamda laboratuvarlara hızlı ve güvenli şekilde iletilmesi, fiziksel model kullanımına olan gereksinimi azaltmıştır. Bu dijital dönüşüm sayesinde model taşınması sırasında oluşabilecek hasar riski ortadan kalkmış, aynı zamanda alçı modellerin depolanma ihtiyacı nedeniyle ortaya çıkan fiziki alan işgali de problem olmaktan çıkmıştır (Beuer, Schweiger, & Edelhoff, 2008; Mangano, Shibli, & Fortin, 2016).

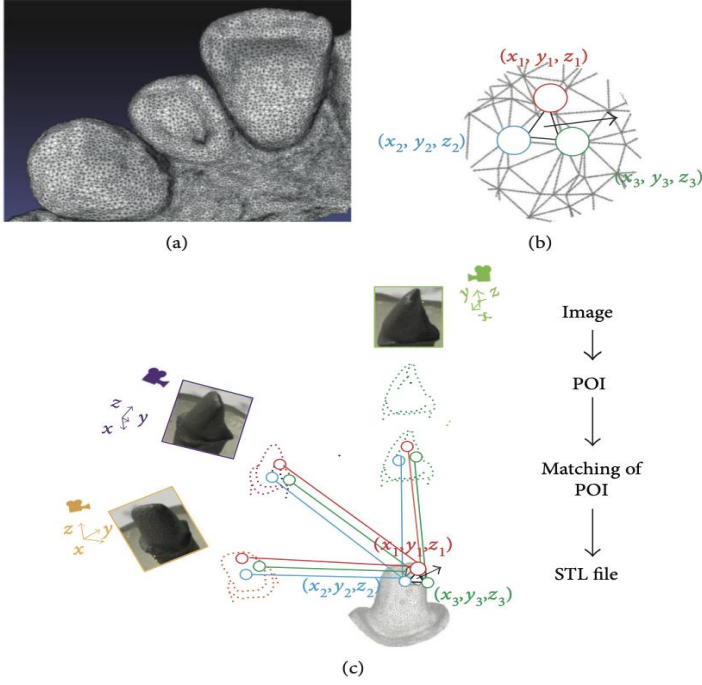
Dijital diş hekimliği, özellikle dijital modeller, üç boyutlu tanısal bilgilere hızlı erişim sağlanması ve dijital verilerin uzmanlar arasında iletişim amacıyla kolaylıkla aktarılabilmesi gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır. Ağız içi tarayıcılar, protezlerin üretim süreci açısından konvansiyonel yöntemlere kıyasla birçok üstünlüğe sahiptir. Konvansiyonel yöntemlerde karşılaşılan ölçü materyalinde deformasyon, alçının genleşmesi, modelin artikülatöre yerleştirilmesi sırasında oluşan sapmalar ve döküm büzülmesi gibi üretim hatalarının ortadan kaldırılması mümkün olmaktadır (Kravitz, Groth, Jones, Graham, & Redmond, 2014; Ragain, Grosko, Raj, Ryan, & Johnston, 2000; Schaefer, Schmidt, Goebel, & Kuepper, 2012a, 2012b).

Ağız içi tarayıcıların konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) ve üç boyutlu yüz taraması gibi ileri görüntüleme yöntemleriyle entegrasyonu, bu sistemlerin klinik kullanım alanını önemli ölçüde genişletmiştir. Dijital bir

ölçü almanın ötesinde, IOS'lar günümüzde kapsamlı tanısal değerlendirmeler, sanal tedavi planlaması, cerrahi simülasyonlar ve tedavi sonrası takip süreçlerine katkı sağlamaktadır. Bu çok yönlü etkileşim; sert ve yumuşak dokuların daha doğru değerlendirilmesine, implantların daha hassas konumlandırılmasına ve bireye özgü protez tasarımlarının yapılmasına olanak tanımaktadır. Ortodonti ve maksillofasiyal cerrahi alanlarında bu entegrasyon; hava yolu analizleri, yüz simetrisinin değerlendirilmesi ve kraniyofasiyal anomalilerin yönetimine yönelik dijital iş akışlarını desteklemektedir. Dijital ekosistemlerin gelişimini sürdürmesiyle birlikte, IOS'ların tanı, planlama ve iletişimi tek bir platformda birleştirerek tam olarak bütünleşmiş bir dental tedavi yaklaşımının merkezinde yer alması beklenmektedir. Bu bütünleşik yapı, klinik hassasiyetin artırılmasına ve disiplinler arası koordinasyonun iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır (Elbanna et al., 2025).

TARAMA TEKNOLOJİLERİ

Ağız içi tarayıcılar, bir donanım (kamera), bir bilgisayar ve bir yazılımdan oluşan tıbbi bir cihazdır. IOS'un temel amacı, bir nesnenin üç boyutlu geometrisini yüksek hassasiyetle kaydetmektir. En yaygın kullanılan dijital veri formatı, açık kaynaklı STL (Standard Mozaikleme Dili) formatıdır. Bu format, endüstriyel alanların birçoğunda hâlihazırda kullanılmakta olup, her biri üç nokta ve bir yüzey ile tanımlanan üçgen yüzeylerin ardışık dizisini ifade etmektedir. Bununla birlikte, dental dokuların renk, şeffaflık veya doku özelliklerini de kaydedebilmek amacıyla PLY (Poligon Dosya Formatı) gibi farklı dosya formatları geliştirilmiştir. IOS'larda kullanılan görüntüleme teknolojisinden bağımsız olarak, tüm tarayıcılar ışık projeksiyonu gerektirmekte; bu ışık tekli görüntüler veya video şeklinde kaydedilmekte ve yazılım tarafından ilgi noktalarının (points of interest, POI) tanınmasının ardından birleştirilmektedir. Her bir noktanın ilk iki koordinatı (x ve y) görüntü üzerinde belirlenmekte, üçüncü koordinat (z) ise her kameranın kullandığı nesneye olan mesafe hesaplama teknolojisine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu veri işleme akışı Şekil 1.'de görsel olarak açıklanmıştır (Richert et al., 2017).



Şekil 1. Ağız içi tarayıcı ile bir STL dosyasının oluşturulması. (a) Bir STL dosyasına ait mesh görüntüsü. (b) STL dosyasındaki her bir üçgen, koordinat sistemine göre tanımlanan üç nokta (x , y ve z) ile bir yüzeyden oluşmaktadır. (c) Rekonstrüksiyon teknolojisi (Richert et al., 2017)

Triangulasyon

Ölçüsü alınacak yüzeyin bir noktasının koordinatsal konumunun, iki farklı perspektif noktasının konumları ve bu noktalara ait açılar bilindiğinde hesaplanabilmesine dayanan bir prensiptir. Bu iki bakış noktası, iki ayrı alıcı tarafından oluşturulabileceği gibi, prizma kullanan tek bir alıcı aracılığıyla ya da farklı zamanlarda elde edilen iki ayrı görüntünün kaydedilmesiyle de elde edilebilmektedir (Richert et al., 2017).

Konfokal Mikroskopi

Konfokal görüntüleme, seçilen derinliklerden odak içi ve odak dışı görüntülerin elde edilmesine dayanan bir tekniktir. Bu teknoloji, görüntüdeki keskinlik alanını tespit ederek, merceğin odak uzaklığı ile ilişkili olan nesneye olan mesafenin belirlenmesine olanak sağlar. Bir dış, farklı odak ve diyafram açıklığı değerlerinde ve nesnenin çevresinden farklı açılardan alınan ardışık görüntüler kullanılarak yeniden yapılandırılabilir (Taneva, Kusnoto, &

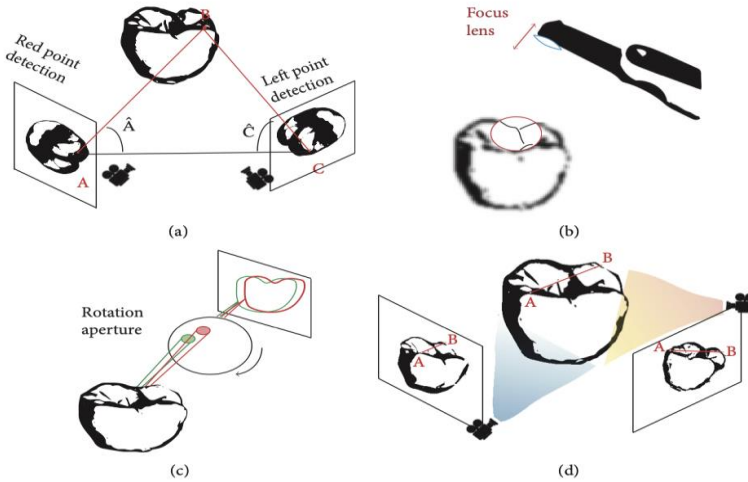
Evans, 2015). Keskinlik alanı, operatörün el becerisi ile doğrudan ilişkili olup, oluşabilecek hareket bulanıklığı bu alanı olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Giménez, Özcan, Martínez-Rus, & Pradies, 2015). Ayrıca bu teknik, büyük optik bileşenler gerektirdiğinden, klinik uygulamalarda bazı kullanım zorluklarına yol açabilmektedir (Richert et al., 2017).

Aws (Active Wavefront Sampling)

Aws, bir kamera ve optik eksen dışı bir diyafram modülü gerektiren bir yüzey görüntüleme tekniğidir. Bu modül, optik eksen etrafında dairesel bir yörüngede hareket ederek ilgi noktalarının dönmesine neden olur. Her bir noktadan elde edilen desen temel alınarak mesafe ve derinlik bilgileri türetilmekte ve hesaplanmaktadır (Logozzo, Zanetti, Franceschini, Kilpelä, & Mäkynen, 2014).

Stereofotogrametri

Stereofotogrametri, tüm koordinatların (x, y ve z) yalnızca görüntülerinin algoritmik analizi yoluyla tahmin edilmesine dayanan bir yöntemdir (Pradies, Ferreiroa, Özcan, Giménez, & Martínez-Rus, 2014). Bu yaklaşım, aktif ışık projeksiyonu ve donanım bileşenleri yerine pasif ışık kullanımı ve yazılım temelli analizlere dayandığından, kullanılan kamera nispeten daha küçük boyutludur, kullanım kolaylığı sağlar ve üretim maliyeti daha düşüktür (Richert et al., 2017).



Şekil 2. Nesneye olan mesafenin belirlenmesi. (a) Triangülasyon: BC mesafesi, $BC = AC \times \sin \hat{A} / (\sin \hat{A} + \sin \hat{C})$ formülüne göre hesaplanabilmektedir. (b) Konfokal sistem: Nesneye olan mesafe, merceğin odak uzaklığına bağlı olarak belirlenmektedir. (c)

AWS: Optik eksen etrafında dairesel bir yol izleyerek hareket eden eksen dışı modüle sahip kamera kullanılır ve bu hareket ilgi noktalarının dönmesine neden olur. (d) Stereofotogrametri: Çok sayıda görüntünün algoritmik olarak analiz edilmesiyle dosya üretimini sağlayan bir teknolojidir. (Richert et al., 2017)

İMLANT ÜSTÜ DİJİTAL ÖLÇÜDE GÜNCEL YÖNTEMLER

Üç boyutlu görüntüleme, bilgisayar destekli implant cerrahisi ve bilgisayar destekli tasarım-bilgisayar destekli üretim (CAD-CAM) ile restorasyon üretimi gibi gelişmeler, daha verimli iş akışlarının oluşturulmasına ve doğruluğun artırılmasına olanak sağlamıştır. Özellikle dijital ölçüler, klinisyenlerin hastalara daha hızlı ve daha konforlu bir tedavi deneyimi sunmasına imkân tanımaktadır. İmplant protetiğinde en kritik aşamalardan biri, doğru ve eksiksiz bir tam ark dijital ölçünün elde edilmesi ve pasif uyumlu bir protezin üretiminin sağlanmasıdır; zira uyumsuz bir protez, bir dizi teknik ve biyolojik komplikasyona yol açabilmektedir.

Bu amaçla birçok konvansiyonel ve dijital teknik tanımlanmıştır. Dijital teknikler arasında fotogrametri, yüksek doğruluğu nedeniyle giderek daha fazla ilgi görmektedir (Negreiros, Sun, et al., 2025; Pozzi, Arcuri, et al., 2025). Fotogrametrinin klinik uygulama potansiyeli, 1990'lı yılların sonu ve 2000'li yılların başlarında implant literatüründe ilk kez tanımlanmış; in vitro çalışmalar, fotogrametrik implant ölçülerinin konvansiyonel tekniklerle karşılaştırılabilir doğruluk sağlayabildiğini göstermiştir (Jemt, Bäck, & Petersson, 1999; Ortorp, Jemt, & Back, 2005). Ancak, teknolojik gelişmelerin yetersizliği nedeniyle bu yaklaşım başlangıçta sınırlı kullanım alanına sahip olmuştur.

İlerleyen yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte, klinik olgu sunumları fotogrametrinin tam ark implant protezlerinde birden fazla implant pozisyonunu yüksek hassasiyetle kaydedebildiğini ortaya koymuş ve bu yöntemin klinik uygulamalardaki potansiyelini güçlendirmiştir (Molinero-Mourelle, Lam, Cascos-Sánchez, Azevedo, & Gómez-Polo, 2019; Peñarrocha-Oltra, Agustín-Panadero, Pradies, Gomar-Vercher, & Peñarrocha-Diogo, 2017). Aynı dönemde, ağız içi tarayıcılar da etkinliği ve hasta tarafından kabul edilebilirliği nedeniyle implant ölçülerinde giderek daha popüler hale gelmiştir. Bununla birlikte, IOS kullanımında özellikle tutarlılık açısından değişken sonuçlar elde edildiği ve bazı zorlukların bulunduğu bildirilmiştir (Floriani et al., 2023).

IOS'lardan farklı olarak, yüzey topografyasını yeniden oluşturmak amacıyla çok sayıda yüzey görüntüsünü birleştiren (stitching) bir yaklaşım kullanan sistemlerin aksine, fotogrametri sistemleri özel taranabilir parçalardaki bilinen referans noktalarını tanımlamakta ve birden fazla fotoğraftan triangülasyon yöntemiyle implantların üç boyutlu konumlarını doğrudan belirlemektedir. Bu sayede birleştirme hataları ortadan kaldırılmakta ve yüksek doğruluk korunarak ölçüdeki distorsiyon en aza indirilmektedir (Negreiros, Akhondi, Quiles, & Hamilton, 2025).

Fotogrametri , klinik uygulamalarda kullanılabilirliğinin artmasıyla birlikte, çağdaş dijital implant iş akışlarının önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu yaklaşım, klinik süreçlerin daha etkin planlanmasına olanak tanımakta ve pasif uyumun daha öngörülebilir biçimde elde edilmesini sağlayarak tam ark implant rehabilitasyonlarında belirgin avantajlar sunmaktadır (Pozzi et al., 2023).

Güncel intraoral (örn: Aoralscan Elite IPG, Shining 3D, Çin) ve ekstraoral (örn: ICam4D, iMetric, İsviçre) fotogrametri cihazları, implantlara bağlanan özel scan body'ler aracılığıyla implantların uzaysal ilişkilerini hassas biçimde kaydetmektedir. Her iki yaklaşımda da elde edilen görüntüler, işaretleyici noktaların eşleştirilmesi ve triangülasyon algoritmaları kullanılarak üç boyutlu koordinatların çözümlenmesi yoluyla işlenmektedir. Bunun sonucunda, implant pozisyonlarını temsil eden dijital bir 3 boyutlu kayıt elde edilmekte ve bu kayıt daha sonra protez tasarımı amacıyla yumuşak dokuların ayrı bir ağız içi tarama verisiyle birleştirilebilmektedir. Özellikle ekstraoral fotogrametri sistemleri, implantlara ait tüm referans noktalarını eş zamanlı olarak kaydederek, konvansiyonel IOS taramalarında görülen ardışık taramaların birleştirilmesine (stitching) bağlı kümülatif hatanın önüne geçmektedir.



Şekil 3. Ekstraoral fotogrametri cihazı (ICam4D, iMetric, İsviçre)



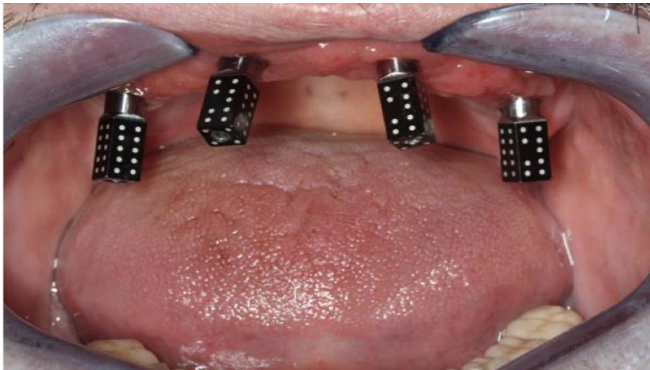
Şekil 4. İntraoral fotogrametri cihazı (Aoralscan Elite IPG, Shining 3D, Çin)

Bu özellikleri nedeniyle, fotogrametri sistemlerinin en yaygın kullanım alanı tam ark implant destekli sabit protezlerin üretimidir. Fotogrametri kullanılarak tam ark implant destekli bir protezin hazırlanması, özellikle immediat yükleme protokolünde olmakla birlikte, gecikmiş yüklemede de gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum özellikle hemen yükleme protokolleri açısından önem taşımaktadır; zira hemen yükleme için uygun koşullar sağlansa dahi, doğru ölçünün elde edilmesi önemli zorluklar içermektedir. Ağız içi tarayıcılar cerrahi alanlarda kanamaya bağlı olarak sınırlı performans gösterebilmekte; açık flepler ile kan ve tükürük varlığı, elastomerik materyallerle ölçülerin alınmasını da zorlaştırmaktadır (Negreiros, Akhondi, et al., 2025).

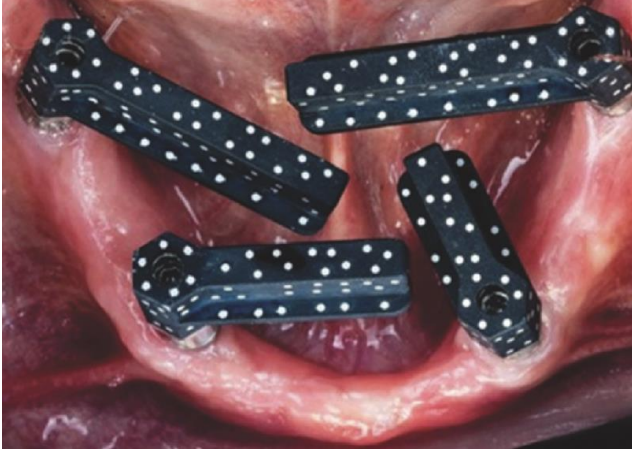
Fotogrametri ise klinisyen ve hastaya hareket serbestliği sağlarken, kan, tükürük veya diğer cerrahi artıkların varlığından etkilenmeden ölçüm hassasiyetini koruyarak bu engelleri aşmaktadır (Peñarrocha-Diago et al., 2017; Peñarrocha-Oltra, Agustín-Panadero, Pradíes, Gomar-Vercher, & Peñarrocha-Diago, 2017; Sánchez-Monescillo, Sánchez-Turrión, Vellon-Domarco, Salinas-Goodier, & Prados-Frutos, 2016). İmplant yerleştirilmesi ve primer stabilitenin doğrulanmasının ardından, multi-unit abutmentler implantlara vidalanır, daha sonra, ilgili fotogrametri sistemine özgü olarak tasarlanmış tarama gövdeleri bu multi-unit abutmentlere bağlanır ve fotogrametri sistemi kullanılarak abutment platformlarının üç boyutlu uzaysal konumları kaydedilir. Gerek gecikmiş gerekse hemen yükleme protokollerinde, yumuşak dokuya ait veriler, abutmentler ve oklüzal kayıt

alınarak ağız içi tarayıcı ile ayrı bir tarama şeklinde elde edilir. Elde edilen bu veri setleri tasarım yazılımlarında birleştirilerek geçici veya nihai tam ark implant destekli sabit protezin tasarımı yapılır. Hemen yükleme uygulamalarında geçici protez 24-48 saat içerisinde üretilip teslim edilebilmektedir (Negreiros, Akhondi, et al., 2025).

Fotogrametrinin kullanımı yalnızca tam ark restorasyonlarla sınırlı olmayıp, genellikle iki veya üç implant tarafından desteklenen sabit bölümlü protezlerde de uygulanabilmektedir (Penarrocha-Oltra, Agustin-Panadero, Bagan, Gimenez, & Penarrocha, 2014). İmplant destekli bu tip sabit bölümlü protezlerde, protezin implant seviyesinde mi yoksa abutment seviyesinde mi üretildiğinin ayırt edilmesi önem taşımaktadır. Abutment seviyesinde yürütülen iş akışlarında çoğunlukla multi-unit abutmentlar kullanılmakla birlikte, iki veya üç üyeli implant destekli sabit bölümlü protezlerde bu abutmentların kullanımına ilişkin literatürde net bir görüş birliği bulunmamaktadır. Buna karşın, tam ark vakalarda multi-unit abutmentların kullanımı yaygın biçimde önerilmekte olup, tüm fotogrametri sistemleri bu abutmentlarla uyumlu scan bodyler sunmaktadır (Tallarico et al., 2018). Ara abutment kullanılmaksızın doğrudan implant seviyesinde taramaya olanak tanıyan doğrudan implant seviyesi fotogrametri uygulamaları ise günümüzde yalnızca sınırlı sayıda firma tarafından sağlanabilmektedir. Multi-unit abutmentlar, implant sistemleri arasında büyük ölçüde standartlaşmışken; bireysel implant bağlantıları, aynı üreticiye ait sistemler arasında dahi farklılık gösterebilmektedir. Bununla birlikte, doğrudan implant seviyesinde uygulanan fotogrametri yönteminin klinik bir olgu sunumunda kabul edilebilir nitelikte bir FPD üretimine olanak sağladığı gösterilmiştir (Penarrocha-Oltra et al., 2014).



Şekil 5. Ekstraoral fotogrametri scan bodylerinin ağız içi görüntüsü (Badur S & Sarıdağ S, 2022)



Şekil 6. İntraoral fotogrametri scanbodylerinin ağız içi görüntüsü (Eldabe, Adel-Khattab, & Botros, 2025)

Laboratuvar ve klinik uygulamalarda benimsenmesinin ardından, fotogrametri günümüzde laboratuvar kalite kontrolünü geliştirmek amacıyla yenilikçi şekillerde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Son dönemde tanımlanan ve “Pasif Uyum Kontrol Prosedürü” olarak adlandırılan bir uygulama, üretilmiş proteze ters bir tarama bayrağı bağlanmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu işlemde fotogrametri kullanılarak protez üzerindeki implant pozisyonları, başlangıçta elde edilen implant taramasıyla yeniden hizalanmaktadır. Bu strateji; frezeleme stratejilerine bağlı üretim hatalarını, zirkonyanın sinterlenmesi sırasında oluşabilecek sorunları veya Ti-Base simantasyonundaki doğruluk eksikliklerini tespit etmeye olanak tanımaktadır (Bedrossian, Papaspyridakos, Bedrossian, & Gurries, 2023; Hamilton, Griseto, Negreiros, & Gallucci, 2024).

Fotogrametri ekipmanları için gereken yüksek maliyetli yatırım bu teknolojinin klinik uygulamalardaki erişilebilirliğini ve çok yönlülüğünü önemli ölçüde sınırlamaktadır. Özellikle ekstraoral fotogrametri cihazlarının tek amaçlı sistemler olması, yani yalnızca implant pozisyonlarının kaydedilmesi için tasarlanmış olmaları ve bu iş akışının ötesinde sınırlı kullanım alanı sunmaları, bu kısıtlılığı daha da belirgin hale getirmektedir. Bu sistemler; yumuşak dokuları, komşu dişleri, karşıt arkları veya oklüzal ilişkileri kaydedememektedir. Bu nedenle oklüzal kayıt, karşıt ark verileri ve yumuşak doku profilleri gibi veriler ağız içi tarayıcılar kullanılarak elde edilmek zorundadır; ancak bu taramaların kalitesi, operatör tekniğine ve hastaya bağlı faktörlere göre değişkenlik gösterebilmektedir. Buna karşılık, yeni nesil intraoral fotogrametri cihazları, fotogrametriyi ağız içi tarayıcı ile

entegre ederek implant koordinatları, yumuşak doku anatomisi ve oklüzal ilişkilerin tek bir veri seti içerisinde eş zamanlı olarak elde edilmesine olanak tanımaktadır. Güncel kanıtlar, intraoral fotogrametrimin pasif uyum için kabul edilen klinik eşiklerin oldukça altında sapma değerleri sağladığını ve aynı zamanda iş akışı verimliliğini artırdığını göstermektedir (Pozzi, Laureti, et al., 2025).

Fotogrametri yönteminden farklı olarak, bazı dental implant firmaları multi-unit abutment üzerine yerleştirilen scan bodyleri, ek yardımcı parçaların takılmasına olanak verecek şekilde geliştirmiştir. Bu yardımcı parçalar, scan bodyler arasındaki dişsiz alanlarda ağız içi tarayıcının veri sürekliliğini korumayı ve böylece tarama sırasında oluşabilecek veri kopmaları ile buna bağlı stitching hatalarının azaltılmasını amaçlamaktadır. Bununla birlikte, bu yaklaşımın doğruluğunun, hem ekstraoral fotogrametri hem de intraoral fotogrametri sistemlerine kıyasla daha düşük olduğu bildirilmiştir. (Fu et al., 2025).



Şekil 7. Scan bodylere bağlanan yardımcı tarama parçası görünümü (Fu et al., 2025).

KAYNAKLAR

- Badur S, & Sarıdağ S. (2022). Tam-Ark İmplant-Destekli Sabit Protezlerde Fotogrametri Tekniğinin Değerlendirilmesi. *Dent & Med J - R*, 4(2), 90–102.
- Bedrossian, E. A., Papaspyridakos, P., Bedrossian, E., & Gurries, C. (2023). The Reverse Scan Body Protocol: Completing the Digital Workflow. *Compendium of Continuing Education in Dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)*, 44(7), e1–e4.
- Beuer, F., Schweiger, J., & Edelhoff, D. (2008). Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *British Dental Journal*, 204(9), 505–511. doi:10.1038/sj.bdj.2008.350
- Cervino, G., Fiorillo, L., Arzukanyan, A. V., Spagnuolo, G., & Cicciù, M. (2019). Dental Restorative Digital Workflow: Digital Smile Design from Aesthetic to Function. *Dentistry Journal*, 7(2), 30.

- Elbanna, L., Singh, S., Kalakota, S., Genedy, A., Madireddi, P., & Bhola, R. (2025). Intraoral scanners in dentistry: Principles, workflow, and clinical applications - A comprehensive review. *IP Indian Journal of Conservative and Endodontics*, 10(3), 146–154.
- Eldabe, A. K., Adel-Khattab, D., & Botros, K. H. (2025). Accuracy of intraoral photogrammetry in complete arch digital implant scanning: An in vivo prospective comparative study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. doi:10.1016/j.prosdent.2025.03.041
- Floriani, F., Lopes, G. C., Cabrera, A., Duarte, W., Zoidis, P., Oliveira, D., & Rocha, M. G. (2023). Linear Accuracy of Intraoral Scanners for Full-Arch Impressions of Implant-Supported Prostheses: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Journal of Dentistry*, 17(04), 964–973. doi:10.1055/s-0042-1758798
- Fu, X., Cai, Z., Shi, J., Qiao, S., Tonetti, M. S., Lai, H., & Liu, B. (2025). Accuracy of a Novel Intraoral Photogrammetry Technique for Complete-Arch Implant Impressions: An In Vitro Study. *Clinical Oral Implants Research*, 36(8), 991–999. doi:10.1111/clr.14445
- Giménez, B., Özcan, M., Martínez-Rus, F., & Pradies, G. (2015). Accuracy of a Digital Impression System Based on Active Wavefront Sampling Technology for Implants Considering Operator Experience, Implant Angulation, and Depth. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 17(S1). doi:10.1111/cid.12124
- Hamilton, A., Griseto, N., Negreiros, W. M., & Gallucci, G. O. (2024). Digital articulation of a complete arch fixed implant prosthesis using the implant prosthetic connections: A dental technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 131(5), 793–799. doi:10.1016/j.prosdent.2022.02.023
- Jemt, T., Bäck, T., & Petersson, A. (1999). Photogrammetry--an alternative to conventional impressions in implant dentistry? A clinical pilot study. *The International Journal of Prosthodontics*, 12(4), 363–368.
- Kravitz, N. D., Groth, C., Jones, P. E., Graham, J. W., & Redmond, W. R. (2014). Intraoral digital scanners. *Journal of Clinical Orthodontics : JCO*, 48(6), 337–347.
- Lo Russo, L., Caradonna, G., Biancardino, M., De Lillo, A., Troiano, G., & Guida, L. (2019). Digital versus conventional workflow for the fabrication of multiunit fixed prostheses: A systematic review and meta-analysis of vertical marginal fit in controlled in vitro studies. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 122(5), 435–440.
- Logozzo, S., Zanetti, E. M., Franceschini, G., Kilpelä, A., & Mäkyinen, A. (2014). Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*, 54, 203–221.

- Mangano, F., Shibli, J. A., & Fortin, T. (2016). Digital Dentistry: New Materials and Techniques. *International Journal of Dentistry*, 1–2.
- Molinero-Mourelle, P., Lam, W., Cascos-Sánchez, R., Azevedo, L., & Gómez-Polo, M. (2019). Photogrammetric and Intraoral Digital Impression Technique for the Rehabilitation of Multiple Unfavorably Positioned Dental Implants: A Clinical Report. *Journal of Oral Implantology*, 45(5), 398–402. doi:10.1563/aaaid-joi-D-19-00140
- Negreiros, W. M., Akhondi, S., Quiles, H. K., & Hamilton, A. (2025). Photogrammetry in Implant Dentistry. *Australian Dental Journal*, 70(S1). doi:10.1111/adj.70028
- Negreiros, W. M., Sun, T. C., Jain, S., Finkelman, M., Gallucci, G. O., & Hamilton, A. (2025). Precision of complete-arch digital implant scans using photogrammetry and intra-oral scanning. An in vivo cross-over study. *Journal of Dentistry*, 161, 105928.
- Ortorp, A., Jemt, T., & Back, T. (2005). Photogrammetry and Conventional Impressions for Recording Implant Positions: A Comparative Laboratory Study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 7(1), 43–50. doi:10.1111/j.1708-8208.2005.tb00046.x
- Peñarrocha-Diago, M., Balaguer-Martí, J. C., Peñarrocha-Oltra, D., Balaguer-Martínez, J. F., Peñarrocha-Diago, M., & Agustín-Panadero, R. (2017). A combined digital and stereophotogrammetric technique for rehabilitation with immediate loading of complete-arch, implant-supported prostheses: A randomized controlled pilot clinical trial. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. doi:10.1016/j.prosdent.2016.12.015
- Penarrocha-Oltra, D., Agustín-Panadero, R., Bagan, L., Gimenez, B., & Penarrocha, M. (2014). Impression of multiple implants using photogrammetry: Description of technique and case presentation. *Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal*, e366–e371.
- Peñarrocha-Oltra, D., Agustín-Panadero, R., Pradíes, G., Gomar-Vercher, S., & Peñarrocha-Diago, M. (2017). Maxillary Full-Arch Immediately Loaded Implant-Supported Fixed Prosthesis Designed and Produced by Photogrammetry and Digital Printing: A Clinical Report. *Journal of Prosthodontics*, 26(1), 75–81. doi:10.1111/jopr.12364
- Pozzi, A., Arcuri, L., Carosi, P., Laureti, A., Londono, J., & Wang, H. (2025). Photogrammetry Versus Intraoral Scanning in Complete-Arch Digital Implant Impression: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 27(3). doi:10.1111/cid.70059
- Pozzi, A., Carosi, P., Gallucci, G. O., Nagy, K., Nardi, A., & Arcuri, L. (2023). Accuracy of complete-arch digital implant impression with intraoral optical scanning and stereophotogrammetry: An in vivo prospective

- comparative study. *Clinical Oral Implants Research*, 34(10), 1106–1117.
- Pozzi, A., Laureti, A., Tawil, I., Chow, J., Azevedo, L., Fehmer, V., & Sailer, I. (2025). Intra Oral Photogrammetry: Trueness Evaluation of Novel Technology for Implant Complete-Arch Digital Impression In Vitro. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 27(3).
- Pradies, G., Ferreiroa, A., Özcan, M., Giménez, B., & Martínez-Rus, F. (2014). Using stereophotogrammetric technology for obtaining intraoral digital impressions of implants. *The Journal of the American Dental Association*, 145(4), 338–344. doi:10.14219/jada.2013.45
- Ragain, J. C., Grosko, M. L., Raj, M., Ryan, T. N., & Johnston, W. M. (2000). Detail reproduction, contact angles, and die hardness of elastomeric impression and gypsum die material combinations. *The International Journal of Prosthodontics*, 13(3), 214–220.
- Richert, R., Goujat, A., Venet, L., Viguie, G., Viennot, S., Robinson, P., ... Ducret, M. (2017). Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, 1–9.
- Sánchez-Monescillo, A., Sánchez-Turrión, A., Vellon-Domarco, E., Salinas-Goodier, C., & Prados-Frutos, J. (2016). Photogrammetry Impression Technique: A Case History Report. *The International Journal of Prosthodontics*, 29(1), 71–73. doi:10.11607/ijp.4287
- Schaefer, O., Schmidt, M., Goebel, R., & Kuepper, H. (2012a). Qualitative and quantitative three-dimensional accuracy of a single tooth captured by elastomeric impression materials: An in vitro study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 108(3), 165–172.
- Schaefer, O., Schmidt, M., Goebel, R., & Kuepper, H. (2012b). Qualitative and quantitative three-dimensional accuracy of a single tooth captured by elastomeric impression materials: An in vitro study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 108(3), 165–172.
- Tallarico, M., Caneva, M., Baldini, N., Gatti, F., Duvina, M., Billi, M., ... Cicciù, M. (2018). Patient-centered rehabilitation of single, partial, and complete edentulism with cemented- or screw-retained fixed dental prosthesis: The First Osstem Advanced Dental Implant Research and Education Center Consensus Conference 2017. *European Journal of Dentistry*, 12(04), 617–626. doi:10.4103/ejd.ejd_243_18
- Taneva, E., Kusnoto, B., & Evans, C. A. (2015). 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics. In *Issues in Contemporary Orthodontics*. InTech. doi:10.5772/60010

İMLANTOLOJİDE GUIDED CERRAHİ VE DİJİTAL PLANLAMA TEKNİKLERİ

Yunus Emre ÜNAL

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi ABD, Ahmet Keleşoğlu Diş Hekimliği Fakültesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0003-4403-646X
- ❖ Mail: yunusemreunal@kmu.edu.tr

Doğan Ilgaz KAYA

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi ABD, Ahmet Keleşoğlu Diş Hekimliği Fakültesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-5196-8105
- ❖ Mail: doganilgaz@kmu.edu.tr

Elif Esra ÖZMEN ÜNÜVAR

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi ABD, Ahmet Keleşoğlu Diş Hekimliği Fakültesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0003-1920-4655
- ❖ Mail: elifesraozmen@kmu.edu.tr

GİRİŞ

İmplant diş hekimliğinde dijital dönüşüm, cerrahi planlama ve uygulama süreçlerini kökten değiştirmiştir. Bilgisayar destekli implant cerrahisi, geleneksel serbest el tekniklerine kıyasla implant pozisyonlama doğruluğunu artırarak, vital anatomik yapılara zarar riskini minimize etmekte ve tedavi öngörülebilirliğini iyileştirmektedir (Tahmaseb ve ark., 2018). Günümüzde konik ışınli bilgisayarlı tomografi, dijital ağız içi tarayıcılar, sanal planlama yazılımları ve cerrahi navigasyon sistemlerinin entegrasyonu, tam dijital iş akışlarının oluşturulmasını mümkün kılmıştır (Lin ve ark., 2020).

Guided cerrahi teknikleri, statik rehberler ve dinamik navigasyon sistemleri olarak iki ana kategoride incelenabilmektedir. Geçtiğimiz yıllarda yapay zeka destekli planlama araçları, robotik cerrahi sistemler ve hasta-spesifik 3D baskı uygulamaları da bu alana entegre olmuştur (Elgarba ve ark., 2024; Pimkhaokham ve ark., 2024). Marquez Bautista ve arkadaşlarının 2024 yılında yayınladıkları network meta-analizde, tüm bilgisayar destekli cerrahi tekniklerinin serbest el yaklaşımına göre anlamlı bir boyutta daha az sapma gösterdiği rapor edilmiştir (Marquez Bautista ve ark., 2024).

Dijital teknolojilerin implant cerrahisine entegrasyonu, minimal invaziv yaklaşımları mümkün kılmakta, hasta konforu ve memnuniyetini artırmakta, postoperatif komplikasyonları azaltmakta ve tedavi süresini kısaltmaktadır (Vercruyssen ve ark., 2015). Bu bölümde, implantolojide guided cerrahi ve dijital planlama tekniklerinin güncel durumu, klinik uygulamaları ve gelecek perspektifleri ele alınacaktır.

Geleneksel ve Dijital Planlama Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

İmplant diş hekimliğinde başarının temel anahtarı, implantın sadece mevcut kemik hacmine göre değil, aynı zamanda ideal protetik rehabilitasyona olanak tanıyacak üç boyutlu (3B) konuma yerleştirilmesidir. Geleneksel "serbest el" (free-hand) tekniğinde cerrah, pre-operatif dönemde radyografiler üzerinden elde ettiği verileri zihninde üç boyutluya dönüştürerek operasyon sırasında implantın aksını ve derinliğini belirler (Vercruyssen ve ark., 2015). Ancak bu yöntem, büyük ölçüde klinisyenin tecrübesine ve cerrahi saha görüşüne bağlı olup; komşu anatomik yapılara zarar verme veya protetik açıdan suboptimal konumlandırma riskini barındırmaktadır (Tahmaseb ve ark., 2018).

Bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM) teknolojilerinin gelişimi, "kemik odaklı" yaklaşımdan "protez odaklı" (prosthetic-driven) planlamaya geçişi sağlamıştır. Dijital planlama sürecinde, Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) verileri (DICOM) ile intraoral tarayıcılardan elde edilen dijital ölçü verileri (STL) karşılaştırılarak cerrahi öncesinde sanal bir model oluşturulur (Jung ve ark., 2009; Wu ve ark., 2024). Literatürdeki sistematik derlemeler, dijital olarak planlanan ve cerrahi rehber aracılığıyla yerleştirilen implantların; açısal sapma, koronal ve apikal pozisyonel doğruluk açısından geleneksel yöntemle göre anlamlı derecede daha üstün sonuçlar verdiğini göstermektedir (Tahmaseb ve ark., 2018; Xing ve ark., 2025). Geleneksel ve dijital planlama yöntemleri arasındaki temel farklar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Geleneksel ve bilgisayar destekli implant planlama yöntemlerinin klinik parametreler açısından kıyaslanması

Parametre	Geleneksel planlama (Free-hand)	Dijital planlama (Guided)
Planlama temeli	Radyografiler ve zihinsel projeksiyon	3B dijital modeller ve sanal karşılaştırma
Hassasiyet	Operatörün el becerisine ve görüşüne bağlı	Dijital verilerle standardize edilmiş yüksek doğruluk
Cerrahi yaklaşım	Genellikle geniş flep kaldırılması gerekir	Flepsiz (flapless) cerrahiye olanak tanır
Protetik sonuç	Cerrahi sırasındaki kemik durumuna göre şekillenir	İdeal protez konumuna göre önceden belirlenir
Komplikasyon riski	Kritik anatomik yapılarda daha yüksek yaralanma riski	Yazılımsal güvenlik sınırları ile minimize edilmiş risk
Maliyet ve hazırlık	Düşük başlangıç maliyeti, hızlı hazırlık	Yazılım ve üretim maliyeti, pre-operatif hazırlık süresi

Dijital planlamanın sunduğu bir diğer önemli avantaj, operasyon öncesinde geçici restorasyonların tasarlanabilmesi ve cerrahi ile eş zamanlı olarak "hemen yükleme" protokollerinin güvenle uygulanabilmesidir (Younis ve ark., 2024). Her ne kadar dijital iş akışı, başlangıç maliyeti ve teknik öğrenme eğrisi gibi zorluklar içerse de sağladığı öngörülebilirlik ve hasta konforu, modern implantolojide bu yöntemi vazgeçilmez kılmaktadır (Vercruyssen ve ark., 2015; Zaww ve ark., 2025).

Dijital Görüntüleme ve Veri Toplama

Başarılı bir guided cerrahi sürecinin temeli, hastadan elde edilen yüksek doğrulukta dijital verilerin entegrasyonuna dayanmaktadır (Van Assche ve ark., 2012). Bu aşama, kural olarak Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (CBCT) ile kemik yapısının ve ağız içi tarayıcılar (IOS) ile yumuşak doku detaylarının dijital olarak kaydedilmesini kapsar (Vercruyssen ve ark., 2015). Elde edilen bu veriler; Simplant, NobelGuide, Blue Sky Plan, coDiagnostiX, 3Shape Implant Studio ve R2Gate gibi çeşitli ticari yazılımlar kullanılarak işlenmekte (Tallarico ve ark., 2019); bu sayede implantların ideal protetik pozisyonlara yerleştirilmesi planlanabilmektedir (Vercruyssen ve ark., 2015).

Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi

Üç boyutlu görüntüleme, modern implant planlamasının temel bileşenidir. CBCT teknolojisi, alveolar kemik morfolojisi, kemik yoğunluğu ve kritik anatomik yapıların (mandibular kanal, maksiller sinüs, mental foramen, nazal kavite) yüksek çözünürlüklü görselleştirilmesini sağlamaktadır. Geleneksel medikal bilgisayarlı tomografiye kıyasla daha düşük radyasyon dozu, daha yüksek uzaysal çözünürlük ve uygun maliyet avantajları sunmaktadır (Van Assche ve ark., 2012).

Carneiro ve arkadaşlarının (2024) sistematik derlemesinde, düşük doz CBCT protokollerinin implant planlaması için lineer ölçümlerde yeterli doğruluk sunduğu gösterilmiştir (Carneiro ve ark., 2024). Lee ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında, küçük görüş alanı CBCT taramalarının orta boy taramalarla karşılaştırılabilir doğruluk sağladığı, ALARA prensibine uygun olarak en küçük görüş alanının kullanılması gerektiği vurgulanmıştır (Lee ve ark., 2024). Fokas ve arkadaşlarının (2018) derlemesinde, CBCT üzerinde yapılan lineer ölçümlerin güvenilir olduğu ancak komşu anatomik yapılara minimum 2 mm güvenlik mesafesi bırakılması gerektiği belirtilmiştir (Fokas ve ark., 2018).

CBCT görüntülerinin kalitesini etkileyen parametreler arasında voksel boyutu, görüş alanı büyüklüğü, voltaj ve akım değerleri, tarama süresi ve rekonstrüksiyon algoritması yer almaktadır. İmplant planlaması için 0,2 - 0,4 mm voksel boyutu optimal kabul edilmekte, daha küçük voksel boyutları daha yüksek çözünürlük sağlamakla birlikte radyasyon dozunu artırmaktadır (Schneider ve ark., 2009). Metal artefaktlar görüntü kalitesini olumsuz etkileyebilmekte, bu nedenle artefakt azaltma algoritmaları kullanılması önerilmektedir (Carneiro ve ark., 2024; Fokas ve ark., 2018).

Dijital Ağız İçi Tarama

İntraoral tarayıcılar, yumuşak doku anatomisi ve mevcut dişlerin pozisyonlarının dijital kaydını sağlayarak, protetik odaklı planlama yaklaşımının temelini oluşturmaktadır. Geleneksel ölçü alma yöntemlerine göre hasta konforu, hız ve doğruluk açısından üstündür (Lin ve ark., 2020). CBCT ve IOS verilerinin üst üste bindirilmesi, kemik ve yumuşak doku bilgilerinin entegrasyonunu mümkün kılmakta, böylece implantların ideal protetik pozisyonlara yerleştirilmesi planlanabilmektedir (Lin ve ark., 2020).

IOS teknolojilerinde konfokal mikroskopi, aktif triangülasyon ve aktif dalga frontu örnekleme gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Tam ark taramalarda doğruluk, tek diş taramalarına göre azalmakta, bu nedenle referans noktaları kullanılması önerilmektedir (Vercruyssen ve ark., 2015). Yapay zeka destekli yazılımlar, CBCT-IOS kaydını otomatik olarak gerçekleştirerek bu karmaşık süreci basitleştirmektedir (Elgabra ve ark., 2024).

Dijital İmplant Planlama ve Yapay Zeka Uygulamaları

Sanal planlama yazılımları; kemik yoğunluğu analizi, anatomik segmentasyon ve protetik simülasyon gibi kapsamlı özellikler sunmaktadır (Vercruyssen ve ark., 2015). Son yıllarda yapay zeka teknolojileri, CBCT görüntülerinden anatomik yapıları yüksek doğrulukla otomatik olarak segmente edebilmektedir (Elgarba ve ark., 2024). Bu yazılımlar, kullanıcı dostu arayüzleri ve geniş implant kütüphaneleri ile planlama sürecini klinisyenler için oldukça kolaylaştırmaktadır (Tallarico ve ark., 2019).

Dijital Planlama Yazılımları

Sanal planlama yazılımları, kemik yoğunluğu analizi, anatomik segmentasyon, implant kütüphaneleri, cerrahi rehber tasarımı ve protetik simülasyon gibi kapsamlı özellikler sunmaktadır. Planlama sürecinde implantın apikal-koronal yerleşimi, bukkal-lingual angülasyonu, mezyo-distal pozisyonu ve rotasyonel oryantasyonu detaylı olarak ayarlanabilmektedir (Vercruyssen ve ark., 2015). Protetik odaklı yaklaşım, implant pozisyonunun öncelikle restorasyon gereksinimlerine göre belirlenmesini ve ardından cerrahi protokolün bu hedeflere ulaşmak için optimize edilmesini içermektedir (Vercruyssen ve ark., 2015).

Piyasada Simplant, NobelGuide, Blue Sky Plan, coDiagnostiX, 3Shape Implant Studio ve R2Gate gibi çeşitli ticari yazılımlar mevcuttur. Bu yazılımlar, kullanıcı dostu arayüzler, geniş implant kütüphaneleri ve otomatik ölçüm araçları sunarak planlama sürecini kolaylaştırmaktadır (Tallarico ve ark., 2019).

Yapay Zeka Destekli Planlama

Yapay zeka teknolojileri, implant planlamasında devrim yaratmaktadır. Derin öğrenme modelleri, CBCT görüntülerinden anatomik yapıları %92-99,7 doğrulukla otomatik olarak segmente edebilmekte, inter-observer ve intra-observer değişkenliğini azaltarak tutarlılığı artırmaktadır. Konvolüsyonel sinir ağları, mandibular kanal, maksiller sinüs, kemik sınırları ve diş köklerinin hassas tanımlanmasını sağlamaktadır (Elgarba ve ark., 2024).

Elgarba ve arkadaşlarının 2025 yılında yaptıkları preklinik validasyon çalışmasında, AI tabanlı otomatik implant yerleştirmenin uzman klinisyenlerle karşılaştırılabilir doğruluk gösterdiği ve planlama süresini %50'den fazla azalttığı gösterilmiştir (Elgarba ve ark., 2025a). Yapay zeka, kemik genişliği ve uzunluğu, alt alveolar sinir, komşu dişler gibi anatomik yapılardan toplanan bilgilere dayanarak implant boyutlarını otomatik olarak seçebilmektedir. Optimal kemik kalitesi ve miktarına sahip vakalarda implant boyutlarını uzman seviyede belirleyebilme yeteneği, özellikle deneyimsiz klinisyenler için değerli rehberlik sağlamaktadır (Elgarba ve ark., 2025a).

Wu ve arkadaşlarının sistematik incelemelerinde, yapay zeka modellerinin implant prognoz tahmininde %70-96 doğruluk aralığında performans sergilediği rapor edilmiştir (Wu ve ark., 2024). Makine öğrenmesi algoritmaları, kemik kalitesi, implant tasarımı, cerrahi teknik ve hasta karakteristikleri gibi karmaşık faktörleri analiz ederek geleneksel yöntemlere göre daha doğru tahminler üretebilmektedir. Periimplantitis riski, implant başarısızlığı olasılığı ve uzun dönem prognoz değerlendirmesi gibi alanlarda klinik karar vermeyi desteklemektedir (Wu ve ark., 2024).

Statik Cerrahi Rehberler

Statik rehberler, sanal ortamda yapılan planlamanın cerrahi alana transferini sağlayan ve 3D baskı teknolojileri ile üretilen fiziksel apareylerdir (Nulty, 2024). Literatürde, diş destekli rehberlerin mukoza veya kemik destekli rehberlere göre en yüksek doğruluğu sağladığı bildirilmektedir (Marquez Bautista ve ark., 2024). Tam rehberli protokoller, pilot matkap

rehberli yaklaşımlara göre operasyonel sapmaları anlamlı düzeyde düşürmektedir (Tahmaseb ve ark., 2018).

Tasarım, Üretim ve Sınıflandırma

Statik rehberler, sanal planlamanın cerrahi alana transferini sağlayan fiziksel apareylerdir. Stereolitografi, dijital ışık işleme veya fused deposition modeling teknolojileri kullanılarak 3D baskı ile üretilmektedir (Nulty, 2024). Rehberler, destek tipine göre üç kategoride sınıflandırılmaktadır: diş destekli, mukoza destekli ve kemik destekli.

Marquez Bautista ve arkadaşlarının network meta-analizinde, diş destekli rehberlerin en yüksek doğruluğu sağladığı (ortalama açısal sapma 2,7 - 5,14°, koronal sapma 0,87 - 2,05 mm, apikal sapma 1,08 - 2,28 mm), mukoza destekli rehberlerin ise yumuşak doku kompresyonu nedeni ile daha az güvenilir olduğu gösterilmiştir (Marquez Bautista ve ark., 2024). Kemik destekli rehberlerle tedavi tam dişsiz vakalarda tercih edilmekte ancak flep kaldırılması gerekliliği nedeniyle mukoza travması artmaktadır (Wu ve ark., 2024).

Rehber tasarımında cerrahın görüş alanını engellemeyecek bukkal açıklıklar, stabilite için yeterli destek, kılavuz tüp açıklıklarının uygun konumlandırılması ve kemik ankraj pinleri için alanlar dikkate alınmalıdır. Kılavuz tüplerin uzunluğu ve iç çapı, kullanılacak implant sistemine özel olarak seçilmelidir (Raico Gallardo ve ark., 2017).

Klinik Doğruluk ve Etkileyici Faktörler

Tahmaseb ve arkadaşlarının referans sistematik derlemesinde, tam rehberli protokolde ortalama platform sapması 1,0 - 1,2 mm, apikal sapma 1,3 - 1,5 mm ve açısal sapma 3,5 - 4,5 derece olarak rapor edilmiştir (Tahmaseb ve ark., 2018). Zhou ve arkadaşlarının meta-analizinde, rehber fiksasyonu, rehber tipi ve flep yaklaşımının doğruluğu etkilediği, fiksasyon vidaları ile sabitlenen tam rehberli sistem ve flepsiz protokol kombinasyonunun optimal sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Zhou ve ark., 2018).

Doğruluğu etkileyen faktörler arasında operatör deneyimi, implant uzunluğu ve angulasyonu, rehber stabilizasyon yöntemi, kullanılan implant sistemi ve cerrahi protokol yer almaktadır. Tam rehberli yaklaşım, pilot matkap rehberli protokole göre daha yüksek doğruluk sağlamaktadır. Xing ve arkadaşlarının sistematik derlemesinde, guided immediate implantasyonun

ortalama 1,11 mm koronal sapma, 1,40 mm apikal sapma ve 3,51 derece açısal sapma gösterdiği ortaya konmuştur (Xing ve ark., 2025).

Flapsiz ve Flapli Cerrahi Protokollerinin Klinik Doğruluğa Etkisi

Minimal invaziv flapsiz cerrahi yaklaşımı, önemli klinik avantajlar sunmaktadır. you ve arkadaşlarının meta-analizinde, flapsiz tam rehberli cerrahinin flep kaldırılan yaklaşıma göre daha az sapma (-0,28 mm derinlik, -3,88° açısal, -0,6 mm koronal, -0,75 mm apikal), postoperatif ağrıda azalma (VAS -17,09 mm), şişlikte azalma (-6,59 mm), intraoperatif konforsuzlukta azalma (-9,36 mm) ve cerrahi süresinde kısalma (-24,28 dakika) sağladığı gösterilmiştir (Lemos ve ark., 2020).

Flapsiz yaklaşımın başlıca avantajları arasında kan kaybının azalması, postoperatif ödemin ve ağrının azalması, iyileşme süresinin kısalması ve estetik bölgelerde yumuşak doku konturunun korunması yer almaktadır. Ancak görüş alanının kısıtlı olması, kemik morfolojisinin direkt görülememesi ve eş zamanlı augmentasyon yapılamaması gibi sınırlılıkları nedeniyle hasta seçimi kritik önem taşımaktadır (Romandini ve ark., 2023).

Dinamik Navigasyon ve Robotik Cerrahi Sistemler

Dinamik navigasyon teknolojisi, cerrahi sırasında matkap pozisyonunu izleyerek cerraha anlık görsel geri bildirim sağlamaktadır (Younis ve ark., 2024). Robotik cerrahi sistemler ise, navigasyonun gerçek zamanlı takibi ile robotik kolun stabilitesini birleştirerek en yüksek hassasiyet potansiyeline ulaşmaktadır (Pimkhaokham ve ark., 2024). Bu sistemler, özellikle tam ark immediate yükleme vakalarında başarılı ve tutarlı sonuçlar vermektedir (Pozzi ve ark., 2024).

Dinamik Navigasyon Teknolojisi

Dinamik navigasyon, gerçek zamanlı cerrahi rehberlik sunan ileri teknolojidir. Optik veya elektromanyetik izleme sistemleri kullanılarak matkap pozisyonu ve yönelimi sürekli monitörize edilmekte, planlanan implant trajektorisi ile karşılaştırılarak cerraha anlık görsel geri bildirim sağlanmaktadır. Sistem, cerrahi alan görüntüsü üzerine dijital grafik arayüzü superpozisyon ederek matkabın doğru trajektoriyi takip edip etmediğini göstermektedir.

Knipper ve arkadaşlarının randomize klinik çalışmasında, optik ve elektromanyetik referans sistemlerinin karşılaştırılabilir doğruluk gösterdiği belirlenmiştir. Sistemin kalibrasyonu, CBCT görüntülerinin hasta anatomisi ile eşleştirilmesi işlemini içermekte ve fiducial marker (işaretleyicili) tabanlı veya fiducial-free (işaretleyicisiz) yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir (Knipper ve ark., 2024).

Younis ve arkadaşlarının prospektif çalışmasında, dinamik navigasyon ve statik rehberlerin serbest el tekniğine kıyasla belirgin şekilde üstün doğruluk ve tutarlılık sağladığı gösterilmiştir (Younis ve ark., 2024). Pozzi ve arkadaşlarının tam ark immediate yükleme vakaları üzerinde yaptıkları çalışmada, dinamik navigasyon kullanımında ortalama platform sapması 1,17 mm, apikal sapma 1,30 mm ve açıl sapma 2,19 derece bulunmuş, 36 vakanın tamamında başarılı immediate yükleme gerçekleştirilmiştir (Pozzi ve ark., 2024).

Dinamik navigasyonun başlıca avantajları arasında cerrahi esneklik, gerçek zamanlı pozisyon düzeltme imkanı, cerrahi alanı engellememe, yumuşak doku yönetiminin kolaylaşması ve flepsiz cerrahi uygulama imkanı yer almaktadır. Sınırlılıkları ise yüksek başlangıç maliyeti, öğrenme eğrisi gerekliliği, referans marker stabilitesi bağımlılığı ve teknik ekipman ihtiyacıdır (AlQallaf ve ark., 2024).

Robotik Cerrahi Sistemler

Robotik cerrahi sistemler, fiziksel rehberlik ve dinamik navigasyonun gerçek zamanlı geri bildirim özelliğini birleştirerek en yüksek hassasiyet potansiyeline sahiptir. Pimkhaokham ve arkadaşlarının karşılaştırmalı çalışmasında, robotik sistemlerde koronal sapma 0,29 - 0,40 mm, apikal sapma 0,29 - 0,50 mm ve açıl sapma 0,42 - 1,04 derece aralığında ölçülürken, dinamik navigasyonda bu değerler sırasıyla 0,85 - 1,05 mm, 1,07 - 1,11 mm ve 1,78 - 1,99 derece olarak bulunmuştur. Robotik kolun yüksek stabilitesi, cerrahi sapmadaki değişkenliği önemli ölçüde azaltmaktadır. (Pimkhaokham ve ark., 2024).

Shi ve arkadaşlarının pilot randomize kontrollü çalışmasında, haptik ve makine görüşü kontrollü kolaboratif cerrahi robotunun implant yerleştirme pozisyonel doğruluğunu iyileştirdiği gösterilmiştir. Ancak yüksek maliyet, karmaşık kurulum gereksinimleri, sınırlı klinik kanıt ve uzun dönem sonuç eksikliği nedeniyle, bu teknolojinin yaygın klinik kullanımı henüz erken aşamadır (Shi ve ark., 2024).

3D Baskı Teknolojileri ve Hasta-Spesifik Uygulamalar

Günümüzde eklemeli imalat (3D baskı) teknolojileri; cerrahi rehberlerin, tanısal modellerin ve hastaya özel implantların üretimini mümkün kılarak dental implantolojide yeni bir dönem başlatmıştır (Nulty, 2024). Bu süreçte kullanılan stereolitografi (SLA) ve dijital ışık işleme (DLP) gibi yöntemler, yüksek çözünürlüklü cerrahi rehberlerin üretiminde temel teşkil etmektedir (Vercruyssen ve ark., 2015). Geleneksel çıkarmalı (kazıma/milling) yöntemlerle karşılaştırıldığında, 3D baskı teknikleri karmaşık geometrilerin üretiminde üstün bir tasarım esnekliği sunmakta ve malzeme israfını anlamlı ölçüde azaltmaktadır (Vercruyssen ve ark., 2015).

Özellikle hasta-spesifik implantların (PSI) dijital ortamda bireyin kendine özgü kemik morfolojisine göre tasarlanması, ileri derecede atrofik vakalarda tedavi öngörülebilirliğini artırmaktadır (Nulty, 2024). Sanal planlamanın cerrahi sahaya yüksek doğrulukla aktarılması, bu teknolojilerin sunduğu klinik hassasiyetin en önemli parçasını oluşturmaktadır (Tahmaseb ve ark., 2018). Biyouyumlu reçinelerdeki teknolojik gelişmeler ise hem cerrahi sürecin güvenliğini hem de implant üstü protetik rehabilitasyonların uzun dönem stabilitesini desteklemektedir (Nulty, 2024).

Tam Dijital İş Akışı ve Klinik Protokoller

Modern dental implantolojide tam dijital iş akışı; başlangıç teşhisinden cerrahi uygulamaya ve final restorasyona kadar olan tüm evrelerin kesintisiz bir dijital veri döngüsü içinde entegre edilmesini temsil eden bir paradigma değişimidir (Van Assche ve ark., 2012). Bu protokolün temelini, sert dokuların üç boyutlu analizini sunan Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (CBCT) verileri ile yumuşak doku ve diş morfolojisini yüksek hassasiyetle kaydeden ağız içi tarayıcı (IOS) verilerinin dijital olarak çakıştırılması oluşturur (Vercruyssen ve ark., 2015). Güncel literatür, bu entegrasyonun cerrahi hassasiyeti artırmasının yanı sıra, interdisipliner iletişimi optimize ederek toplam tedavi süresini ve hata payını önemli ölçüde azalttığını vurgulamaktadır (Vázquez-Sebrango ve ark., 2025).

2024 ve 2025 yıllarına ait en güncel veriler, tam dijital iş akışında yapay zeka (AI) ve derin öğrenme algoritmalarının kullanımının artık bir klinik standart haline gelmeye başladığını göstermektedir. Yapay zeka destekli yazılımlar; mandibular kanal tespiti, otomatik kemik yoğunluğu haritalama ve anatomik segmentasyon süreçlerinde uzman hekimlerin performansıyla

yarışır düzeyde doğruluk sunmaktadır (Zaww ve ark., 2025). Bu dijital evrede gerçekleştirilen "sanal wax-up" uygulaması, implant pozisyonunun sadece mevcut kemik hacmine göre değil, nihai restorasyonun estetik ve biyomekanik gereksinimlerine göre belirlendiği "protetik odaklı implantoloji" modelini mümkün kılmaktadır (Nulty, 2024).

Klinik uygulama aşamasında, sanal ortamda hazırlanan planlamanın sahaya aktarımı statik rehberler, dinamik navigasyon veya son dönemde yükselen bir trend olan robotik cerrahi sistemlerle gerçekleştirilmektedir (Pimkhaokham ve ark., 2024). Robotik destekli implant yerleşimleri, hekim kaynaklı tremor ve yorgunluk gibi faktörleri ortadan kaldırarak sapma oranlarını en düşük seviyeye indirme potansiyeline sahiptir (Pimkhaokham ve ark., 2024). Ayrıca, tam dijital iş akışı kapsamında cerrahi öncesi hazırlanan prefabrike restorasyonlar, özellikle tam ark vakalarında "hemen yükleme" (immediate loading) protokollerinin öngörülebilirliğini ve başarısını artırarak hasta memnuniyetini maksimize etmektedir (Pozzi ve ark., 2021). Güncel klinik çalışmalar, tamamen dijital iş akışıyla üretilen restorasyonların marjinal uyum ve uzun dönem doku stabilitesi açısından geleneksel yöntemlere göre üstünlük sergilediğini doğrulamaktadır (Younis ve ark., 2024).

Gelecek Perspektifleri ve Gelişmekte Olan Teknolojiler

İmplant diş hekimliğinde dijitalleşme süreci, günümüzde statik rehberlerin ötesine geçerek cerrahi süreçleri daha otonom, öngörülebilir ve hasta odaklı hale getiren ileri teknolojilere evrilmektedir. Bu evrimin en dikkat çekici unsurlarından biri olan Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Karma Gerçeklik (MR) sistemleri, cerrahi alan üzerine sanal verileri eş zamanlı olarak yansıtarak hekimin ekran bağımlılığını ortadan kaldırmakta ve daha ergonomik bir çalışma ortamı sunmaktadır (Vázquez-Sebrango ve ark., 2025). Bu teknolojiler, cerrahın anatomik derinliği ve implant açılarını doğrudan hasta ağzında üç boyutlu olarak algılamasına olanak tanıyarak operasyonel hata payını minimize etmektedir (Vázquez-Sebrango ve ark., 2025).

Yapay zeka (AI) ve makine öğrenmesi algoritmaları, sadece planlama aşamasında değil, aynı zamanda tedavi sonuçlarının uzun dönemli başarısını öngörmeye de kritik roller üstlenmeye başlamıştır (Zaww ve ark., 2025). Gelecekte AI destekli sistemlerin, hastanın sistemik durumu ve kemik kalitesini analiz ederek kişiye özel en ideal implant tasarımını ve yüzey özelliklerini otomatik olarak belirlemesi öngörülmektedir (Zaww ve ark., 2025).

Dijital üretimin en ileri aşaması olarak kabul edilen 4D baskı teknolojileri, implantolojide "akıllı materyal" kullanımının önünü açmaktadır. Geleneksel 3D baskıdan farklı olarak, dördüncü bir boyut olan "zaman" faktörünün sürece dahil edilmesiyle, üretilen yapıların vücut ısısı veya pH değişimi gibi dış uyaranlara tepki olarak şekil ve işlev değiştirmesi mümkün hale gelmektedir (Momeni ve ark., 2017). Bu teknoloji sayesinde, cerrahi sahaya yerleştirildikten sonra biyolojik ortama uyum sağlayarak genişleyen akıllı kemik greftleri ve kemik rejenerasyonunu zamana bağlı olarak aktif bir şekilde destekleyen "canlı benzeri" iskele yapılarının (scaffolds) kullanımı yakın gelecekte klinik pratiğin bir parçası olacaktır (Zaww ve ark., 2025).

Robotik cerrahi sistemlerin evrimi ise, yarı otonom asistanlıktan tam otonom cerrahi süreçlere doğru bir eğilim göstermektedir (Pimkhaokham ve ark., 2024). Robotik kolların sahip olduğu mikron düzeyindeki hassasiyet ve insan kaynaklı tremorları absorbe etme yeteneği, özellikle ileri cerrahi beceri gerektiren tam ark rehabilitasyonlarında standardizasyonu sağlayacaktır (Pimkhaokham ve ark., 2024). Sonuç olarak, bu inovasyonların tam dijital iş akışına tam entegrasyonu, implantolojiyi cerrahi bir sanat olmanın ötesine taşıyarak veri temelli, kusursuz bir mühendislik disiplinine dönüştürecektir.

SONUÇ

Guided cerrahi ve dijital planlama teknikleri, modern implant diş hekimliğinde doğruluk, öngörülebilirlik, hasta konforu ve tedavi etkinliği açısından önemli iyileştirmeler sağlamıştır. Güncel literatür, bilgisayar destekli yaklaşımların serbest el tekniklerine göre tutarlı bir şekilde üstün performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Network meta-analiz çalışmaları, tüm guided cerrahi tekniklerinin anlamlı derecede daha az sapma gösterdiğini kanıtlamıştır.

Statik cerrahi rehberler, özellikle diş destekli ve tam rehberli protokollerde yüksek doğruluk sunmaktadır. Dinamik navigasyon sistemleri gerçek zamanlı görselleştirme ve cerrahi esneklik avantajları sağlamakta, immediate yükleme protokollerinde güvenilir sonuçlar vermektedir. Robotik cerrahi sistemler en yüksek hassasiyet potansiyeline sahip olmakla birlikte, yaygın klinik kullanımları için daha fazla kanıtı ihtiyacı bulunmaktadır.

Yapay zeka uygulamaları, anatomik segmentasyon, otomatik implant planlama ve prognoz tahmininde önemli gelişmeler kaydetmektedir. Flapsiz cerrahi protokolleri minimal invaziv tedavi imkanı sunmakta ve hasta memnuniyetini artırmaktadır. 3D baskı teknolojileri hasta-spesifik çözümlerin

geliştirilmesini mümkün kılmakta, karmaşık vakalarda tedavi seçeneklerini genişletmektedir.

Gelecekte artırılmış gerçeklik, ileri yapay zeka algoritmaları, akıllı biyomateryaller ve 4D baskı teknolojilerinin entegrasyonu ile implant diş hekimliğinde daha da gelişmiş sonuçlar elde edilmesi beklenmektedir. Tam dijital iş akışlarının standardizasyonu, interdisipliner iş birliğinin güçlendirilmesi ve sürekli klinik validasyon çalışmaları, bu teknolojilerin başarılı adaptasyonu için kritik önem taşımaktadır. Dijital teknolojiler gelişmeye ve daha erişilebilir hale gelmeye devam ettikçe, implant tedavilerinin başarı oranlarının artması, komplikasyonların azalması ve hasta memnuniyetinin yükselmesi öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- AlQallaf, H., Lin, W. S., Polido, W., & Yang, C. C. (2024). Exploring dynamic computer-assisted implant surgery. *Decisions in Dentistry*, 10(6), 32-35.
- Carneiro, A. L. E., Reis, I. N. R., Bitencourt, F. V., Salgado, D. M. R. A., Costa, C., & Spin-Neto, R. (2024). Accuracy of linear measurements for implant planning based on low-dose cone beam CT protocols: A systematic review and meta-analysis. *Dentomaxillofacial Radiology*, 53(4), 207-221.
- Elgarba, B. M., Fontenele, R. C., Ali, S., Windisch, P., Van Aelst, S., Morgan, N., Shujaat, S., & Jacobs, R. (2024). Validation of a novel AI-based automated multimodal image registration of CBCT and intraoral scan aiding presurgical implant planning. *Clinical Oral Implants Research*, 35(11), 1506-1517.
- Elgarba, B. M., Fontenele, R. C., Ali, D., Windisch, P., & Jacobs, R. (2025a). Artificial intelligence versus human intelligence in presurgical implant planning: A preclinical validation. *Clinical Oral Implants Research*, 36, 835-845.
- Elgarba, B. M., Fontenele, R. C., Tarce, M., & Jacobs, R. (2024). Artificial intelligence serving pre-surgical digital implant planning: A scoping review. *Journal of Dentistry*, 143, 104862.
- Elgarba, B. M., Fontenele, R. C., Ali, S., Windisch, P., Van Aelst, S., Morgan, N., Shujaat, S., & Jacobs, R. (2024). Validation of a novel AI-based automated multimodal image registration of CBCT and intraoral scan aiding presurgical implant planning. *Clinical Oral Implants Research*, 35(11), 1506-1517.

- Fokas, G., Vaughn, V. M., Scarfe, W. C., & Bornstein, M. M. (2018). Accuracy of linear measurements on CBCT images related to presurgical implant treatment planning: A systematic review. *Clinical Oral Implants Research*, 29(Suppl 16), 393-415.
- Jung, R. E., Schneider, D., Ganeles, J., Wismeijer, D., & Hammerle, C. H. (2009). Computer technology applications in surgical implant dentistry: A systematic review. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 24, 92-109.
- Knipper, A., Kuhn, K., & Luthardt, R. G. (2024). Accuracy of dental implant placement with dynamic navigation—Investigation of the influence of two different optical reference systems: A randomized clinical trial. *Bioengineering*, 11(2), 155.
- Lee, H. C., Chiou, L. L., Yang, C. C., Lin, W. S., Dutra, V., & Hamada, Y. (2024). The accuracy of guided implant surgery with different fields of view of cone-beam computerized tomography. *The Journal of Oral Implantology*, 50(2), 111-118.
- Lemos, C. A. A., Verri, F. R., Cruz, R. S., Gomes, J. M. L., Dos Santos, D. M., Goiato, M. C., & Pellizzer, E. P. (2020). Comparison between flapless and open-flap implant placement: a systematic review and meta-analysis. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 49(9), 1220-1231.
- Lin, C. C., Wu, C. Z., Huang, M. S., Huang, C. F., Cheng, H. C., & Wang, D. P. (2020). Fully digital workflow for planning static guided implant surgery: A prospective accuracy study. *Journal of Clinical Medicine*, 9(4), 980.
- Marquez Bautista, N., Meniz-García, C., López-Carriches, C., Sánchez-Labrador, L., Cortés-Bretón Brinkmann, J., & Madrigal Martínez-Pereda, C. (2024). Accuracy of different systems of guided implant surgery and methods for quantification: A systematic review. *Applied Sciences*, 14(24), 11479.
- Momeni, F., Hassani, N. S. M., Liu, X., & Ni, J. (2017). A review of 4D printing. *Materials & Design*, 122, 42-79.
- Nulty, A. (2024). A literature review on prosthetically designed guided implant placement and the factors influencing dental implant success. *British Dental Journal Open*, 10, 22.
- Pimkhaokham, A., Chow, J., Pozzi, A., Arunjaroensuk, S., Subbalekha, K., & Mattheos, N. (2024). Computer-assisted and robotic implant surgery: Assessing the outcome measures of accuracy and educational implications. *Clinical Oral Implants Research*, 35, 939-953.

- Pozzi, A., Carosi, P., Laureti, A., Mattheos, N., Pimkhaokham, A., Chow, J., & Arcuri, L. (2024). Accuracy of navigation guided implant surgery for immediate loading complete arch restorations: Prospective clinical trial. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 26(5), 954-971.
- Pozzi, A., Hansson, L., Carosi, P., & Arcuri, L. (2021). Dynamic navigation guided surgery and prosthetics for immediate loading of complete-arch restoration. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(1), 224-236.
- Raico Gallardo, Y. N., da Silva-Olivio, I. R. T., Mukai, E., Morimoto, S., Sesma, N., & Cordaro, L. (2017). Accuracy comparison of guided surgery for dental implants according to the tissue of support: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 28(5), 602-612.
- Schneider, D., Marquardt, P., Zwahlen, M., & Jung, R. E. (2009). A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry. *Clinical Oral Implants Research*, 20(Suppl 4), 73-86.
- Shi, J., Liu, B., Wu, X., Liu, M., Zhang, Q., Lai, H., & Tonetti, M. S. (2024). Improved positional accuracy of dental implant placement using a haptic and machine-vision-controlled collaborative surgery robot: A pilot randomized controlled trial. *Journal of Clinical Periodontology*, 51(1), 24-32.
- Tahmaseb, A., Wu, V., Wismeijer, D., Coucke, W., & Evans, C. (2018). The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 29(Suppl 16), 416-435.
- Tallarico, M., Martinolli, M., Kim, Y., Cocchi, F., Meloni, S. M., Alushi, A., & Xhanari, E. (2019). Accuracy of computer-assisted template-based implant placement using two different surgical templates designed with or without metallic sleeves: A randomized controlled trial. *Dentistry journal*, 7(2), 41.
- Van Assche, N., Vercruyssen, M., Coucke, W., Teughels, W., Jacobs, R., & Quirynen, M. (2012). Accuracy of computer-aided implant placement. *Clinical Oral Implants Research*, 23(Suppl 6), 112-123.
- Vercruyssen, M., Laleman, I., Jacobs, R., & Quirynen, M. (2015). Computer-supported implant planning and guided surgery: A narrative review. *Clinical Oral Implants Research*, 26(Suppl 11), 69-76.
- Vázquez-Sebrango, G., Anitua, E., Macía, I., & Arganda-Carreras, I. (2025). The role of artificial intelligence in implant dentistry: A systematic

review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 54(1), 126-139.

- Wu, Z., Yu, X., Wang, F., & Xu, C. (2024). Application of artificial intelligence in dental implant prognosis: A scoping review. *Journal of Dentistry*, 144, 104924.
- Xing, Q., Lin, J., & Lyu, M. (2025). The Accuracy of Immediate Implantation Guided by Digital Templates and Potential Influencing Factors: A Systematic Review. *International dental journal*, 75(2), 439–452.
- Younis, H., Lv, C., Xu, B., Zhou, H., Du, L., Liao, L., & He, L. (2024). Accuracy of dynamic navigation compared to static surgical guides and the freehand approach in implant placement: A prospective clinical study. *Head & Face Medicine*, 20, 30.
- Zaww, K., Abbas, H., Vanegas Sáenz, J. R., & Hong, G. (2025). AI-driven innovations for dental implant treatment planning: A systematic review. *Journal of prosthodontic research*, 10.2186/jpr.D_24_00338. Advance online publication.
- Zhou, W., Liu, Z., Song, L., Kuo, C. L., & Shafer, D. M. (2018). Clinical factors affecting the accuracy of guided implant surgery—A systematic review and meta-analysis. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 18(1), 28-40

İMLANT DESTEKLİ RESTORASYONLARDA OKLÜZAL YÜK DAĞILIMININ SAYISAL VE DİJİTAL ANALİZİ

Dilaycan UĞURELİ

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi Bolu/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: [orcid.org/ 0009-0005-5401-0962](https://orcid.org/0009-0005-5401-0962)
- ❖ Mail: dilaycanugureli@ibu.edu.tr

Kübra DEĞİRMENCİ

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi Bolu/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: [orcid.org/ 0000-0001-6429-4923](https://orcid.org/0000-0001-6429-4923)
- ❖ Mail: kubradegirmenci@ibu.edu.tr

GİRİŞ

İmplant destekli restorasyonlar, kısmi veya tam dişsizlik sorunu olan hastalarda fonksiyon ve estetiği geri kazandırmak için yaygın olarak kullanılan tedavi seçenekleridir. İmplant diş hekimliği ve protez teknolojilerindeki gelişmeler, implant tedavilerinin başarı oranlarını önemli ölçüde artırmıştır. Bununla birlikte, implant destekli restorasyonların uzun vadeli başarısı, oklüzal ilişkilerin doğru yönetimi ve implant-protez sistemi üzerine etki eden fonksiyonel yüklerin dağılımı ile yakından ilgilidir (İlhan, Ünsal, & Özmeriç, 2025). Oklüzyon, üst ve alt çene dişleri arasındaki statik ve dinamik ilişki olarak tanımlanır ve doğru çiğneme fonksiyonunun ve temporomandibular eklem sağlığının korunmasında önemli bir rol oynar (Gözen & Güntekin, 2025). Stabil oklüzyon genellikle dengeli oklüzal temaslar, fonksiyon sırasında rahatsızlık olmaması, dikey boyutun korunması ve protez restorasyonun diş-çene sistemi içinde uygun şekilde entegre olması ile karakterize edilir (Gözen & Güntekin, 2025). Protez rehabilitasyonunda temel amaçlardan biri, kaybedilen oklüzal ilişkileri yeniden kurmak ve fonksiyonel kuvvetlerin uyumlu bir şekilde dağılmasını sağlamaktır. Doğal dişler ile dental implantlar arasında önemli biyomekanik farklılıklar bulunmaktadır. Doğal dişler, çiğneme kaslarının aktivitesini düzenleyen ve fonksiyon sırasında proprioseptif geri bildirim sağlayan çok sayıda mekanik reseptör içeren periodontal ligament aracılığıyla alveolar kemiğe bağlanır. Buna karşın, dental implantlar kemikle doğrudan osseointegrasyon sağlar ve periodontal ligament içermez (Dib Zakkour et al., 2024). İmplant destekli restorasyonlarda periodontal ligamentin bulunmaması, doğal dişlere kıyasla kuvvet iletimi ve biyomekanik davranışta farklılıklara neden olur (de Oliveira et al., 2020). İmplantlara uygulanan oklüzal kuvvetler, periodontal ligamentin şok absorbe edici etkisi olmadan doğrudan çevreleyen kemiğe aktarılır bu da implant bileşenlerinin mekanik bütünlüğünü ve implant çevresindeki dokuların yüksek oklüzal streslere maruz kalmasına sebep olabilir (Javali et al., 2025). Bu nedenle, implant destekli restorasyonların uzun vadeli stabilitesi için oklüzyon çok önemlidir. Aşırı oklüzal yükleme, protez kırılmaları, vida gevşemesi gibi mekanik komplikasyonlara veya implant çevresinde kemik kaybı ve implant başarısızlığı gibi biyolojik komplikasyonlara yol açabilir (Di Fiore et al., 2022). Fonksiyonel yük altında implantların biyomekanik davranışını daha iyi anlamak için çeşitli analitik yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında, oklüzal temasların ve kuvvet dağılımının nicel değerlendirmesini sağlayan sayısal simülasyon teknikleri ve dijital oklüzal analiz sistemleri bulunmaktadır. Dijital oklüzal analiz sistemleri, fonksiyonel

hareketler sırasında oklüzal kuvvet büyüklüğü, temas zamanlaması ve dağılım modelleri hakkında objektif veriler sağlar(Wu et al., 2023). Artikülasyon kağıdı gibi geleneksel oklüzyon değerlendirme yöntemleri, temas noktalarını belirleyebilir ancak oklüzal kuvvetin büyüklüğünü veya dağılımını doğru bir şekilde ölçemez. Bu nedenle, oklüzal ilişkilerin daha objektif bir değerlendirmesini sağlamak için dijital sistemler ve bilgisayarlı oklüzal analiz teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır(Dağtekin & Tekin). Dijital diş hekimliğinde son zamanlarda yaşanan gelişmeler, intraoral tarayıcılar, sanal artikülatörler ve bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM) sistemleri gibi ileri teknolojilerin entegrasyonunu mümkün kılmıştır. Bu teknolojiler, oklüzal ilişkilerin dijital analizini ve simülasyonunu kolaylaştırarak, klinisyenlerin implant destekli restorasyonlarda oklüzal temasları ve fonksiyonel yük dağılımını daha hassas bir şekilde değerlendirmelerine olanak tanır(Yanıkoglu, Ayhan, & Köseoğlu, 2025).

1. İmplant Destekli Restorasyonlarda Oklüzal Yük Dağılımı

Oklüzal yük dağılımı, implant destekli restorasyonların biyomekanik performansı ve uzun vadeli başarısını etkileyen kritik bir faktördür(Sakamoto, Souza, Terada, Borges, & Toniollo, 2023). Çiğneme sırasında, çiğneme kasları tarafından üretilen fonksiyonel kuvvetler, restorasyon aracılığıyla implanta ve ardından çevreleyen kemik dokusuna iletilir. Bu kuvvetlerin büyüklüğü, yönü ve dağılımı, implant-protez sisteminin mekanik stabilitesini ve implant çevresi dokuların biyolojik tepkisini belirlemede önemli bir rol oynar(Javali et al., 2025). Doğal dişler, şok absorbe edici özelliği olan ve fonksiyon sırasında dişlerin hafif hareket etmesini sağlayan periodontal ligament aracılığıyla oklüzal kuvvetleri alveolar kemiğe aktarır. Bu mekanizma, oklüzal yüklerin dağıtılmasına yardımcı olur ve çevredeki kemik yapılarını aşırı stresten korur(Dastgerdi, Bavi, & Rouhi, 2023). Buna karşın, implantlar periodontal ligament desteğinden yoksundur ve osseointegrasyon yoluyla kemiğe sert bir şekilde bağlanır, bu da oklüzal yüklerin çevredeki kemik dokusuna doğrudan aktarılmasına neden olur(Dib Zakkour et al., 2024). Bu biyomekanik fark nedeniyle, implantlar doğal dişlere kıyasla daha az hareketlilik gösterir.

Doğal dişler periodontal ligamentin esnekliği sayesinde yaklaşık 50 ila 200 µm arasında hareketlilik gösterebilirken, implantlar oklüzal yük altında minimum yer değiştirme gösterir(Akça, Uysal, & Çehreli, 2006). Sonuç olarak, implant destekli restorasyonlara etki eden oklüzal kuvvetler protezin

veya çevreleyen kemiğin belirli bölgelerinde yoğunlaşabilir ve bu da mekanik ve biyolojik komplikasyon riskini artırabilir(Dib Zakkour et al., 2024).

Birçok çalışma, aşırı oklüzal kuvvetlerin protez bileşenlerinin kırılması, vida gevşemesi ve implant başarısızlığı gibi mekanik komplikasyonlara katkıda bulunabileceğini göstermiştir(Oral, Sevinç, & Yıldırım, 2022). Ayrıca, aşırı yükleme, implant boynu ve çevresindeki kemik yapıları etrafındaki stres yoğunluğunun artmasına bağlı olarak implant çevresinde kemik kaybına neden olabilir(Di Fiore et al., 2022). Fonksiyonel yük altında implantların biyomekanik davranışını daha iyi anlamak için çeşitli analitik yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında, oklüzal temasların ve kuvvet dağılımının nicel değerlendirmesini sağlayan sayısal simülasyon teknikleri ve dijital oklüzal analiz sistemleri bulunmaktadır(Lin & Su, 2020; Sutter, 2019).

Dijital oklüzal analiz sistemleri, fonksiyonel hareketler sırasında oklüzal kuvvet büyüklüğü, temas zamanlaması ve dağılım modelleri hakkında objektif veriler sağlar.Örneğin, T-Scan gibi sistemler kullanılarak yapılan dijital oklüzal analiz, implant restorasyon yerleştirilmeden önce ve sonra oklüzal kuvvet dağılımındaki değişiklikleri değerlendirmek için kullanılmıştır(Sutter, 2019).

İmplant üstü restorasyonların oklüzal kuvvet dağılımını değerlendiren klinik çalışmalar, implant destekli protezlerin diş arkı üzerinde oklüzal kuvvetlerin dağılımını önemli ölçüde değiştirebileceğini göstermiştir. Oklüzal kuvvet dağılımındaki değişiklikler sadece implant destekli restorasyonu değil, aynı zamanda komşu ve karşıt dişleri de etkileyebilir.(Gözen & Güntekin, 2025). Ayrıca, intraoral tarayıcılar ve basınca duyarlı sensörler gibi dijital oklüzal analiz teknolojileri, implant üstü restorasyonlarda oklüzal temasları ve yük dağılım modellerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu dijital yöntemler, klinisyenlerin oklüzal ayarlamaları optimize etmelerine ve implant protezlerinde fonksiyonel sonuçları iyileştirmelerine yardımcı olabilecek nicel ve tekrarlanabilir veriler sağlar(Wu et al., 2023).

2. Oklüzal Yük Dağılımının Sayısal Analizi

Sayısal analiz yöntemleri, fonksiyonel yük altında implant destekli restorasyonların biyomekanik davranışını araştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında, sonlu elemanlar analizi (FEA), implant-protez kompleksi ve çevresindeki kemik yapıları içindeki gerilme dağılımını değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir.

Sonlu elemanlar analizi, karmaşık yapıları daha küçük elemanlara bölen ve dış yükler uygulandığında her bir eleman içinde oluşan gerilme ve gerinim değerlerini hesaplayan bir sayısal modelleme tekniğidir(Mohammed & Desai, 2014). Bu yöntem, araştırmacıların in vivo olarak analiz edilmesi zor olan çeşitli klinik koşulları ve yükleme senaryolarını simüle etmelerine olanak tanır. Sonuç olarak, FEA, diş implantlarının ve protez bileşenlerinin oklüzal kuvvetlere biyomekanik tepkisini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır(Hajaj et al., 2025; Naguib et al., 2023).

Sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar, implantlar üzerindeki oklüzal streslerin çevre kemik dokusu içindeki mekanik yüklerin dağılımını önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermiştir. İmplantlar periodontal ligament desteğinden yoksun olduğundan, oklüzal kuvvetler doğrudan kemiğe iletilir ve bu da doğal dişlere kıyasla daha yüksek stres konsantrasyonlarına neden olur(Dastgerdi et al., 2023).

Ayrıca sonlu elemanlar analizi yöntemi, implant tasarım parametrelerinin stres dağılımı üzerindeki etkisini değerlendirmek için de kullanılmıştır (Javali et al., 2025).

Sayısal simülasyonlar, özellikle sonlu elemanlar analizi (FEA), implant destekli restorasyonlarda oklüzal yükleme yönünün stres dağılım modelleri üzerindeki etkisini anlamada önemli bilgiler sağlamaktadır(Kim, Noh, Hong, & Lee, 2020; Tribst, de Jager, Dal Piva, Kleverlaan, & Feilzer, 2024).

İmplant tasarım parametrelerinin değerlendirilmesine ek olarak, sonlu elemanlar analizi, farklı protez malzemelerinin ve üst yapı tasarımlarının biyomekanik davranışını araştırmak için kullanılmıştır(Aboelfadl et al., 2024). Bu tür analizler, implant destekli restorasyonların mekanik performansı hakkında değerli bilgiler sağlar ve protez tedavi planlamasının optimize edilmesine katkıda bulunur.

3. Oklüzal Yük Dağılımının Dijital Analizi

Dijital teknolojiler, implant destekli restorasyonlarda oklüzal ilişkileri ve kuvvet dağılımını değerlendirme yeteneğini önemli ölçüde geliştirmiştir. Dijital oklüzal analiz sistemleri, oklüzal temaslar, ısırma kuvveti dağılımı ve fonksiyonel hareketler sırasında oklüzal temasların zamanlaması hakkında objektif ve nicel veriler sağlar.

Artikülasyon kağıdı,metalik folyo,silikon kapanış materyalleri,oklüzal sprey gibi geleneksel oklüzal değerlendirme yöntemleri klinik uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak esas olarak temas noktalarına ilişkin

niteliksel bilgiler sağlarlar(Kerstein & Radke, 2014). Bu yöntemler oklüzal kuvvetin büyüklüğü veya dağılımının doğru ölçümüne izin vermez. Buna karşın, dijital oklüzal analiz sistemleri klinisyenlerin oklüzal temasları dinamik ve niceliksel olarak değerlendirmelerine olanak tanıyarak oklüzal değerlendirmenin doğruluğunu artırır(Dağtekin & Tekin).

Basınca duyarlı sensörler ve dijital kayıt cihazları içeren bilgisayarlı oklüzal analiz sistemleri, oklüzal temas zamanlamasının, kuvvet yoğunluğunun ve diş arki boyunca kuvvet dağılımının ölçülmesini sağlar. Bu sistemler, mandibular hareketler sırasında oklüzal fonksiyon hakkında dinamik bilgiler sağlar ve klinisyenlerin erken temasları veya oklüzal dengesizlikleri tespit etmelerine yardımcı olabilir(Uğurgelen & Evren).

Yaygın olarak kullanılan dijital sistemler arasında, T-Scan teknolojisi implant destekli restorasyonlarda oklüzal kuvvet dağılımını analiz etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. T-Scan sistemini kullanan çalışmalar, dijital oklüzal analizin implant restorasyon yerleştirildikten sonra oklüzal kuvvetlerin yeniden dağılımı hakkında değerli bilgiler sağlayabileceğini göstermiştir. Özellikle, implant destekli protezlerin yerleştirilmesinin, diş arki boyunca ısırma kuvveti dağılımını etkilediği ve hem restore edilmiş implant bölgesini hem de komşu doğal dişleri etkilediği gösterilmiştir(Zhou, Wongpairojpanich, Sareethammanuwat, Lilakhunakon, & Buranawat, 2021).

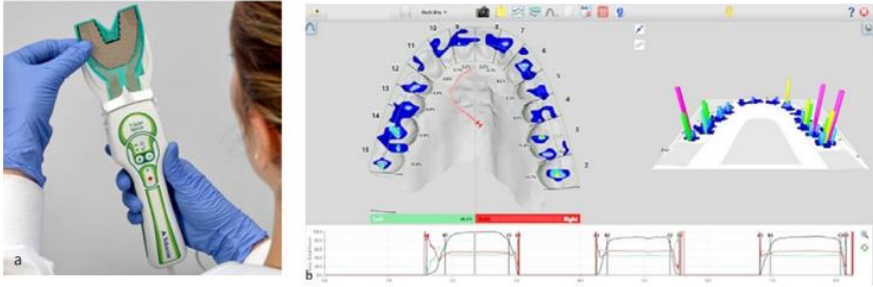
Benzer şekilde, dijital oklüzal analiz, serbest uçlu implant restorasyonlarında oklüzal kuvvet dağılımını değerlendirmek için kullanılmıştır. T-Scan sistemleri ile elde edilen kantitatif ölçümler, oklüzal kuvvet dağılımının implant restorasyonunun yerleştirilmesinden sonra önemli ölçüde değişebileceğini ve restorasyon sonrası dönemde de uyum sağlamaya devam edebileceğini göstermiştir(Wu et al., 2023).

3.1) T-Scan Sistemi

T-Scan, oklüzal temasların zamanlamasını ve göreceli kuvvet dağılımını objektif olarak değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş bilgisayarlı bir dijital oklüzal analiz sistemidir. Sistem temel olarak sensör kolu, sensör taşıyıcı ara parça, yaklaşık 100 µm kalınlığında basınca duyarlı sensör ve verilerin analiz edildiği bilgisayar yazılımından oluşmaktadır(Koos, Godt, Schille, & Göz, 2010). Hastanın sensörü ısırması sırasında sensör içerisinde bulunan iletken yapıları elektronik matriste elektriksel direnç değişmekte ve bu değişim ısırma kuvvetine ait verilerin sayısal olarak kaydedilmesini sağlamaktadır. Böylece oklüzal temaslar ilk temas anından maksimum

interküspasyona kadar gerçek zamanlı olarak kaydedilebilmekte ve dişler arasındaki temasların oluşma sırası ile dişlere gelen göreceli kuvvetler bilgisayar ortamında analiz edilebilmektedir(Sutter, 2019).

Sistemde elde edilen oklüzal veriler, dental arkı temsil eden iki boyutlu ve üç boyutlu grafikler üzerinde renk kodlu olarak gösterilmektedir. Bu grafiklerde kuvvet seviyeleri farklı renkler ve sütun yüksekliği ile temsil edilmekte, böylece oklüzal kuvvetlerin dental ark üzerindeki dağılımı görsel olarak değerlendirilebilmektedir. Ayrıca sistem, oklüzal temasların oluşma sırasını ve temas süresini belirleyebilecek şekilde temasların zamanlamasını da kaydedebilmektedir. T-Scan teknolojisi ilk olarak 1984 yılında geliştirilmiş olup zaman içerisinde farklı donanım ve yazılım versiyonları ile geliştirilerek güncel sistemlere ulaşmıştır(Kerstein, 2020). Basınca duyarlı elektronik sensör aracılığıyla kaydedilen veriler sayesinde oklüzal kuvvet dağılımı ve temas zamanlaması dijital ortamda analiz edilebilmekte ve oklüzal fonksiyonun değerlendirilmesine yönelik objektif veriler elde edilebilmektedir(Kerstein, 2020; William, 1987).



Şekil 1. a) T-Scan 10 Novus Sensör Kolu b) T-Scan bilgisayar yazılımında kuvvet dağılımı grafikleri ile kuvvet-zaman grafiği(Chowdhary & Sonnahalli, 2024)

Dijital oklüzal değerlendirmeye yönelik bir başka yaklaşım, oklüzal temas alanlarını ve kuvvet dağılım modellerini analiz etmek için intraoral tarayıcılar ve özel yazılımların kullanılmasıdır. Örneğin, oklüzal analiz yazılımı ile birleştirilen dijital izlenim sistemleri, oklüzal temasları ve kuvvet yoğunluğu dağılımını ayrıntılı bir şekilde görselleştirebilir. Klinik çalışmalarda, OccluSense ve intraoral tarayıcılar gibi dijital sistemler, oklüzal kuvvet dağılımını ve temas alanlarını ölçmede güçlü korelasyonlar göstermiştir(Gözen & Güntekin, 2025).

3.2) OccluSense Sistemi

OccluSense, oklüzal temasların ve oklüzal kuvvet dağılımının dijital olarak değerlendirilmesini sağlayan bilgisayarlı oklüzal analiz sistemlerinden biridir. Sistem, yaklaşık 60 µm kalınlığında esnek bir sensör ve sensörün bağlandığı kablosuz bir kayıt ünitesinden oluşmaktadır. Sensör yüzeyi kırmızı renkli artikülasyon mürekkebi ile kaplanmış olup, kayıt sırasında hem oklüzal temasların dijital olarak kaydedilmesine hem de diş yüzeylerinde temas noktalarının işaretlenmesine olanak sağlamaktadır. Kaydedilen veriler kablosuz ağ aracılığıyla bir mobil uygulamaya aktarılmakta ve oklüzal temaslar ile kuvvet dağılımı iki boyutlu ve üç boyutlu grafikler şeklinde görüntülenebilmektedir(Uğurgelen & Evren).

Bu sistemde oklüzal temaslar sensör üzerindeki basınca duyarlı alanlar aracılığıyla algılanmakta ve elde edilen veriler yazılım ortamında renk kodlu görseller ile temsil edilmektedir. OccluSense sistemi, oklüzal kuvvet dağılımını farklı renklerde gösterilen dijital basınç haritaları ile sunmakta ve temas bölgelerindeki basınç değişimleri iki boyutlu görüntüler veya üç boyutlu sütun grafikleri şeklinde değerlendirilebilmektedir. Sistem, kablosuz veri aktarımı ile kayıtların mobil uygulama üzerinden izlenmesine olanak tanımakta ve elde edilen oklüzal veriler dijital ortamda analiz edilebilmektedir(Sutter, 2019).



Şekil 2. Occlusense (Sutter, 2019)

Dijital teknolojiler, dijital ortamda mandibular hareketleri ve oklüzal ilişkileri simüle eden sanal artikülörlerin geliştirilmesini de mümkün kılmıştır. Sanal artikülörler, intraoral tarayıcılardan elde edilen dijital diş modellerini hastaya özgü anatomik verilerle entegre ederek, klinisyenlerin bilgisayar destekli tasarım sistemleri içinde oklüzal temasları ve fonksiyonel hareketleri değerlendirmelerine olanak tanır. Bu sistemler, oklüzal ilişkilerin

simülasyonunu kolaylaştırır ve implant destekli restorasyonlarda daha hassas protez planlamasını destekler(Yanıkoglu et al., 2025).

Dijital diş hekimliğindeki gelişmeler, konik ışınli bilgisayarlı tomografi ve yüz tarama gibi görüntüleme teknolojileriyle sanal artikülatörlerin entegrasyonu sayesinde oklüzal analiz olanaklarını daha da genişletmiştir. Bu teknolojiler, dijital diş modellerinin daha doğru hizalanmasını sağlar ve CAD/CAM iş akışları içinde oklüzal simülasyonların hassasiyetini artırır(Lobo et al., 2025).

4. Sayısal ve Dijital Analiz Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

İmplant destekli restorasyonlarda oklüzal yük dağılımının değerlendirilmesi, giderek artan bir şekilde hem sayısal hem de dijital analitik yöntemlere dayanmaktadır. Bu yaklaşımlar, implant sistemlerinin biyomekanik davranışı ve oklüzyonun fonksiyonel özellikleri hakkında tamamlayıcı bilgiler sağlar.

Sonlu elemanlar analizi, implant-protez kompleksi ve çevresindeki kemik yapıları içindeki gerilme dağılımını araştırmak için sayısal bir yöntem olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknik, farklı implant konfigürasyonlarının, protez malzemelerinin ve yükleme koşullarının simülasyonuna olanak tanıyarak, gerilme yoğunlaşma alanları ve potansiyel biyomekanik riskler hakkında ayrıntılı bilgi sağlar. Sayısal modeller, çeşitli oklüzal yükleme senaryolarını yeniden üretebilir ve bu nedenle, fonksiyonel koşullar altında implantların biyomekanik tepkisini anlamaya katkıda bulunur(Javali et al., 2025).

Sonlu elemanlar analizinin avantajlarına rağmen, bu yöntem malzeme özellikleri, sınır koşulları ve yükleme parametreleri ile ilgili varsayımlara dayanmaktadır. Bu varsayımlar, simülasyon sonuçlarının doğruluğunu etkileyebilir ve sayısal bulguların klinik uygulamaya doğrudan aktarılmasını sınırlandırabilir. Sonuç olarak, sayısal simülasyonlar, hesaplama modellerinden elde edilen sonuçları doğrulamak için genellikle deneysel ve klinik araştırmalarla tamamlanır.

Dijital oklüzal analiz sistemleri, oklüzal yük dağılımını değerlendirmek için bir başka önemli yaklaşımı temsil eder. Bu sistemler, klinisyenlerin dinamik oklüzal temasları kaydetmelerine ve mandibular hareketler sırasında ısırma kuvvetlerinin büyüklüğünü ve dağılımını ölçmelerine olanak tanır. Geleneksel oklüzal değerlendirme yöntemlerinden farklı olarak, dijital

teknolojiler oklüzal fonksiyonla ilgili objektif ve tekrarlanabilir veriler sağlar(Dağtekin & Tekin).

Bilgisayarlı oklüzal analiz cihazları, temas zamanlaması, kuvvet yoğunluğu ve oklüzal temasların sırası gibi parametreleri kaydedebilir. Bu parametreler, fonksiyonel oklüzyonla ilgili değerli bilgiler sağlar ve klinisyenlerin implant destekli restorasyonlarda oklüzal dengesizlikleri veya erken temasları tespit etmelerine yardımcı olabilir.

SONUÇ

Oklüzal yük dağılımı, implant destekli restorasyonların biyomekanik performansı ve uzun vadeli başarısında temel bir rol oynar. İmplantlarda periodontal ligament bulunmadığından, oklüzal kuvvetler doğrudan çevreleyen kemiğe iletilir, bu da implant stabilitesini ve implant çevresi doku sağlığını korumak için uygun oklüzal yönetimi zorunlu kılar(Alfaer et al., 2023; Murat, Sevinç Gül, & Şensoy, 2025).

Sayısal analiz yöntemleri, özellikle sonlu elemanlar analizi, implant sistemleri içindeki stres dağılımını araştırmak ve oklüzal yüklemenin biyomekanik etkilerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler, implantlar ve çevreleyen kemik yapıları içindeki stres modellerine ilişkin değerli bilgiler sağlar(Alemayehu & Jeng, 2021).

Dijital oklüzal analiz teknolojileri de klinik uygulamada oklüzal temasları ve ısırma kuvveti dağılımını değerlendirmek için önemli araçlar haline gelmiştir. Bilgisayarlı oklüzal analizörler, intraoral tarayıcılar ve sanal artikülatörler gibi sistemler, klinisyenlerin oklüzal ilişkileri daha objektif ve kantitatif olarak değerlendirmelerine olanak tanır(Dağtekin & Tekin; Sutter, 2019).

Sayısal simülasyonlar ve dijital oklüzal analiz yöntemlerinin entegrasyonu, implant biyomekaniği ve oklüzal fonksiyonun daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunur. Bu yaklaşımlar, protez tasarımını optimize etmek, oklüzal ayarlamaları iyileştirmek ve implant destekli restorasyonlarla ilişkili mekanik ve biyolojik komplikasyon riskini azaltmak için değerli bilgiler sağlar(Uğurgelen & Evren).

Dijital oklüzal analiz sistemleri kullanılarak yapılan klinik çalışmalar, implant destekli restorasyonların diş arkı içindeki oklüzal kuvvetlerin dağılımını etkileyebileceğini göstermiştir. İmplant protezlerinin yerleştirilmesi, sadece implant bölgesinde değil, komşu ve karşıt dişlerde de

oklüzal kuvvet modellerini değiştirebilir, bu da protez rehabilitasyonunun ardından oklüzal ayarlamamanın gerekli olduğunu gösterir(Gözen & Güntekin, 2025).

Ayrıca, T-Scan sistemleri gibi dijital oklüzal analiz teknolojileri, implant restorasyon yerleştirilmesinden sonraki farklı aşamalarda oklüzal kuvvetin yeniden dağılımını izlemek için kullanılmıştır. Bu çalışmalar, zaman içinde ısırma kuvveti dağılımında değişiklikler olduğunu bildirmiş ve restorasyon sonrası dönemde oklüzal adaptasyonun meydana gelebileceğini öne sürmüştür(Zhou et al., 2021).

Hem sayısal hem de dijital yöntemler, oklüzal yük dağılımının değerlendirilmesinde değerli bilgiler sağlar. Sayısal simülasyonlar implant sistemleri içindeki biyomekanik stres modellerinin incelenmesine olanak sağlarken, dijital oklüzal analiz fonksiyonel oklüzyon ve ısırma kuvveti dağılımı ile ilgili klinik veriler sağlar. Bu yaklaşımların entegrasyonu, implant biyomekaniği ve oklüzal fonksiyonun daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına katkıda bulunabilir.

KAYNAKLAR

- Aboelfadl, A., Keilig, L., Ebeid, K., Ahmed, M. A. M., Nouh, I., Refaie, A., & Bourauel, C. (2024). Biomechanical behavior of implant retained prostheses in the posterior maxilla using different materials: a finite element study. *BMC Oral Health*, 24(1), 455.
- Akça, K., Uysal, S., & Çehreli, M. C. (2006). Implant–tooth-supported fixed partial prostheses: correlations between in vivo occlusal bite forces and marginal bone reactions. *Clinical oral implants research*, 17(3), 331-336.
- Alemayehu, D.-B., & Jeng, Y.-R. (2021). Three-dimensional finite element investigation into effects of implant thread design and loading rate on stress distribution in dental implants and anisotropic bone. *Materials*, 14(22), 6974.
- Alfaer, A., Bakhsh, K., Alyami, I., Fallatah, R., Saloum, M., AlHarbi, N., . . . AL Shalawi, S. (2023). Indications, design considerations, and clinical outcomes of implant-supported fixed prostheses.
- Chowdhary, R., & Sonnahalli, N. K. (2024). Clinical applications of the T-Scan quantitative digital occlusal analysis technology: a systematic review. *Int J Comput Dent*, 27(1), 49-86.
- Dağtekin, A. C., & Tekin, S. Bilgisayarlı Oklüzal Analiz Sistemleri. *Aydın Dental Journal*, 11(1), 109-116.

- Dastgerdi, A. K., Babil, A. Y., & Rouhi, G. (2023). The effects of material and structural properties of the periodontal ligament in mechanical function of tooth-PDL-bone complex in dental trauma: A sensitivity study using finiteelement analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 237(5), 619-627.
- de Oliveira, J. C., Sordi, M. B., da Cruz, A. C. C., Zanetti, R. V., Betiol, E. A. G., Vieira, S. R., & Zanetti, A. L. (2020). Number of dental abutments influencing the biomechanical behavior of tooth-implant-supported fixed partial dentures: A finite element analysis. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 14(4), 228.
- Di Fiore, A., Montagner, M., Sivoilella, S., Stellini, E., Yilmaz, B., & Brunello, G. (2022). Peri-implant bone loss and overload: a systematic review focusing on occlusal analysis through digital and analogic methods. *Journal of clinical medicine*, 11(16), 4812.
- Dib Zakkour, J., Dib Zakkour, S., Montero, J., García-Cenador, B., Flores-Fraile, J., & Dib Zaitun, A. (2024). Digital analysis of occlusion in fixed partial implant prostheses: how to overcome age-related changes in the stomatognathic system. *Prosthesis*, 6(1), 119-134.
- Gözen, M., & Güntekin, N. (2025). Comparison of occlusal force distribution and digital occlusal analysis methods of single posterior implant restorations: an in vivo study. *BMC Oral Health*, 25(1), 795.
- Hajaj, T., Lile, I. E., Talpos, S., Petrie, A.-R., Veja, I., Titihazan, F., . . . Novac, A.-C. (2025). Stress Distribution in Dental Implants under Occlusal Forces—A Digital Simulation. *Medicine in Evolution*, 31(1), 72-80.
- İlhan, C. E., Ünsal, B., & Özmeriç, N. (2025). Digital Measurement, Occlusion and Radiographic Evaluation in Implant Prostheses. *Unika Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(2), 230-250.
- Javali, M. A., Sanadi, R. M., Badruddin, I. A., AlQahtani, S. M., Khader, M. A., Abdelrazag Ibrahim, W. S., & Khalid, I. (2025). Comparative analysis of occlusal stresses on bone around natural teeth, platform matched and switched implants abutments: a finite element study. *Scientific Reports*, 15(1), 19541.
- Kerstein, R. B. (2020). *The Evolution of the T-Scan I System From 1984 to the Present Day T-Scan 10 System Handbook of Research on Clinical Applications of Computerized Occlusal Analysis in Dental Medicine* (pp. 1-54): IGI Global.
- Kerstein, R. B., & Radke, J. (2014). Clinician accuracy when subjectively interpreting articulating paper markings. *CRANIO®*, 32(1), 13-23.

- Kim, J.-H., Noh, G., Hong, S.-J., & Lee, H. (2020). Biomechanical stress and microgap analysis of bone-level and tissue-level implant abutment structure according to the five different directions of occlusal loads. *The journal of advanced prosthodontics*, 12(5), 316.
- Koos, B., Godt, A., Schille, C., & Göz, G. (2010). Precision of an instrumentation-based method of analyzing occlusion and its resulting distribution of forces in the dental arch. *Journal of orofacial orthopedics/fortschritte der kieferorthopädie*, 71(6), 403-410.
- Lin, P.-J., & Su, K.-C. (2020). Biomechanical design application on the effect of different occlusion conditions on dental implants with different positions—A finite element analysis. *Applied Sciences*, 10(17), 5826.
- Lobo, S., Argolinha, I., Machado, V., Botelho, J., Rua, J., Li, J., & Mendes, J. J. (2025). Advances in digital technologies in dental medicine: enhancing precision in virtual articulators. *Journal of clinical medicine*, 14(5), 1495.
- Mohammed, S., & Desai, H. (2014). Basic concepts of finite element analysis and its applications in dentistry: An overview. *Oral Hyg Health*, 2(156), 2332-0702.1000156.
- Murat, F., Sevinç Gül, S. N., & Şensoy, A. T. (2025). Predictive mathematical modeling of biomechanical behavior in all-on-4 implants design: effects of distal implant and occlusal load angulation using RSM based on FEA. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13, 1644776.
- Naguib, G. H., Hashem, A. B. H., Abougazia, A., Mously, H. A., Qutub, O. A., & Hamed, M. T. (2023). Effect of non-rigid connector on the stress distribution of tooth-implant supported fixed prostheses using different implant length and diameter: A comparative 3D finite element study. *Journal of Prosthodontics*, 32(6), e129-e138.
- Oral, F., Sevinç, E. H. D., & Yıldırım, A. Z. (2022). İmplant Destekli Protezlerin Başarisinda Oklüzyonun Yeri. *Selcuk Dental Journal*, 9(3), 927-933.
- Sakamoto, S. P. D. S., Souza, D. H. V. D., Terada, A. S. S. D., Borges, A. L. S., & Toniollo, M. B. (2023). The importance of properly distributing the occlusal load for the correct biomechanics of implant-supported fixed partial dentures: stress analysis in implants, prosthetic components and infrastructures. *RGO-Revista Gaúcha de Odontologia*, 71, e20230055.
- Sutter, B. (2019). Digital occlusion analyzers: a product review of T-Scan 10 and OccluSense. *Advanced Dental Technologies & Techniques*, 1-31.

- Tribst, J. P. M., de Jager, N., Dal Piva, A. M., Kleverlaan, C. J., & Feilzer, A. (2024). Effect of crown retention systems and loading direction on the stress magnitude of posterior implant-supported restorations: A 3D-FEA. *Heliyon*, 10(6).
- Uğurgelen, B., & Evren, B. Dijital Oklüzal Analiz Yöntemleri. *7tepe Klinik Dergisi*, 20(Supp: 1), 11-16.
- William, L. M. (1987). Computerized occlusal analysis: a new technology. *Quintessence international*, 18, 287-292.
- Wu, M.-L., Lai, P.-Y., Cheong, F., Zhou, W.-C., Xu, S.-H., Li, H., & Shen, S. (2023). Application in the analysis of the occlusal force of free-end missing tooth implant restoration with T-SCAN III. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1039518.
- Yanıkoglu, N., Ayhan, B., & Köseoğlu, M. (2025). The Clinical Use of Virtual Articulators in the Digital Era. *Selcuk Dental Journal*, 12(3), 499-505.
- Zhou, T., Wongpairojpanich, J., Sareethammanuwat, M., Lilakhunakon, C., & Buranawat, B. (2021). Digital occlusal analysis of pre and post single posterior implant restoration delivery: A pilot study. *PloS one*, 16(7), e0252191.

İLERİ PERİODONTAL TEDAVİLERDE DİJİTAL ESTETİK DEĞERLENDİRME

Bülent ULAŞTAN

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji Bölümü, Diş Hekimliği Fakültesi, Dicle Üniversitesi Diyarbakır/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0004-0459-8318
- ❖ Mail: bulentulstn@gmail.com

GİRİŞ

Periodontal tedavilerde estetik beklenti son yıllarda belirgin biçimde artmıştır. Hastaların başvuru nedenleri yalnızca kanama, mobilite ya da hassasiyet değildir; dişeti çekilmesi, gülüş hattındaki düzensizlik, papil kaybı, asimetrik gingival marjin ve tedavi sonrasında doğal görünmeyen doku konturları da tek başına tedavi talebi oluşturmaktadır. Bu nedenle ileri düzey periodontal tedavilerin değerlendirilmesinde klinik iyileşme ile estetik iyileşmenin birbirinden ayrılmadan incelenmesi gerekir.

Klasik değerlendirme yaklaşımı periodontal sond ile alınan ölçümler, standart klinik fotoğraflar ve iki boyutlu radyografik yorum üzerine kuruludur. Bununla birlikte sondalama; operatör basıncına, giriş açısına ve anatomik erişime bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Fotoğraflar estetik değerlendirme için vazgeçilmez olsa da hacimsel değişimi, doku kalınlığını ve üç boyutlu konturu tek başına güvenilir şekilde ortaya koymaz. Bu eksiklikler, özellikle kök örtme cerrahileri ve estetik kron boyu uzatma gibi milimetrik doku değişimlerinin önemli olduğu tedavilerde daha belirgin hâle gelir (Chambrone et al., 2010; Roccuzzo et al., 2002).

Dijital teknolojiler bu noktada değerlendirme basamağını önemli ölçüde dönüştürmüştür. İntraoral tarayıcılar, yüz taraması, dijital fotoğraf standardizasyonu, CBCT ile tarama verilerinin üst üste bindirilmesi, ultrasonografi, manyetik rezonans görüntüleme ve araştırma aşamasındaki yapay zekâ destekli segmentasyon sistemleri; hem başlangıç planlamasını hem de tedavi sonrası izlemi daha nesnel hâle getirme potansiyeli taşımaktadır (Bednarz-Tumidajewicz et al., 2022; Schwarz et al., 2023; Strauss et al., 2024; Yang et al., 2023).

1. Estetik Sonucun Kavramsal Çerçevesi

İleri periodontal tedavilerde estetik sonuç çok boyutlu bir kavramdır. Tek başına kök yüzeyinin kapanma oranı ya da sondalanan cep derinliği estetik başarıyı tanımlamaz. Başlıca bileşenler; serbest dişeti kenarının seviyesi, marjinal kontur, papil yüksekliği ve dolgunluğu, mukogingival çizginin devamlılığı, doku rengi ve dokusu, bukkal hacim, klinik kron oranı ve gülüş ile yüz arasındaki uyumdur. Buna ek olarak hastanın tedavi sonrasında hissettiği konfor, ağrı, hassasiyetin azalması ve görünümünden memnuniyet düzeyi de sonucu belirleyen temel unsurlardır.

Bu çok boyutlu yapının klinikte yönetilebilmesi için farklı indeksler geliştirilmiştir. Kök örtme işlemlerinde en yaygın ölçeklerden biri Root

Coverage Esthetic Score'dur (RES). Bu indeks gingival marjın seviyesi, marjinal doku konturu, yumuşak doku tekstürü, mukogingival birleşim uyumu ve dişeti rengi üzerinden toplam 10 puanlık bir estetik değerlendirme sunar (Cairo et al., 2009). Peri-implant estetik bölgede ise önce Pink Esthetic Score (PES), daha sonra PES/White Esthetic Score (WES) kombinasyonu kullanıma girmiştir. Bu sistemler yumuşak dokuya ek olarak kron formu, renk ve yüzey özelliklerini de birlikte ele alır (Belser et al., 2009; Fürhauser et al., 2005).

Bununla birlikte bu indekslerin çoğu hâlen fotoğraf temelli ya da gözlemciye dayalı yarı-objektif araçlardır. Güncel dijital yaklaşımlar bu indeksleri tamamen ortadan kaldırmamakta; tersine, onları hacimsel ve sayısal ölçümlerle tamamlayarak daha güçlü bir değerlendirme zemini oluşturmaktadır. Bu nedenle çağdaş yaklaşım, klinisyen raporlu indeksler ile hasta bildirimli sonuçların ve dijital hacim analizlerinin birlikte yorumlanmasına dayanmalıdır (Cairo et al., 2020; Stefanini et al., 2016).

2. Dijital Değerlendirmede Kullanılan Başlıca Yöntemler

2.1. Standartlaştırılmış dijital klinik fotoğrafçılık ve gülüş analizi

Dijital fotoğrafçılık hâlen estetik değerlendirmenin temel taşıdır. Aynı odak uzaklığı, ışık koşulu, baş pozisyonu ve retraksiyon standardı sağlandığında gingival marjın seviyesi, zenit konumu, papil dolgunluğu, gingival display ve doku rengi oldukça güvenilir biçimde izlenebilir. Yüz fotoğraflarının gülüş videoları ve dijital gülüş tasarımı yazılımları ile birleştirilmesi, tedavi hedefinin yalnızca diş üzerinde değil yüz bütünlüğü içinde belirlenmesine katkı verir. Özellikle estetik kron boyu uzatma ve gummy smile olgularında bu yaklaşım, tedavi öncesi iletişim ve cerrahi sınırların belirlenmesinde yarar sağlar (Deliberador et al., 2020; Ntovas et al., 2023).

Bununla birlikte fotoğraf tabanlı analiz iki önemli kısıt taşır: birincisi hacim değişimini doğrudan ölçemez; ikincisi renk ve ışık farklılıkları doku değerlendirmesini etkileyebilir. Bu nedenle fotoğraflar dijital değerlendirme zincirinin başlangıcı olarak görülmeli, mümkün olduğunda üç boyutlu verilerle desteklenmelidir.

2.2. İntraoral tarayıcılar ve üç boyutlu yüzey taraması

İntraoral tarayıcılar yumuşak ve sert doku yüzeyini yüksek çözünürlükte kaydederek tedavi öncesi ve sonrası dijital modellerin üst üste

bindirilmesine olanak verir. Bu sayede yalnızca lineer çekilme derinliği değil, bukkal hacim kazancı, hacim kaybı, ortalama doku kalınlığı değişimi ve belirli ilgi alanlarındaki yüzey alanı değişimleri hesaplanabilir. Kök örtme işlemlerinin hacimsel sonucunu değerlendiren çalışmalarda optik tarama ve sanal süperpozisyonun invaziv olmayan, tekrarlanabilir ve klinik olarak uygulanabilir bir yöntem sunduğu gösterilmiştir (Marques et al., 2021; Xue et al., 2021; Zuhr et al., 2014).

Intraoral tarama ile elde edilen dijital modeller ayrıca keratinize doku genişliği, papil yüksekliği ve klinik kron oranı gibi estetik açıdan anlamlı parametrelerin ölçümünde de kullanılabilir. Periodontal fenotip analizinde tarayıcı verilerinin renk, alan ve kontur ölçümleriyle birleştirilmesi; geleneksel sondalama kadar hatta bazı yönlerden daha hasta dostu bir yaklaşım sunmaktadır (Altaweel et al., 2024; Nalbantoğlu et al., 2023).

2.3. CBCT ve hibrit veri entegrasyonu

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi estetik değerlendirmenin doğrudan değil, çoğunlukla destekleyici aracıdır. Alveol kemiğinin tepe seviyesi, fasiyal kemik duvarı kalınlığı, dehissens veya fenestrasyon varlığı ve diş-kemik ilişkisi gibi parametreler, estetik sonucun biyolojik zeminini açıklar. Ancak yumuşak doku sınırları CBCT’de her zaman net seçilemez. Bu nedenle güncel eğilim, CBCT verisinin intraoral tarama ile üst üste bindirilmesidir. Böylece kemik ve yumuşak doku aynı üç boyutlu koordinat sistemi içinde değerlendirilebilir (Bednarz-Tumidajewicz et al., 2022; Yang et al., 2023).

Estetik kron boyu uzatma planlamasında dijital gülüş tasarımı ile CBCT verisinin birleştirilmesi, yalnızca yeni gingival marjın seviyesinin değil, biyolojik genişliğe saygılı kemik rezeksiyon sınırının da belirlenmesine yardım eder. Rehberli cerrahi ve üç boyutlu baskı uygulamaları bu planın klinik ortama aktarılmasını kolaylaştırır (Deliberador et al., 2020; Lobo et al., 2022; Ntovas et al., 2023).

2.4. Ultrasonografi ve manyetik rezonans görüntüleme

Doku kalınlığının doğru ölçümü, özellikle periodontal fenotip modifikasyonu hedeflenen olgularda estetik öngörü için kritiktir. Ultrasonografi, radyasyon içermemesi ve gerçek zamanlı ölçüm yapabilmesi nedeniyle dikkat çekmektedir. Çeşitli çalışmalar ultrasonografik ölçümlerin klinik fenotip değerlendirmesi için kullanılabileceğini; bazı bölgelerde CBCT ile kombine dijital yöntemlerden daha doğru sonuç verebildiğini bildirmiştir (Bednarz-Tumidajewicz et al., 2022).

Dental manyetik rezonans görüntüleme ise daha yeni bir alternatiftir. Alt ön bölgede gingiva kalınlığının ölçümünde dental MRI'nın, prob ve CBCT-üst üste bindirilmiş tarama verileri ile klinik olarak kabul edilebilir uyum gösterdiği bildirilmiştir. Radyasyon içermemesi önemli avantaj olmakla birlikte, cihaz erişimi ve maliyet bugün için sınırlayıcıdır (Schwarz et al., 2024).

2.5. Yapay zekâ destekli görüntü işleme

Yapay zekâ temelli segmentasyon ve görüntü işleme sistemleri, dijital değerlendirmede yeni bir basamak oluşturmaktadır. CBCT ile intraoral taramanın otomatik hizalanması, dişeti sınırlarının ayrıştırılması ve doku kalınlığının sanal olarak ölçülmesi; klasik manuel iş akışlarına göre daha hızlı ve standartlaştırılabilir sonuçlar vaat etmektedir. Hayvan modeli üzerinde yapılan bir pilot çalışmada, yapay zekâ destekli sanal ölçümlerin klinik ölçümlerle güçlü uyum gösterdiği bildirilmiştir (Yang et al., 2023). Klinik yaygın kullanım için daha fazla insan çalışmasına ihtiyaç olsa da bu alanın önümüzdeki yıllarda periodontal değerlendirmeyi derinden etkilemesi beklenmektedir.

3. İleri Periodontal Tedavi Alanlarında Dijital Estetik Değerlendirme

3.1. Kök örtme cerrahileri ve periodontal plastik cerrahi

Gingival çekilme tedavisinde başarı eskiden çoğunlukla kök kapanma yüzdesi üzerinden yorumlanırken, günümüzde doku estetiği en az klinik kapanma kadar önemsenmektedir. RES bu amaçla kullanılagelen temel indekstir (Cairo et al., 2009). Bununla birlikte kök yüzeyi kapanmış olsa bile bukkal hacim yetersizliği, renk uyumsuzluğu veya marjinal düzensizlik estetik memnuniyeti azaltabilir. Bu nedenle üç boyutlu yüzey taraması özellikle bağ dokusu grefti, tünel tekniği, koronal kaydırılmış flep ve biyomateryal kullanılan girişimlerin karşılaştırılmasında önemli bir üstünlük sağlar.

Zuhr ve arkadaşları, kök örtme sonrasında 3 boyutlu dijital ölçüm yöntemlerinin klinik ve hasta merkezli sonuçlarla birlikte kullanılabileceğini göstermiştir. Daha sonraki uzun dönem değerlendirmelerde yumuşak doku kalınlığındaki artışın hem klinik hem estetik sonuçlarla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Zuhr et al., 2014; Zuhr et al., 2021). Benzer şekilde, dijital hacim analizi kullanan çalışmalar, tedavi sonrası erken dönemde görülen hacim kaybının belirli bir süreden sonra stabilize olabildiğini ve bu bilginin

uzun dönem estetik öngörü açısından değer taşıdığını ortaya koymuştur (Marques et al., 2021; Xue et al., 2021).

Randomize klinik araştırmalar da yalnızca klinik örtme oranının değil, estetik alt bileşenlerin ve hasta memnuniyetinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Örneğin bazı çalışmalarda bağ dokusu grefti uygulanan gruplarda toplam estetik skor daha yüksek bulunurken; kollajen matriks kullanılan gruplarda kontur ve yüzey tekstürü yönünden avantajlı sonuçlar rapor edilmiştir (Cairo et al., 2012; Pelekos et al., 2019). Bu bulgular, dijital değerlendirmeyi yalnızca nicel ölçüm aracı değil, tedavi seçimini yönlendiren bir karar desteği olarak da önemli kılar.

3.2. Estetik kron boyu uzatma ve gummy smile düzeltmeleri

Estetik kron boyu uzatma girişimlerinde asıl hedef yalnızca dişetini kısaltmak değil; dentogingival kompleksin yüz, dudak ve diş oranlarıyla uyumlu bir mimariye yeniden kavuşturulmasıdır. Bu nedenle ön değerlendirmede fotoğraf, video, yüz taraması ve mümkünse CBCT birlikte ele alınmalıdır. Dijital gülüş tasarımı yazılımları sayesinde zenit konumu, insizal kenar ilişkisi ve yeni kron oranı önceden simüle edilebilir. Üç boyutlu baskılı kılavuzlar ise planlanan gingival çizginin ve kemik düzeltmesinin cerrahi sahaya doğru aktarılmasını sağlar (Deliberador et al., 2020; Ntovas et al., 2023).

Yakın tarihli olgu serileri, estetik kron boyu uzatma sonrasında dijital fotoğraflar ve yumuşak doku-CBCT ölçümleri kullanılarak geliştirilen estetik skorların anlamlı iyileşme gösterdiğini bildirmiştir. Bu yaklaşım, estetik sonucu yalnızca operatör izlenimiyle değil; gingival zenit, papil ve çekilme parametreleri üzerinden yapılandırılmış biçimde değerlendirmeye olanak tanır (Lobo et al., 2022).

3.3. Periodontal fenotip modifikasyonu ve doku kalınlığı izlemi

İnce periodontal fenotipte marjinal doku stabilitesi daha kırılgan olabilir; bu durum gerek cerrahi planlama gerek restoratif sınırların belirlenmesi açısından önemlidir. Fenotipin dijital yöntemlerle ölçülmesi, riskin nesnelleştirilmesini sağlar. Ultrasonografi, CBCT-intraoral tarama entegrasyonu, fotoğraf densitometrisi ve MRI bu alanda öne çıkan yöntemlerdir (Altaweel et al., 2024; Bednarz-Tumidajewicz et al., 2022; Schwarz et al., 2024).

Fenotip verisinin estetik sonuçla ilişkilendirilmesi klinik açıdan değerlidir. Çünkü yalnızca mevcut doku kalınlığını bilmek değil, hangi

hastada hacim artırıcı girişime ihtiyaç duyulacağını öngörmek de önemlidir. Dijital veri setleri, zaman içinde ölçüm tekrarı yapılmasına elverişli olduğundan, greft sonrası doku stabilitesi ve bukkal kontur değişimi daha ayrıntılı izlenebilir.

3.4. Peri-implant yumuşak doku augmentasyonu

Bu bölüm doğal diş çevresindeki periodontal tedavileri merkeze almakla birlikte, estetik bölgedeki peri-implant yumuşak doku yönetimi de aynı değerlendirme mantığını paylaşır. Son yıllarda yayımlanan derlemeler; intraoral tarama, CBCT, ultrasonografi ve dijital renk ölçümünün peri-implant estetik ve yumuşak doku stabilitesinin izlenmesinde giderek daha fazla kullanıldığını göstermektedir (Strauss et al., 2024). PES/WES sistemi bu alanda önemli bir referans olmaya devam etse de dijital hacim ve renk analizi sayesinde daha nesnel izlem mümkün hâle gelmektedir (Belser et al., 2009; Fürhauser et al., 2005).

4. Hasta Bildirimli Sonuçların Dijital Ortama Entegrasyonu

Estetik sonuç sadece klinisyenin gördüğüyle sınırlı değildir. Kimi zaman klinik ölçüm mükemmele yakın olsa da hasta gülüşünden memnun kalmayabilir; kimi zaman da sınırlı kök örtmesine rağmen renk uyumu ve hassasiyet azalması nedeniyle hasta sonucu başarılı kabul edebilir. Bu nedenle hasta bildirimli sonuçlar, ileri periodontal tedavilerin ayrılmaz parçasıdır.

Kök örtme girişimlerine ilişkin randomize çalışmalar; görsel analog skalalar, estetik memnuniyet anketleri ve yaşam kalitesi ölçeklerinin klinik sonuçlarla her zaman birebir paralel gitmediğini göstermektedir (Dos Santos et al., 2017; Stefanini et al., 2016). Dijital fotoğraf arşivi, hasta portalları ve çevrim içi anket sistemleri bu verilerin zaman içinde düzenli toplanmasına olanak verir. Böylece estetik sonucun yalnızca postoperatif tek bir ziyarette değil, iyileşme sürecinin farklı evrelerinde değerlendirilmesi mümkün olur.

Gelecekte dijital değerlendirme protokollerinin; klinik indeksler, hacimsel ölçümler, renk analizleri ve hasta bildirimli verileri tek platformda birleştiren karar destek sistemlerine dönüşmesi beklenmektedir. Bu entegrasyon, özellikle akademik çalışmalarda sonuç ölçütlerinin standardizasyonuna katkı sağlayacaktır.

5. Dijital Değerlendirmenin Üstünlükleri ve Sınırlılıkları

Dijital yöntemlerin en önemli üstünlüğü ölçümün tekrarlanabilirliğini artırmasıdır. Milimetrik değişimler arşivlenebilir, farklı zaman noktaları üst üste bindirilebilir ve ölçüm hatası büyük ölçüde azaltılabilir. Ayrıca hasta ile iletişim kolaylaşır; planlanan estetik hedef somut biçimde gösterilebilir. Akademik araştırmalarda ise dijital kayıtlar kör değerlendirme, uzaktan denetim ve çok merkezli veri standardizasyonu açısından belirgin avantaj sağlar.

Bununla birlikte her dijital veri otomatik olarak daha doğru değildir. Tarama kalitesi, yumuşak dokunun hareketi, retraksiyon biçimi, süperpozisyon algoritması, fotoğraf standardizasyonu ve yazılım seçimi sonuçları etkileyebilir. CBCT’de radyasyon dozu göz önünde bulundurulmalı; salt estetik değerlendirme amacıyla gereksiz görüntüleme yapılmamalıdır. Ayrıca maliyet, öğrenme eğrisi ve yazılımlar arası uyumsuzluk da günlük pratiği sınırlandıran etmenlerdir.

Bir diğer önemli nokta da dijital ölçümün klinik bağlamdan koparılmasıdır. Üç boyutlu hacim kazancı sayısal olarak yüksek olsa bile doku rengi komşu alanlarla uyumsuz ise sonuç estetik açıdan tatmin edici olmayabilir. Benzer şekilde mükemmel fotoğrafik görünüm, biyolojik stabilite sorunlarını gizleyebilir. Bu nedenle dijital değerlendirmenin ideal kullanımı, klinik muayene ve hasta görüşü ile birlikte yapılan bütüncül yorumdur.

6. Gelecek Perspektifi

Önümüzdeki dönemde periodontal estetik değerlendirmenin üç ana ekseninde gelişeceği öngörülebilir. Birincisi, çoklu veri entegrasyonu artacaktır. Yüz taraması, intraoral tarama, dinamik gülüş videoları, CBCT ve yumuşak doku kalınlığı ölçümleri tek sanal hasta modelinde birleştirilecektir. İkincisi, yapay zekâ destekli segmentasyon ve otomatik skor üretimi yaygınlaşacaktır. Üçüncüsü, hasta bildirimli sonuçlarla biyometrik ölçümlerin eş zamanlı izlendiği hibrit takip sistemleri klinik araştırmaların standardını belirleyecektir.

Bu gelişmelerin hedefi teknoloji kullanmak değil; estetik sonucun daha öngörülebilir, daha ölçülebilir ve hasta açısından daha anlamlı hâle getirilmesidir. Dolayısıyla dijitalleşme, periodontal tedavinin özünü

değiştirmekten çok, değerlendirme hassasiyetini derinleştiren bir araç olarak görülmelidir.

SONUÇ

İleri düzey periodontal tedavilerde estetik sonucun değerlendirilmesi, artık yalnızca klinik fotoğrafa bakılarak ya da lineer sondalama ölçümleriyle tamamlanabilecek bir süreç değildir. Kök örtme cerrahileri, estetik kron boyu uzatma, fenotip modifikasyonu ve peri-implant yumuşak doku augmentasyonu gibi uygulamalarda dijital fotoğrafçılık, intraoral tarama, CBCT entegrasyonu, ultrasonografi, MRI ve yapay zekâ destekli görüntü analizi giderek daha merkezi bir konum kazanmaktadır.

En güçlü yaklaşım; klinisyen raporlu estetik indeksleri, üç boyutlu hacimsel ölçümleri ve hasta bildirimli sonuçları birlikte değerlendiren yaklaşımdır. Bu bütüncül model sayesinde hem tedavi planlaması daha rasyonel yapılabilir hem de postoperatif sonuçlar daha nesnel biçimde izlenebilir. Sonuç olarak dijital değerlendirme, ileri periodontal tedavilerde estetik başarının belgelenmesi ve sürdürülebilirliğinin izlenmesi için vazgeçilmez bir yardımcı hâline gelmiştir.

KAYNAKLAR

- Altaweel, S., Sehli, M., Khogeer, M., Ayyash, R., Al Zahrani, S., Al-Ghalib, T., & Abdelrasoul, M. (2024). Digital photometric analysis as a non-invasive method to determine gingival phenotype: A comparative study. *Saudi Dental Journal*, 36(11), 1466–1471. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2024.09.005>
- Bednarz-Tumidajewicz, M., Furtak, A., Zakrzewska, A., Rapala, M., Gerreth, K., Gedrange, T., & Bednarz, W. (2022). Comparison of the effectiveness of the ultrasonic method and cone-beam computed tomography combined with intraoral scanning and prosthetic-driven implant planning method in determining the gingival phenotype in the healthy periodontium. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12276. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912276>
- Belser, U. C., Grütter, L., Vailati, F., Bornstein, M. M., Weber, H.-P., & Buser, D. (2009). Outcome evaluation of early placed maxillary anterior single-tooth implants using objective esthetic criteria: A cross-sectional, retrospective study in 45 patients with a 2- to 4-year follow-up using pink and white esthetic scores. *Journal of Periodontology*, 80(1), 140–151. <https://doi.org/10.1902/jop.2009.080435>

- Cairo, F., Rotundo, R., Miller, P. D., & Pini Prato, G. P. (2009). Root coverage esthetic score: A system to evaluate the esthetic outcome of the treatment of gingival recession through evaluation of clinical cases. *Journal of Periodontology*, 80(4), 705–710. <https://doi.org/10.1902/jop.2009.080565>
- Cairo, F., Cortellini, P., Tonetti, M., Nieri, M., Mervelt, J., Cincinelli, S., & Pini-Prato, G. (2012). Coronally advanced flap with and without connective tissue graft for the treatment of single maxillary gingival recession with loss of inter-dental attachment. A randomized controlled clinical trial. *Journal of Clinical Periodontology*, 39(8), 760–768. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2012.01903.x>
- Cairo, F., Barootchi, S., Tavelli, L., Barbato, L., Wang, H.-L., Rasperini, G., Graziani, F., & Tonetti, M. (2020). Aesthetic-and patient-related outcomes following root coverage procedures: A systematic review and network meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 47(11), 1403–1415. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13346>
- Chambrone, L., Sukekava, F., Araújo, M. G., Pustigliani, F. E., Chambrone, L. A., & Lima, L. A. (2010). Root-coverage procedures for the treatment of localized recession-type defects: A Cochrane systematic review. *Journal of Periodontology*, 81(4), 452–478. <https://doi.org/10.1902/jop.2010.090540>
- Deliberador, T. M., Weiss, S. G., Domingues Neto, A. T., Zetola, I. Z., Prix, M. E. S., Rigo Júnior, D., Martins, H. H., & Storrer, C. L. M. (2020). Guided periodontal surgery: Association of digital workflow and piezosurgery for the correction of a gummy smile. *Case Reports in Dentistry*, 2020, 7923842. <https://doi.org/10.1155/2020/7923842>
- Dos Santos, M. R., Sangiorgio, J. P. M., Neves, F. L. S., França-Grohmann, I. L., Nociti, F. H., Jr., Ruiz, K. G. S., Santamaria, M. P., & Sallum, E. A. (2017). Xenogenous collagen matrix and/or enamel matrix derivative for treatment of localized gingival recessions: A randomized clinical trial. Part II: Patient-reported outcomes. *Journal of Periodontology*, 88(12), 1319–1328. <https://doi.org/10.1902/jop.2017.170127>
- Fürhauser, R., Florescu, D., Benesch, T., Haas, R., Mailath, G., & Watzek, G. (2005). Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: The pink esthetic score. *Clinical Oral Implants Research*, 16(6), 639–644. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2005.01193.x>
- Lobo, M., Monteiro, M. F., Rodrigues, R. Q. F., Xambre, P. A. O., Rondina, A. R., Andere, N. M. R. B., & Castro Dos Santos, N. C. (2022). Modified technique for esthetic crown lengthening in the natural dentition: Case series. *International Journal of Esthetic Dentistry*, 17(2), 186–200.

- Marques, T., Martins, T. M., de Molon, R. S., de Avila, E. D., da Silva, V. A. C., Hirata, D. Y., de Andrade, C. R., & Cirelli, J. A. (2021). A new digital evaluation protocol applied in a retrospective analysis of periodontal plastic surgery of gingival recessions. *Scientific Reports*, 11(1), 20399. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99573-6>
- Nalbantoğlu, A. M., & Yanık, D. (2023). Revisiting the measurement of keratinized gingiva: A cross-sectional study comparing an intraoral scanner with clinical parameters. *Journal of Periodontal & Implant Science*, 53(5), 362–375. <https://doi.org/10.5051/jpis.2204320216>
- Ntovas, P., Pashias, A., Vassilopoulos, S., Gürel, G., Madianos, P., & Papazoglou, E. (2023). Esthetic rehabilitation through crown lengthening and laminate veneers. A digital workflow. *International Journal of Esthetic Dentistry*, 18(4), 330–344.
- Pelekos, G., Lu, J. Z., Ho, D. K. L., Graziani, F., Cairo, F., Cortellini, P., & Tonetti, M. S. (2019). Aesthetic assessment after root coverage of multiple adjacent recessions with coronally advanced flap with adjunctive collagen matrix or connective tissue graft: Randomized clinical trial. *Journal of Clinical Periodontology*, 46(5), 564–571. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13103>
- Roccuzzo, M., Bunino, M., Needleman, I., & Sanz, M. (2002). Periodontal plastic surgery for treatment of localized gingival recessions: A systematic review. *Journal of Clinical Periodontology*, 29(S3), 178–194. <https://doi.org/10.1034/j.1600-051X.29.s3.11.x>
- Schwarz, L., Unger, E., Gahleitner, A., Rausch-Fan, X., & Jonke, E. (2024). A novel approach for gingiva thickness measurements around lower anterior teeth by means of dental magnetic resonance imaging. *Clinical Oral Investigations*, 28(1), 18. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05459-4>
- Stefanini, M., Jepsen, K., de Sanctis, M., Baldini, N., Greven, B., Heinz, B., Wennström, J., Cassel, B., Vignoletti, F., Sanz, M., Jepsen, S., & Zucchelli, G. (2016). Patient-reported outcomes and aesthetic evaluation of root coverage procedures: A 12-month follow-up of a randomized controlled clinical trial. *Journal of Clinical Periodontology*, 43(12), 1132–1141. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12626>
- Strauss, F. J., Gil, A., Smirani, R., Rodriguez, A., Jung, R., & Thoma, D. (2024). The use of digital technologies in peri-implant soft tissue augmentation: A narrative review on planning, measurements, monitoring and aesthetics. *Clinical Oral Implants Research*, 35(8), 922–938. <https://doi.org/10.1111/clr.14238>
- Xue, F., Ma, J., Tan, J., Sun, X., Sae-Lim, V., Li, K., Wang, W., & Wang, H. (2021). Three-dimensional quantitative measurement of buccal

- augmented tissue with modified coronally advanced tunnel technique and de-epithelialized gingival graft: A prospective case series. *BMC Oral Health*, 21, 123. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01522-2>
- Yang, M., Li, C., Yang, W., Chen, C., Chung, C.-H., Tanna, N., & Zheng, Z. (2023). Accurate gingival segmentation from 3D images with artificial intelligence: An animal pilot study. *Progress in Orthodontics*, 24(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s40510-023-00465-4>
- Zucchelli, G., Mele, M., Mazzotti, C., Marzadori, M., Montebugnoli, L., & De Sanctis, M. (2009). Coronally advanced flap with and without vertical releasing incisions for the treatment of multiple gingival recessions: A comparative controlled randomized clinical trial. *Journal of Periodontology*, 80(7), 1083–1094. <https://doi.org/10.1902/jop.2009.090041>
- Zuhr, O., Akakpo, D., Eickholz, P., Vach, K., Hürzeler, M. B., & Petsos, H. (2021). Tunnel technique with connective tissue graft versus coronally advanced flap with enamel matrix derivate for root coverage: 5-year results of an RCT using 3D digital measurement technology for volumetric comparison of soft tissue changes. *Journal of Clinical Periodontology*, 48(7), 949–961. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13451>
- Zuhr, O., Rebele, S. F., Schneider, D., Jung, R. E., & Hürzeler, M. B. (2014). Tunnel technique with connective tissue graft versus coronally advanced flap with enamel matrix derivative for root coverage: A RCT using 3D digital measuring methods. Part I. Clinical and patient-centred outcomes. *Journal of Clinical Periodontology*, 41(6), 582–592. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12178>

DENTAL MATERYALLERDE ANTİBAKTERİYEL VE ANTİBİYOFİLM YÜZEY MODİFİKASYON TEKNİKLERİ

Remzi FIRAT

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Dicle Üniversitesi,
Diyarbakır/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0001-7441-2265
- ❖ Mail: rmz.frtt@gmail.com

GİRİŞ

Dental materyallerin uzun dönem klinik başarısı yalnızca mekanik özelliklerine değil, aynı zamanda biyolojik çevre ile etkileşimlerine de bağlıdır. Özellikle restoratif ve protetik materyallerin ağız ortamında mikrobiyal kolonizasyona maruz kalması, sekonder çürük ve peri-implant hastalıklar gibi komplikasyonların gelişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle son yıllarda dental materyallerin yüzey özelliklerinin modifiye edilerek antibakteriyel özellik kazandırılması önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir (Imazato ve ark., 2020).

Ağız ortamında biyofilm oluşumu, mikroorganizmaların yüzeye adezyonu ile başlayan ve kompleks bir ekstraselüler matriks yapısının oluşumu ile devam eden çok aşamalı bir süreçtir. Bu süreç, dental materyallerin yüzey özelliklerinden doğrudan etkilenmektedir. Özellikle yüzey pürüzlülüğü ve yüzey enerjisi, bakteriyel adezyonun belirleyici faktörleri arasında yer almaktadır (Kawai ve ark., 2000).

Modern dental materyal geliştirme yaklaşımlarında yalnızca biyoyumumluluk değil, aynı zamanda aktif antibakteriyel özellik kazandırılması hedeflenmektedir. Bu bağlamda yüzey modifikasyon teknikleri, materyalin bulk yapısını değiştirmeden yüzey özelliklerini optimize ederek biyofilm oluşumunu azaltmayı amaçlamaktadır (Busscher ve ark., 2012).

Dental materyallerin yüzeyine mikroorganizmaların tutunması yalnızca fiziksel bir süreç olmayıp, aynı zamanda yüzey kimyası, yüzey yükü ve protein adsorpsiyonu gibi çok faktörlü etkileşimlerin sonucudur. Ağız ortamında tükürük proteinlerinin oluşturduğu pellicle tabakası, bakteriler için bir köprü görevi görerek yüzeye adezyonu kolaylaştırmakta ve erken dönem biyofilm oluşumunu başlatmaktadır. Bu nedenle güncel yüzey modifikasyon yaklaşımları yalnızca bakterileri hedef almakla kalmayıp, aynı zamanda protein adsorpsiyonunu ve yüzey serbest enerjisini de kontrol etmeye odaklanmaktadır (Hannig ve Hannig, 2009).

Dental materyallerin antibakteriyel özellik kazanması, yalnızca bakteriyel adezyonun azaltılması ile sınırlı olmayıp, aynı zamanda mevcut biyofilm yapısının destabilizasyonunu da içermektedir. Bu bağlamda yüzey modifikasyonları, bakteriyel hücre duvarı ile etkileşime giren kimyasal fonksiyonel grupların eklenmesi veya yüzeyde reaktif oksijen türleri oluşturan yapılar geliştirilmesi gibi mekanizmalarla etki gösterebilmektedir. Özellikle son yıllarda geliştirilen fonksiyonel yüzeyler, hem antibakteriyel hem de

antibiyofilm özellikleri bir arada sağlayarak daha etkin sonuçlar ortaya koymaktadır (Campoccia ve ark., 2013).

Bununla birlikte, antibakteriyel yüzey modifikasyonlarının etkinliği yalnızca materyalin özelliklerine değil, aynı zamanda ağız ortamının dinamik yapısına da bağlıdır. Tükürük akışı, pH değişimleri, mekanik aşınma ve diyet alışkanlıkları gibi faktörler, yüzey özelliklerinin zamanla değişmesine ve antibakteriyel etkinliğin azalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle geliştirilen yüzeylerin yalnızca başlangıçta değil, uzun dönem klinik koşullar altında da stabil ve etkili olması gerekmektedir (Busscher ve ark., 2010).

Ayrıca antibakteriyel yüzey modifikasyonlarında dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan biri, elde edilen etkinliğin konak dokulara zarar vermeden sağlanmasıdır. Yüksek antibakteriyel aktivite gösteren bazı ajanlar, aynı zamanda sitotoksik etkilere de sahip olabilmektedir. Bu durum, özellikle dental pulpa ve çevre yumuşak dokular açısından klinik risk oluşturabilir. Bu nedenle güncel yaklaşımlar, selektif olarak bakterileri hedefleyen ve insan hücreleri ile uyumlu olan biyouyumlu sistemlerin geliştirilmesine odaklanmaktadır (Schmalz ve Arenholt-Bindslev, 2009).

Son olarak, antibakteriyel ve antibiyofilm yüzey modifikasyonlarının klinik başarıya yansımaları, yalnızca laboratuvar verileri ile değil, uzun dönem klinik çalışmalar ile de değerlendirilmelidir. İn vitro çalışmalar genellikle kontrollü koşullar altında gerçekleştirilmekte olup, ağız ortamının kompleks yapısını tam olarak yansıtmayabilir. Bu nedenle gelecekte yapılacak araştırmalarda in vivo ve klinik çalışmaların artırılması, elde edilen verilerin klinik pratiğe aktarılabilirliğini güçlendirecektir (Hannig ve Hannig, 2009).

Biyofilm Oluşumu ve Mekanizması

Biyofilm oluşumu, mikroorganizmaların dental yüzeylere adezyonu ile başlayan ve kompleks, organize bir mikrobiyal yapı haline dönüşen çok aşamalı bir süreçtir. İlk aşamada tükürük proteinlerinin yüzeyde oluşturduğu pellicle tabakası, bakteriler için uygun bir adezyon substratı sağlar. Bu tabaka üzerine tutunan erken kolonizatör bakteriler, zamanla çoğalarak daha kompleks mikroorganizma topluluklarının gelişimine zemin hazırlar (Marsh, 2005).

Biyofilm gelişiminin ikinci aşamasında, erken kolonizatör bakteriler yüzeye bağlandıktan sonra koagregasyon mekanizmaları ile diğer bakteriyel türlerin tutunmasını kolaylaştırır. Bu süreçte özellikle Streptococcus türleri, yüzeyde ilk yerleşen mikroorganizmalar arasında yer almakta ve ardından

Fusobacterium nucleatum gibi köprü bakteriler aracılığıyla daha kompleks mikrobiyal toplulukların oluşumu sağlanmaktadır. Bu çok katmanlı yapı, bakterilerin çevresel stres faktörlerine karşı daha dirençli hale gelmesine katkıda bulunmaktadır (Kolenbrander ve ark., 2010).

Biyofilm olgunlaşma aşamasında bakteriler, ekstraselüler polimerik maddeler (EPS) olarak adlandırılan kompleks bir matriks üretir. Bu matriks; polisakkaritler, proteinler, lipitler ve nükleik asitlerden oluşmakta olup bakterileri çevresel faktörlere karşı koruyan bir bariyer görevi görmektedir. EPS yapısı aynı zamanda antibakteriyel ajanların biyofilm içerisine penetrasyonunu zorlaştırarak tedavi etkinliğini azaltmaktadır (Flemming ve Wingender, 2010).

Biyofilm yapısının bir diğer önemli özelliği, mikroorganizmalar arasında gerçekleşen hücreler arası iletişim sistemleridir. “Quorum sensing” olarak adlandırılan bu mekanizma, bakterilerin popülasyon yoğunluğuna bağlı olarak gen ekspresyonlarını düzenlemesine olanak tanır. Bu sayede bakteriler, biyofilm oluşumu, virülans faktörlerinin üretimi ve çevresel streslere adaptasyon gibi süreçleri koordine edebilir. Bu iletişim ağı, biyofilm yapısının organizasyonunu güçlendirerek antibakteriyel ajanlara karşı direnci artırmaktadır (Davies ve ark., 1998).

Biyofilm yapılarının klinik açıdan en önemli özelliklerinden biri, planktonik (serbest) bakterilere kıyasla çok daha yüksek direnç göstermeleridir. Biyofilm içerisindeki bakteriler, antibiyotiklere ve dezenfektanlara karşı 10 ila 1000 kat daha dirençli olabilmektedir. Bu durum, yalnızca EPS matriksinin koruyucu etkisinden değil, aynı zamanda biyofilm içerisindeki metabolik heterojenlikten ve yavaş büyüyen hücre popülasyonlarının varlığından kaynaklanmaktadır (Costerton ve ark., 1999).

Biyofilm içerisinde oluşan bu heterojen yapı, farklı mikro-nislerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu mikro-nislerde oksijen konsantrasyonu, pH ve besin dağılımı değişkenlik gösterebilmekte ve bu durum bakterilerin farklı fenotipler geliştirmesine yol açmaktadır. Özellikle düşük metabolik aktiviteye sahip bakteriler, antibakteriyel ajanlara karşı daha dirençli hale gelmektedir (Stewart ve Franklin, 2008).

Dental biyofilmler, yalnızca tek tür bakterilerden oluşmayıp, çok sayıda farklı mikroorganizmanın bir arada bulunduğu kompleks yapılar olarak tanımlanmaktadır. Bu mikroorganizmalar arasında sinerjistik ilişkiler bulunmakta olup, bazı bakteriler diğerlerinin büyümesini desteklemekte veya

koruyucu bir ortam oluşturmaktadır. Bu durum biyofilmin stabilitesini artırmakta ve patojenitesini güçlendirmektedir (Zijng ve ark., 2010).

Biyofilm oluşumunun son aşamasında, mikroorganizmaların bir kısmı yüzeyden ayrılarak yeni kolonizasyon alanları oluşturmak üzere çevreye yayılmaktadır. Bu dispersiyon aşaması, enfeksiyonun yayılması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle dental restorasyon yüzeylerinden ayrılan bakteriler, komşu diş yüzeylerinde yeni biyofilm oluşumuna neden olabilmektedir (Hall-Stoodley ve ark., 2004).

Biyofilm oluşum mekanizmalarının detaylı olarak anlaşılması, dental materyallerde antibakteriyel ve antibiyofilm yüzey modifikasyon tekniklerinin geliştirilmesi açısından temel bir gerekliliktir. Bu süreçlerin hedeflenmesi sayesinde, bakteriyel adezyonun azaltılması, biyofilm maturasyonunun engellenmesi ve mevcut biyofilmlerin destabilizasyonu mümkün olabilmektedir (Busscher ve ark., 2012).

Yüzey Özellikleri ve Bakteriyel Adezyon İlişkisi

Dental materyallerin yüzey özellikleri, bakteriyel adezyonun belirlenmesinde en kritik faktörlerden biridir. Yüzey pürüzlülüğü, yüzey enerjisi, hidrofilisite ve kimyasal kompozisyon gibi parametreler, mikroorganizmaların yüzeye tutunma kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Özellikle erken dönem adezyon sürecinde, bakteriler ile materyal yüzeyi arasındaki fizikokimyasal etkileşimler belirleyici rol oynamaktadır (Busscher ve ark., 1995).

Yüzey pürüzlülüğü, bakteriyel adezyon üzerinde en çok çalışılmış parametrelerden biridir. Pürüzlü yüzeyler, bakteriler için mekanik retansiyon alanları oluşturarak tutunmayı kolaylaştırmaktadır. Özellikle Ra değerinin 0.2 µm'nin üzerinde olması durumunda plak retansiyonunun anlamlı derecede arttığı gösterilmiştir. Bu nedenle dental materyallerde yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, biyofilm oluşumunun önlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Bollen ve ark., 1997).

Hidrofilisite ve hidrofobisite, bakteriyel adezyon sürecinde belirleyici parametreler arasında yer almaktadır. Genel olarak hidrofobik bakterilerin hidrofobik yüzeylere daha güçlü tutunduğu, hidrofilik yüzeylerin ise bakteriyel adezyonu azaltabildiği bildirilmiştir. Bu nedenle yüzey modifikasyon çalışmalarında hidrofilik karakter kazandırılması önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir (An ve Friedman, 1998).

Yüzey yükü ve elektrostatik etkileşimler de bakteriyel adezyon üzerinde etkili olmaktadır. Bakteri hücre duvarı genellikle negatif yüklü olduğundan, pozitif yüklü yüzeyler bakteriyel adezyonu artırabilmektedir. Bu nedenle yüzey modifikasyon tekniklerinde elektrostatik etkileşimlerin kontrolü, antibakteriyel etkinliğin optimize edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Bos ve ark., 1999).

Yüzey kimyasal kompozisyonu, protein adsorpsiyonu ve hücre-materyal etkileşimlerini doğrudan etkileyerek biyofilm oluşumunu belirlemektedir. Özellikle organik ve inorganik bileşenlerin dağılımı, yüzeyin bakteriler tarafından tanınmasını ve kolonizasyonunu etkileyebilir. Bu nedenle materyalin kimyasal yapısının modifiye edilmesi, antibakteriyel yüzey tasarımında önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Ratner ve ark., 2004).

Bununla birlikte, bu yüzey parametreleri birbirinden bağımsız değildir ve çoğu zaman birlikte etki gösterir. Örneğin, yüzey pürüzlülüğündeki bir değişiklik aynı zamanda yüzey enerjisini ve hidrofilisiteyi de etkileyebilir. Bu nedenle antibakteriyel yüzey tasarımında multidisipliner bir yaklaşım benimsenmesi ve tüm yüzey özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Busscher ve van der Mei, 2006).

Sonuç olarak, dental materyallerde bakteriyel adezyonun kontrolü, yüzey özelliklerinin optimize edilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu parametrelerin dikkatli bir şekilde modifiye edilmesi, biyofilm oluşumunun azaltılmasında ve uzun dönem klinik başarının artırılmasında önemli katkılar sağlayabilir (Busscher ve ark., 2012).

Antibakteriyel Yüzey Modifikasyon Teknikleri

Dental materyallerde antibakteriyel özellik kazandırmaya yönelik yüzey modifikasyon teknikleri, son yıllarda biyomalzeme araştırmalarının en aktif alanlarından biri haline gelmiştir. Bu teknikler, bakteriyel adezyonun azaltılması, biyofilm oluşumunun engellenmesi ve mevcut biyofilm yapısının destabilizasyonu gibi farklı mekanizmalar üzerinden etki göstermektedir. Genel olarak bu yaklaşımlar; antibakteriyel ajan salınımı, temasla öldürücü yüzeyler ve adezyon önleyici yüzeyler olmak üzere üç ana kategori altında incelenmektedir (Chen ve ark., 2020).

Antibakteriyel yüzey modifikasyonlarının temel amacı, mikroorganizmaların yüzeye tutunmasını önlemek veya yüzeye tutunan bakterileri etkisiz hale getirmektir. Bu süreçte kullanılan yöntemler,

materyalin yüzey topografisini, kimyasal yapısını ve enerji profilini değiştirerek bakteriyel etkileşimleri kontrol etmeye çalışmaktadır. Bu nedenle geliştirilen sistemlerin yalnızca antibakteriyel etkinlik değil, aynı zamanda biyouyumluluk ve uzun dönem stabilite açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir (Campoccia ve ark., 2013).

Antibakteriyel Ajan Salınımına Dayalı Yaklaşımlar

Bu yaklaşımda, dental materyal içerisine antibakteriyel ajanlar entegre edilerek zamanla kontrollü salınım sağlanmaktadır. Gümüş nanopartiküller, çinko oksit, bakır iyonları ve klorheksidin gibi ajanlar en yaygın kullanılan antibakteriyel bileşenlerdir. Bu ajanlar bakteriyel hücre membranına zarar vererek, enzimatik aktiviteleri inhibe ederek veya DNA replikasyonunu bozarak etki göstermektedir (Zhang ve ark., 2018).

Gümüş nanopartiküller özellikle geniş spektrumlu antibakteriyel etkileri nedeniyle dental materyallerde sıkça kullanılmaktadır. Bu nanopartiküller, bakteriyel hücre duvarına bağlanarak hücre geçirgenliğini bozmakta ve reaktif oksijen türleri oluşturarak hücre ölümüne yol açmaktadır (Rai ve ark., 2009).

Ancak bu sistemlerin en önemli dezavantajı, antibakteriyel ajan salınımının zamanla azalması ve etkinliğin sınırlı süre devam etmesidir. Ayrıca yüksek konsantrasyonlarda kullanılan ajanlar, çevre dokular üzerinde sitotoksik etkilere neden olabilmektedir. Bu nedenle kontrollü ve sürdürülebilir salınım sistemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Hetrick ve Schoenfisch, 2006).

Temasla Öldürücü (Contact-Killing) Yüzeyler

Temasla öldürücü yüzeyler, bakterilerin yüzey ile temas etmesi durumunda doğrudan bakterisidal etki gösteren sistemlerdir. Bu yaklaşımda en yaygın kullanılan bileşikler kuaterner amonyum bileşikleridir. Bu bileşikler, bakteriyel hücre zarını bozarak hızlı ve etkili bir antibakteriyel etki oluşturur (Imazato, 2003).

Bu tür yüzeylerin en önemli avantajı, antibakteriyel etkinliğin uzun süre devam etmesidir çünkü ajan yüzeye kovalent olarak bağlıdır ve salınım gerçekleşmez. Bu durum, ajan tükenmesi problemini ortadan kaldırmaktadır. Ancak zamanla yüzeyde protein adsorpsiyonu ve organik birikim oluşması, antibakteriyel etkinliğin azalmasına neden olabilmektedir (Murata ve ark., 2014).

Bu nedenle temasla öldürücü yüzeylerin, protein adsorpsiyonunu azaltan sistemlerle kombine edilmesi önerilmektedir. Böylece yüzeyin uzun dönem antibakteriyel etkinliği korunabilmektedir (Cheng ve ark., 2016).

Antibiyofilm Adezyonunu Engelleyici Yüzeyler

Bu yaklaşımda bakterilerin yüzeye tutunması engellenerek biyofilm oluşumu önlenmektedir. Bu amaçla geliştirilen yüzeyler genellikle düşük yüzey enerjisine sahip veya süperhidrofilik özellik gösteren yapılardır. Bu yüzeyler protein adsorpsiyonunu azaltarak bakterilerin ilk adezyon aşamasını engellemektedir (Prime ve Whitesides, 1991).

Polietilen glikol (PEG) kaplamalar, antibiyofilm yüzey modifikasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. PEG zincirleri, yüzeyde sterik engel oluşturarak protein ve bakteri adezyonunu azaltmaktadır (Kingshott ve Griesser, 1999).

Bu yöntem, bakterileri öldürmek yerine yüzeye tutunmalarını engellediği için direnç gelişimi açısından avantajlı kabul edilmektedir. Ancak tek başına kullanıldığında bakterisidal etki göstermediği için genellikle diğer antibakteriyel stratejilerle kombine edilmektedir (Campoccia ve ark., 2013).

Nanoteknoloji Tabanlı Yüzey Modifikasyonları

Nanoteknoloji, dental materyallerde antibakteriyel yüzey tasarımında önemli bir yer tutmaktadır. Nanopartiküller yüksek yüzey alanına sahip olmaları sayesinde bakterilerle daha etkin etkileşime girerek güçlü antibakteriyel etki göstermektedir (Allaker ve Ren, 2008).

Titanyum dioksit nanopartiküller, fotokatalitik özellikleri sayesinde ışık altında reaktif oksijen türleri oluşturarak bakterileri etkisiz hale getirmektedir. Bu özellik özellikle implant yüzeylerinde avantaj sağlamaktadır (Fujishima ve ark., 2008).

Nanoyapılı yüzeyler aynı zamanda bakterilerin fiziksel olarak tutunmasını zorlaştıran topografik özellikler de oluşturabilmektedir. Doğadan esinlenen bu yaklaşımlar, özellikle “lotus effect” ve “shark skin” benzeri yüzey tasarımları ile biyofilm oluşumunu azaltmayı hedeflemektedir (Ivanova ve ark., 2012).

Kombine Yüzey Modifikasyon Yaklaşımları

Tek bir yüzey modifikasyon yöntemi çoğu zaman yeterli antibakteriyel etkiyi sağlayamamaktadır. Bu nedenle son yıllarda kombine yaklaşımlar ön

plana çıkmaktadır. Bu yaklaşımlarda hem antibakteriyel ajan salınımı hem de adezyon önleyici mekanizmalar birlikte kullanılmaktadır (Cheng ve ark., 2016).

Örneğin, hem temasla öldürücü özellik gösteren hem de protein adsorpsiyonunu azaltan hibrit yüzeyler geliştirilmiştir. Bu yüzeyler, bakterileri etkisiz hale getirirken aynı zamanda yeni bakterilerin yüzeye tutunmasını da engellemektedir (Zhao ve ark., 2019).

Bu kombinasyon stratejileri, antibakteriyel etkinliğin artırılması ve uzun süre korunması açısından en umut verici yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Ancak bu sistemlerin klinik uygulanabilirliği ve uzun dönem biyoyumluluğu halen araştırılmaya devam etmektedir (Campoccia ve ark., 2013).

Klinik Yansımalar ve Uygulama Alanları

Antibakteriyel ve antibiyofilm yüzey modifikasyon tekniklerinin klinik uygulamalara entegrasyonu, dental tedavilerin uzun dönem başarısını artırma potansiyeline sahiptir. Özellikle restoratif materyaller, implant yüzeyleri ve ortodontik apareyler üzerinde geliştirilen bu yaklaşımlar, biyofilm kaynaklı komplikasyonların azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (Subramani ve ark., 2009).

Restoratif diş hekimliğinde kullanılan kompozit rezinler ve adeziv sistemler, sekonder çürük oluşumuna yatkın yüzeyler oluşturabilmektedir. Antibakteriyel özellik kazandırılmış materyaller, bakteriyel kolonizasyonu azaltarak restorasyonların ömrünü uzatabilir ve tekrar tedavi ihtiyacını azaltabilir (Imazato ve ark., 2012).

İmplant yüzeylerinde biyofilm oluşumu, peri-implant mukozitis ve peri-implantitis gibi ciddi komplikasyonlara yol açabilmektedir. Antibakteriyel yüzey modifikasyonları, implant çevresindeki mikrobiyal yükü azaltarak osseointegrasyonun korunmasına katkı sağlayabilir (Albrektsson ve Wennerberg, 2004).

Ortodontik tedaviler sırasında kullanılan braket ve teller, plak retansiyonu açısından yüksek risk taşımaktadır. Antibakteriyel yüzey kaplamaları, bu alanlarda biyofilm birikimini azaltarak demineralizasyon ve beyaz lezyon oluşumunu önleyebilir (Beyth ve ark., 2008).

Bununla birlikte, bu tekniklerin klinik uygulamalara aktarılmasında bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Bu nedenle geliştirilen yüzeylerin yalnızca

laboratuvar ortamında değil, klinik koşullar altında da detaylı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir (Schmalz ve Arenholt-Bindslev, 2009).

Sonuç olarak, antibakteriyel yüzey modifikasyon tekniklerinin klinik uygulamalarda kullanımı, dental tedavilerin başarısını artırma açısından umut verici bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu teknolojilerin rutin kullanıma girebilmesi için daha fazla klinik çalışma ve uzun dönem takip verisine ihtiyaç duyulmaktadır (Busscher ve ark., 2012).

SONUÇ

Dental materyallerde antibakteriyel ve antibiyofilm yüzey modifikasyon teknikleri, modern diş hekimliğinde önemli bir araştırma ve gelişim alanı haline gelmiştir. Bakteriyel adezyonun azaltılması ve biyofilm oluşumunun kontrol altına alınması, restoratif ve protetik tedavilerin uzun dönem başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yüzey özelliklerinin optimize edilmesine yönelik geliştirilen yaklaşımlar, klinik komplikasyonların azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır (Busscher ve ark., 2012).

Günümüzde antibakteriyel yüzey modifikasyonları; ajan salınımı, temasla öldürücü sistemler, adezyon önleyici yüzeyler ve nanoteknoloji tabanlı yaklaşımlar gibi farklı stratejiler ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerin her biri belirli avantajlar ve sınırlamalar içermekte olup, ideal bir sistemin geliştirilmesi için bu yaklaşımların kombinasyonu önerilmektedir (Campoccia ve ark., 2013).

Gelecekteki çalışmaların, yalnızca antibakteriyel etkinliğe odaklanmak yerine, biyouyumluluk, uzun dönem stabilite ve klinik uygulanabilirlik gibi parametreleri de kapsaması gerekmektedir. Özellikle akıllı yüzeyler, çevresel uyarılara yanıt verebilen ve gerektiğinde antibakteriyel etki gösteren sistemler, bu alanda umut verici yaklaşımlar arasında yer almaktadır (Huang ve ark., 2020).

Ayrıca, biyofilm oluşumunun kompleks yapısı göz önüne alındığında, tek bir mekanizmaya dayalı yaklaşımların yetersiz kalabileceği ve multidisipliner stratejilerin geliştirilmesinin gerekli olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, yüzey mühendisliği, nanoteknoloji ve biyoteknolojinin birlikte kullanıldığı hibrit sistemlerin önemi giderek artmaktadır (Ivanova ve ark., 2012).

Sonuç olarak, antibakteriyel yüzey modifikasyon teknikleri dental materyallerin performansını artırmada önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin klinik pratiğe tam anlamıyla yansıtılabilmesi için daha kapsamlı in vivo çalışmaların yapılması ve uzun dönem klinik verilerin elde edilmesi gerekmektedir (Imazato ve ark., 2020).

KAYNAKLAR

- Albrektsson, T., & Wennerberg, A. (2004). Oral implant surfaces: Part 1—Review focusing on topographic and chemical properties of different surfaces and in vivo responses to them. *The International Journal of Prosthodontics*, 17(5), 536–543.
- Allaker, R. P., & Ren, G. (2008). Potential impact of nanotechnology on the control of infectious diseases. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 102(1), 1–2.
- An, Y. H., & Friedman, R. J. (1998). Concise review of mechanisms of bacterial adhesion to biomaterial surfaces. *Journal of Biomedical Materials Research*, 43(3), 338–348.
- Anusavice, K. J., Shen, C., & Rawls, H. R. (2013). *Phillips' science of dental materials* (12th ed.). Elsevier.
- Beyth, N., Bahir, R., Matalon, S., Domb, A. J., & Weiss, E. I. (2008). Streptococcus mutans biofilm changes surface-topography of resin composites. *Dental Materials*, 24(6), 732–736.
- Bollen, C. M., Lambrechts, P., & Quirynen, M. (1997). Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention. *Dental Materials*, 13(4), 258–269.
- Bos, R., van der Mei, H. C., & Busscher, H. J. (1999). Physico-chemistry of initial microbial adhesive interactions. *FEMS Microbiology Reviews*, 23(2), 179–230.
- Busscher, H. J., & van der Mei, H. C. (2006). Microbial adhesion in flow displacement systems. *Clinical Microbiology Reviews*, 19(1), 127–141.
- Busscher, H. J., Rinastiti, M., Siswomihardjo, W., & van der Mei, H. C. (2010). Biofilm formation on dental restorative and implant materials. *Journal of Dental Research*, 89(7), 657–665.
- Busscher, H. J., van der Mei, H. C., Subbiahdoss, G., Jutte, P. C., van den Dungen, J. J., Zaai, S. A., Schultz, M. J., & Grainger, D. W. (2012). Biomaterial-associated infection: Locating the finish line in the race for the surface. *Science Translational Medicine*, 4(153), 153rv10.

- Campoccia, D., Montanaro, L., & Arciola, C. R. (2013). A review of the biomaterials technologies for infection-resistant surfaces. *Biomaterials*, 34(34), 8533–8554.
- Chen, M., Yu, Q., & Sun, H. (2020). Novel strategies for the prevention and treatment of biofilm related infections. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(9), 18488–18501.
- Cheng, G., Zhang, Z., Chen, S., Bryers, J. D., & Jiang, S. (2016). Inhibition of bacterial adhesion and biofilm formation on zwitterionic surfaces. *Biomaterials*, 28(29), 4192–4199.
- Costerton, J. W., Stewart, P. S., & Greenberg, E. P. (1999). Bacterial biofilms: A common cause of persistent infections. *Science*, 284(5418), 1318–1322.
- Davies, D. G., Parsek, M. R., Pearson, J. P., Iglewski, B. H., Costerton, J. W., & Greenberg, E. P. (1998). The involvement of cell-to-cell signals in the development of a bacterial biofilm. *Science*, 280(5361), 295–298.
- Della Bona, A., & Anusavice, K. J. (2002). Microstructure, composition, and etching topography of dental ceramics. *The International Journal of Prosthodontics*, 15(2), 159–167.
- Elsaka, S. E. (2014). Optical and mechanical properties of newly developed CAD/CAM materials for dental restorations. *Journal of Prosthodontics*, 23(8), 611–625.
- Flemming, H. C., & Wingender, J. (2010). The biofilm matrix. *Nature Reviews Microbiology*, 8(9), 623–633.
- Fujishima, A., Zhang, X., & Tryk, D. A. (2008). TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena. *Surface Science Reports*, 63(12), 515–582.
- Hall-Stoodley, L., Costerton, J. W., & Stoodley, P. (2004). Bacterial biofilms: From the natural environment to infectious diseases. *Nature Reviews Microbiology*, 2(2), 95–108.
- Hannig, M., & Hannig, C. (2009). The pellicle and erosion. *Monographs in Oral Science*, 25, 206–214.
- Hetrick, E. M., & Schoenfisch, M. H. (2006). Reducing implant-related infections: Active release strategies. *Chemical Society Reviews*, 35(9), 780–789.
- Huang, J., Zhao, L., & Li, X. (2020). Smart antibacterial surfaces with switchable functions. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(12), 14055–14069.
- Imazato, S. (2003). Antibacterial properties of resin composites and dentin bonding systems. *Dental Materials*, 19(6), 449–457.

- Imazato, S., Ma, S., Chen, J. H., & Xu, H. H. (2012). Therapeutic polymers for dental adhesives: Loading resins with bio-active components. *Dental Materials*, 28(1), 1–11.
- Imazato, S., Takahashi, Y., Ebisu, S., & Russell, R. R. (2020). Antibacterial activity of dental materials. *Journal of Dentistry*, 28(6), 511–518.
- Ivanova, E. P., Hasan, J., Webb, H. K., et al. (2012). Natural bactericidal surfaces: Mechanical rupture of *Pseudomonas aeruginosa* cells by cicada wings. *Small*, 8(16), 2489–2494.
- Kawai, K., Urano, M., & Ebisu, S. (2000). Effect of surface roughness of porcelain on adhesion of bacteria and their synthesizing glucans. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 83(6), 664–667.
- Kingshott, P., & Griesser, H. J. (1999). Surfaces that resist bioadhesion. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 4(4), 403–412.
- Kolenbrander, P. E., Palmer, R. J., Periasamy, S., & Jakubovics, N. S. (2010). Oral multispecies biofilm development and the key role of cell–cell distance. *Nature Reviews Microbiology*, 8(7), 471–480.
- Lambrechts, P., Vanherle, G., Vuylsteke-Wauters, M., & Davidson, C. L. (1996). Quantitative evaluation of wear resistance of posterior dental restorations. *Journal of Dental Research*, 65(7), 849–854.
- Marsh, P. D. (2005). Dental plaque: Biological significance of a biofilm and community life-style. *Journal of Clinical Periodontology*, 32(s6), 7–15.
- Matinlinna, J. P., & Vallittu, P. K. (2007). Silane based concepts on bonding resin composite to metals. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 8(2), 1–8.
- Murata, H., Koepsel, R. R., Matyjaszewski, K., & Russell, A. J. (2014). Permanent, non-leaching antibacterial surfaces. *Biomaterials*, 28(32), 4870–4879.
- Prime, K. L., & Whitesides, G. M. (1991). Self-assembled organic monolayers: Model systems for studying adsorption of proteins at surfaces. *Science*, 252(5009), 1164–1167.
- Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*, 27(1), 76–83.
- Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J., & Lemons, J. E. (2004). *Biomaterials science: An introduction to materials in medicine* (2nd ed.). Elsevier.
- Schmalz, G., & Arenholt-Bindslev, D. (2009). *Biocompatibility of dental materials*. Springer.

- Stewart, P. S., & Franklin, M. J. (2008). Physiological heterogeneity in biofilms. *Nature Reviews Microbiology*, 6(3), 199–210.
- Subramani, K., Jung, R. E., Molenberg, A., & Hammerle, C. H. (2009). Biofilm on dental implants: A review of the literature. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 24(4), 616–626.
- van Oss, C. J., Good, R. J., & Chaudhury, M. K. (1987). Additive and nonadditive surface tension components and the interpretation of contact angles. *Langmuir*, 3(2), 174–181.
- Zijnga, V., van Leeuwen, M. B., Degener, J. E., Abbas, F., Thurnheer, T., Gmür, R., & Harmsen, H. J. (2010). Oral biofilm architecture on natural teeth. *PLoS One*, 5(2), e9321.
- Zhang, L., Pornpattananankul, D., Hu, C. M., & Huang, C. M. (2018). Development of nanoparticles for antimicrobial drug delivery. *Current Medicinal Chemistry*, 17(6), 585–594.
- Zhao, L., Chu, P. K., Zhang, Y., & Wu, Z. (2019). Antibacterial coatings on titanium implants. *Journal of Biomedical Materials Research Part B*, 91(1), 470–480.

DENTAL BİYOFİLMLERİN MOLEKÜLER YAPISI VE HEDEFE YÖNELİK ÖNLEYİCİ STRATEJİLER

Deniz ÇETİN

- ❖ Kurum Bilgisi: Dokuz Eylül Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, İzmir/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0005-0681-8879
- ❖ Mail: cetin.deniz@deu.edu.tr

Hülya ERTEN CAN

- ❖ Kurum Bilgisi: Dokuz Eylül Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, İzmir/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0001-7823-7145
- ❖ Mail: hulya.erten@deu.edu.tr

GİRİŞ

Dental biyofilm, diş yüzeyi üzerinde organize bir biyofilm yapısı oluşturan mikroorganizmalar topluluğudur. Bu mikrobiyal topluluk hem konak hem de bakteriyel kaynaklı polimerlerden meydana gelen ekstrasellüler bir matriks içerisinde yer almaktadır (Marsh, 2004). Geleneksel olarak “bakteri plağı” şeklinde adlandırılan bu yapı günümüzde yalnızca durağan bir mikrobiyal birikim şeklinde değil; çevresel faktörlere yanıt verebilen, etkileşim içinde olan ve ekolojik dengeye sahip dinamik bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Marsh ve ark., 2011).

Dental biyofilm, mikroorganizmalar arasında gerçekleşen koagregasyon, koadezyon ve hücreler arası sinyalizasyon gibi çok katmanlı moleküler etkileşimler sonucunda organize olmaktadır. Ekstrasellüler matriks bileşenleri ise difüzyonu sınırlayan bir bariyer oluşturarak dental biyofilmin yapısal stabilitesini ve çevresel streslere karşı dayanıklılığını güçlendirmektedir (Kolenbrander ve ark., 2000). Bu doğrultuda dental biyofilm, hücreler arası etkileşimler sonucunda ortaya çıkan özgün ve bütüncül özellikler sergileyen, yüksek düzeyde organize bir biyolojik yapılanma modeli olarak değerlendirilmektedir.

Diş çürüğü ve periodontal hastalıklar günümüzde dental biyofilm kaynaklı ve ekolojik temelli hastalıklar olarak kabul edilmektedir. Güncel yaklaşıma göre diş çürüğü, dental biyofilmin sık karbonhidrat maruziyeti ve pH düşüşüne verdiği yanıt sonucunda gelişir (Takahashi ve Nyvad, 2011). Bu süreçte asidojenik ve asidürik mikroorganizmalar seçici avantaj kazanır. Dental biyofilm kompozisyonu değişir ve disbiyozis ortaya çıkar. Matriks yapısı güçlenir ve asidik mikroçevreler süreklilik kazanır. Periodontal hastalık ise tek bir patojenle açıklanmaz. Polimikrobiyal etkileşimler ve konak yanıtı arasındaki dengenin bozulması temel mekanizmadır. Sonuç olarak her iki hastalık da dental biyofilm ekosistemindeki homeostaz kaybının klinik yansımasıdır (Valm, 2019).

Son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar, diş hekimliğinde geleneksel “dental biyofilm eliminasyonu” yaklaşımından “dental biyofilm yönetimi” yaklaşımına geçişi beraberinde getirmiştir. Güncel yaklaşımda esas hedef mikrobiyal homeostazın sürdürülmesidir. Bu doğrultuda çağdaş önleyici stratejiler, dental biyofilmi tamamen ortadan kaldırmayı değil; ekolojik dengenin devamlılığını sağlamayı, ekstrasellüler matriksin yapısal bütünlüğünü hedef almayı ve asidik ortamın kontrolünü amaçlamaktadır (Rosier ve ark., 2014). Dolayısıyla dental dental biyofilmlerin moleküler ve

yapısal organizasyonunun ayrıntılı biçimde anlaşılması, kanıta dayalı ve hedefe yönelik koruyucu yaklaşımların geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Dental Biyofilmlerin Genel Özellikleri

Dental biyofilm, diş yüzeyine tutunarak organize bir biyofilm yapısı meydana getiren mikroorganizma topluluğu olarak tanımlanmaktadır. Bir mikrobiyal topluluğun dental biyofilm niteliği taşıyabilmesi için belirli temel özellikleri taşıması gerekmektedir. Dental biyofilm; topluluk hâlinde bulunduğu serbest (planktonik) hücrelere kıyasla daha yüksek fonksiyonel etkinlik sergileyebilmeli, çevresel değişikliklere karşı direnç gösterebilmeli, kendi kendini organize edebilme kapasitesine sahip olmalı ve çevresel uyarılara bireysel değil, kolektif ve koordineli bir yanıt oluşturabilmelidir (Caldwell ve ark., 1997).

Dental Biyofilmlerin Oluşum Süreci

Pelikıl Oluşumu

Dental biyofilmin gelişimi, diş yüzeyinde edinsel pelikıl oluşumu ile başlamaktadır. Pelikıl, tükürük kökenli protein ve glikoproteinlerden oluşan ince, aselüler bir tabakadır. Bu yapının temel bileşenleri arasında statherin, prolin açısından zengin proteinler (PRP'ler), amilaz ve diğer tükürük proteinleri yer almaktadır. Bu proteinler hidroksiapatit yüzeyine selektif olarak tutunmakta ve bakteri adezinlerinin bağlanabileceği özgül reseptör bölgeleri oluşturmaktadır. Böylece pelikıl, bakteriyel kolonizasyon için moleküler bir platform görevi görmektedir (Enax ve ark., 2023).

Erken Kolonizatörlerin Tutunması

Pelikıl oluşumunu takiben erken kolonizatör mikroorganizmalar yüzeye tutunmaktadır. Bu aşamada adezin–reseptör etkileşimleri temel belirleyici mekanizmadır. Bakteriyel yüzey adezinleri, pelikıldaki spesifik protein yapılarına bağlanarak geri dönüşümsüz yapışmayı sağlamaktadır. Başlıca erken kolonizatörler arasında *Streptococcus* ve *Actinomyces* türü bakteriler yer almaktadır. Bu mikroorganizmalar yalnızca yüzeye tutunmakla kalmayıp, aynı zamanda daha sonraki kolonizatörlerin yerleşimi için uygun bir ortam hazırlamaktadır. Erken kolonizasyon, dental biyofilmin ilerleyen aşamalarında gerçekleşecek hücresel etkileşimlerin temelini oluşturmaktadır (Heller ve ark. 2016).

Koagregasyon ve Sekonder Kolonizatörler

Erken kolonizasyonun ardından dental biyofilm gelişimi, bakteriler arası özgül bağlanma mekanizmaları ile ilerlemektedir. Bu süreç koagregasyon olarak adlandırılmakta ve farklı türlere ait mikroorganizmaların yüzey molekülleri aracılığıyla birbirine bağlanmasını içermektedir. Farklı mikroorganizmalar arasındaki etkileşimler, dental biyofilmin çeşitliliğini ve yapısal karmaşıklığını artırmaktadır. Bu aşamada *Fusobacterium nucleatum* isimli bakteri kritik bir rol üstlenmektedir. *Fusobacterium. nucleatum*, erken ve geç kolonizatör bakteriler arasında köprü görevi görmektedir ve farklı mikrobiyal türlerin aynı dental biyofilm yapısı içinde organize olmasını sağlamaktadır. Bu “köprü mikroorganizma” fonksiyonu, dental biyofilmin olgunlaşma sürecini hızlandırmakta ve mikrobiyal topluluğun bütünlüğünü desteklemektedir (Oogai ve ark., 2025).

Dental Biyofilm Matürasyonu

Kolonizasyonun ilerleyen evrelerinde dental biyofilm üç boyutlu ve kompleks bir yapı kazanmaktadır. Mikroorganizmalar, mikrokoloniler oluşturarak ekstrasellüler polimerik matriks içerisinde organize olmaktadır. Bu matriks yapısı, hücreleri çevresel stres faktörlerine karşı korumakta ve mekanik stabilite sağlamaktadır. Olgun dental biyofilm içerisinde gelişen sıvı kanalları, besin maddelerinin taşınmasını ve metabolik atıkların uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Bu organizasyon, dental biyofilmin yalnızca bir hücre birikimi olmadığını; aksine, hücreler arası iletişim, metabolik iş birliği ve yapısal koordinasyon içeren dinamik bir mikrobiyal ekosistem olduğunu göstermektedir (Sharma ve ark., 2023).

Dental Biyofilmlerin Moleküler Matriks Yapısı

Dental biyofilmin moleküler matriks organizasyonu iki temel bileşene dayanmaktadır. Hücre dışı polimerik bileşenler, dental biyofilmin yapısal bütünlüğünü ve asidik mikroçevrenin devamlılığını sağlamakta; hücre içi polisakkaritler ise karbonhidrat bulunmadığı durumlarda dahi asit üretiminin sürmesine katkı sağlayarak dental biyofilmin metabolik sürekliliğini desteklemektedir (Koo ve ark., 2013; Busuioc ve ark., 2009).

Hücre Dışı Polimerik Bileşenler

Dental biyofilmin yapısal ve fonksiyonel organizasyonu, büyük ölçüde hücre dışı polimerik bileşenlerden oluşan matriks tarafından belirlenmektedir. Özellikle sukroz varlığında *Streptococcus mutans* isimli bakteri tarafından sentezlenen ekstrasellüler glukanlar, dental biyofilm matriksinin temel

yapısını oluşturmaktadır. Bu polisakkarit ağ, mikroorganizmaların diş yüzeyine ve birbirlerine güçlü biçimde bağlanmasını sağlayarak dental biyofilmin mekanik stabilitesini artırmaktadır. Matriks içerisinde glukanların yanı sıra fruktan türevleri, proteinler ve diğer biyomoleküller yer almaktadır. Dental biyofilmin matriks yapısı, bakterilerin ürettiği asitlerin dental biyofilm içerisinde birikmesine sebep olmakta ve tamponlayıcı iyonların difüzyonunu sınırlandırmaktadır. Böylece dental biyofilm içinde lokal düşük pH bölgeleri oluşmakta ve bu durum mine yüzeyinde demineralizasyona neden olmaktadır (Koo ve ark., 2013).

Hücre İçi Polisakkaritler

Hücre içi polisakkaritler, özellikle karbonhidrat fazlalığı koşullarında sentezlenen ve hücre içerisinde glikojen benzeri granüller halinde depolanan enerji rezervleridir. Hücre içi polisakkaritlerin birikimi, besinin kısıtlı olduğu koşullarda bakterilerin metabolik sürekliliğini sağlamaktadır. Karbonhidrat kaynağı ortadan kalktığında, hücre içi polisakkarit depoları devreye girmekte ve fermentatif metabolizma yoluyla asit üretimi bir süre daha sürdürülebilmektedir. Hücre içi polisakkarit sentezleyemeyen bakteri türlerinin açlık koşullarında daha düşük hayatta kalma kapasitesi göstermesi, bu rezerv sisteminin önemini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda hücre içi polisakkaritler, yalnızca enerji deposu değil, aynı zamanda karyojenik potansiyelin devamlılığını destekleyen bir faktör olarak değerlendirilmektedir (Busuioac ve ark., 2009).

Dental Biyofilm İçindeki Bakteriyel İletişim ve Regülasyon Mekanizmaları

Gen Ekspresyonu ve Adaptasyon

Dental biyofilm, çevresel koşullardaki değişimlere hızla yanıt verebilen, dinamik ve organize bir mikrobiyal ekosistem niteliği taşımaktadır. Bu yapı içinde yer alan mikroorganizmalar; pH düzeyi dalgalanmaları, dental biyofilm içinde bulunan besin düzeyi, oksijen miktarları ve konak kaynaklı inflamatuvar faktörler gibi çevresel uyarılara bağlı olarak gen ekspresyon paternlerini yeniden düzenleyerek fenotipik adaptasyon geliştirmektedir (Lamont ve ark., 2018).

Örneğin, dental biyofilm içindeki bakterilerin sık sık fermente edilebilir karbonhidratlara maruziyeti sonucunda ağız ortamında pH düşüşü gerçekleşmektedir. Bu durum dental biyofilm içindeki bakteri topluluğunun metabolik olarak yeniden yapılanmasını tetiklemektedir. Dental biyofilimde

“asit toleransı” kavramı, düşük pH koşullarına maruz kalan mikroorganizmaların hayatta kalma ve metabolik aktivitelerini sürdürebilme yeteneğini ifade etmektedir. Asit toleransına sahip türler, dental biyofilm pH’nın sıklıkla düşmesi sonucunda, ekspresyonel olarak avantaj kazanmaktadır (Senneby ve ark., 2017).

Quorum Sensing

Quorum sensing, dental biyofilm içinde bulunan bakteri popülasyonunun yoğunluğundaki artış ya da azalışa bağlı olarak gen ifadesinin düzenlenmesini sağlayan hücreler arası iletişim sistemidir. Bu mekanizma sayesinde bakteriler, otoindükleyici olarak bilinen küçük sinyal moleküllerini sentezleyip çevreye bırakır. Bakteri hücrelerinin sayısı yükseldikçe, bu moleküllerin ortamdaki konsantrasyonu artar ve belirli bir eşik değere ulaşıldığında özgül genlerin aktivitesi değişir. Böylece bakteriler bireysel değil topluluk düzeyinde ve koordineli bir yanıt oluşturur. Bu iletişim sistemi hem gram-pozitif hem de gram-negatif bakterilerde bulunur. Güncel araştırmalar, otoindükleyici sentezleme temelli sinyal iletiminin yalnızca aynı türe ait hücreler arasında değil, farklı türlere ait hücreler arasında da gerçekleşebildiğini ortaya koymaktadır. Dental biyofilmlerde quorum sensing; dental biyofilm yapısının devamlılığının sürdürülmesi, matriks sentezinin düzenlenmesi, çevresel strese uyum sağlanması ve virülans özelliklerinin kontrolü gibi süreçlerde belirleyici rol oynar. Ayrıca bakteriyel sinyal moleküllerinin konak hücreleri etkileyerek özgül yanıtları tetikleyebildiği ve böylece mikrobiyota-konak etkileşimini şekillendirdiği yönünde çalışmalar bulunmaktadır (Miller ve Bassler, 2001).

Dental Biyofilm Ekolojisi ve Disbiyozis

“Ekolojik plak hipotezi”, ilk kez Marsh isimli araştırmacı tarafından 1994 yılında literatüre kazandırılmış olup, diş çürüğü ve periodontal hastalıkların belirli bir patojenden ziyade dental biyofilm ekosisteminde meydana gelen çevresel değişimlerin sonucu olarak geliştiğini ortaya koymaktadır (Marsh, 1994). Bu hipoteze göre; sık sık fermente edilebilir karbonhidrat alımı ve buna bağlı pH düşüşleri, oksijen potansiyelindeki değişimler, besin kompozisyonundaki farklılıklar ve inflamasyon, dental biyofilm içerisindeki seçim baskısını değiştirmektedir. Bu seçim baskısı, belirli özelliklere sahip mikroorganizmaların zaman zaman avantaj kazanmasına ve mikrobiyal dengenin hastalıkla ilişkili yönde yeniden şekillenmesine yol açmaktadır. Bu süreç, mikrobiyal topluluğun yapısal ve fonksiyonel dengesinin bozulması olarak tanımlanan “disbiyozis” kavramı

ile açıklanmaktadır. Disbiyozis terimi, konak ile mikrobiyota arasındaki karşılıklı yarar ilişkisini sürdüren homeostatik dengenin kaybı ve patojenik potansiyeli artmış bir mikrobiyal ekosistemin ortaya çıkması anlamına gelmektedir (Lamont ve ark., 2018).

Ekolojik plak hipotezi, önceki plak hipotezlerinden kavramsal olarak ayrılmaktadır. Spesifik olmayan plak hipotezi hastalığı dental biyofilm miktarının artışı ile ilişkilendirmekte, spesifik plak hipotezi ise belirli mikroorganizmaları temel etiyolojik etken olarak kabul etmektedir (Loesche, 1979; Theilade, 1986). Buna karşılık ekolojik plak hipotezi hem dental biyofilm birikiminin hem de belirli türlerin önemini kabul etmekle birlikte, esas belirleyici unsurun çevresel değişimlerin oluşturduğu ekolojik baskı olduğunu vurgulamaktadır. Bu yaklaşımda patojen mikroorganizmalar hastalığın birincil nedeni olarak değil, ekosistemde meydana gelen değişimin sonucu olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla modern anlayış, dental biyofilm eliminasyonundan ziyade dental biyofilm ekosisteminin dengesini korumaya yönelik yönetim stratejilerini ön plana çıkarmaktadır (Marsh, 1994).

Dental Biyofilmlerin Klinik Sonuçları

Dental biyofilmlerin klinik etkileri, mikrobiyal ekosistemin disbiyotik bir yapıya dönüşmesi ile ortaya çıkmaktadır. Diyete bağlı faktörler ve konak yanıtındaki değişiklikler, dental biyofilm kompozisyonunu ve fonksiyonel özelliklerini değiştirerek patojenik potansiyelin artmasına neden olmaktadır.

Supragingival dental biyofilmlerde sık karbonhidrat maruziyeti, ekstrasellüler polisakkarit sentezini ve asit üretimini artırmakta; bu durum lokal düşük pH ortamının sürdürülmesine ve mine demineralizasyonuna yol açmaktadır. Subgingival dental biyofilmlerde ise polimikrobiyal etkileşimler yıkıcı inflamatuvar yanıtı tetikleyerek periodontal doku hasarına neden olmaktadır.

Dental biyofilmin organize matriks yapısı ve topluluk düzeyindeki koordinasyonu, bu hastalıkların kronik seyri ve tedaviye dirençli karakterinin temel belirleyicileri arasında yer almaktadır (Lamont ve ark., 2018).

Hedefe Yönelik Önleyici Stratejiler

Mekanik Dental Biyofilm Kontrolü

Mekanik dental biyofilm kontrolü, periodontal hastalık ve diş çürüğünün temel etiyolojik faktörü olan dental biyofilmin fiziksel yöntemlerle

uzaklaştırılmasını ifade etmektedir. Bu yaklaşım, bireysel ağız hijyeni uygulamaları ve profesyonel diş temizliği olmak üzere iki ana başlık altında değerlendirilmektedir. Bireysel mekanik dental biyofilm kontrolünün temel basamağı diş fırçalamaktır. Diş fırçalamanın etkinliği; kullanılan tekniğe, fırçanın tasarımına, fırçalama sıklığına ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Literatürde farklı fırçalama teknikleri tanımlanmış olup, herhangi bir tekniğin diğerine belirgin üstünlüğü olmadığı bildirilmektedir. Ayrıca manuel ve elektrikli diş fırçaları kullanılabilmekte; bazı elektrikli fırça sistemlerinin dental biyofilm uzaklaştırmada manuel fırçalara göre daha etkili olabildiği belirtilmektedir. Diş fırçalama, aproksimal yüzeylerdeki dental biyofilmin temizlenmesinde yetersiz kalabildiğinden, ara yüz temizliği mekanik dental biyofilm kontrolünün tamamlayıcı bir bileşenidir. Bu amaçla diş ipi ve ara yüz fırçaları kullanılmaktadır. Ara yüz fırçalarının, özellikle interdental boşluğun geniş olduğu durumlarda, dental biyofilm uzaklaştırmada daha etkili olabildiği bildirilmektedir (Yılmaz, 2011).

Kimyasal Dental Biyofilm Kontrolü

Kimyasal dental biyofilm kontrolü, dental biyofilmin oluşumunun yavaşlatılması veya birikiminin azaltılması amacıyla antimikrobiyal ajanların kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Dental biyofilm kontrolü genel olarak mekanik ve kimyasal yöntemler şeklinde sınıflandırılmakta olup, kimyasal uygulamalar mekanik temizliğin alternatifi değil, onu destekleyen yardımcı yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir. Kimyasal dental biyofilm kontrolünde antiplak ajanlar farklı uygulama biçimleriyle kullanılabilmektedir. En yaygın form ağız gargaralarıdır. Düzenli olarak gargara kullanımının dental biyofilm düzeyinde belirli oranlarda azalma sağladığı; özellikle klorheksidin içeren gargaraların yüksek dental biyofilm inhibisyon kapasitesi ve ağız dokularına bağlanma özelliği ile öne çıktığı bildirilmektedir. Klorheksidin; gargara, diş macunu, jel, spre, periodontal örtü ve irrigasyon solüsyonları gibi çeşitli formlarda uygulanabilmektedir. Bununla birlikte kimyasal ajanlar yalnızca gargara formuyla sınırlı değildir; diş macunları, jeller, sakızlar ve subgingival irrigasyon sistemleri aracılığıyla da uygulanabilmektedir. Sanguinarin gibi bitkisel alkaloidler, delmopinol hidroklorür, polidimetilsiloksan gibi yüzey aktif maddeler ve bazı antibiyotiklerin de dental biyofilm kontrolü amacıyla kullanılmasına dair araştırmalar literatürde mevcuttur (Southard ve ark., 1984; Collaert ve ark., 1992; Rølla ve ark., 1994). Ancak antibiyotiklerin uzun süreli ve rutin kullanımı, direnç gelişimi ve hipersensitivite riski nedeniyle önerilmemektedir. Sonuç olarak kimyasal dental biyofilm kontrolü,

antimikrobiyal ajanların uygun taşıyıcı sistemler aracılığıyla uygulanmasıyla dental biyofilm birikimini azaltmayı hedefleyen; ancak mekanik dental biyofilm kontrolünün tamamlayıcısı niteliğinde olan bir yaklaşımdır (Vyas ve ark., 2021).

Moleküler Hedefli Yaklaşımlar

Moleküler hedefli yaklaşımlar; dental biyofilmi tamamen elimine etmeyi değil, dental biyofilmin gelişiminden sorumlu temel biyolojik süreçleri baskılamayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşımlar özellikle karyojenik dental biyofilmlerde; matriks sentezi, bakteriyel adezyon ve hücreler arası iletişim mekanizmalarının hedef alınmasına dayanmaktadır.

Hücre dışı polimerik bileşenlerin sentezinin inhibisyonu, dental biyofilmin yapısal bütünlüğünü zayıflatmaya yönelik bir yaklaşımdır. Dental biyofilimde, özellikle *Streptococcus mutans* tarafından glukoziltransferaz enzimleri aracılığıyla oluşturulan ekzopolisakkarit matriksi; bakterilerin dış yüzeyine bağlanmasını, mikrokoloniler halinde organize olmasını ve asidik mikroçevrenin korunmasını desteklemektedir. Bu nedenle hücre dışı polimerik bileşenlerin üretiminin azaltılması, dental biyofilm kütlesinin ve karyojenik potansiyelin düşürülmesine katkı sağlayabilmektedir (Koo ve ark., 2010).

Adezin blokajı ise kolonizasyonun ilk basamağını hedeflemektedir. Dental biyofilm oluşumu, bakteriyel adezinlerin pelikül üzerindeki özgül reseptörlerle etkileşimi sonucu başlamakta; bu etkileşimin engellenmesi erken tutunmayı sınırlayabilmektedir. Bu bağlamda adezin blokajı stratejileri, dental biyofilm organizasyonunun başlangıç aşamasını kontrol altına almakta etkili olabilecek yaklaşımlar arasında değerlendirilmektedir (Cho ve ark., 2022).

Quorum sensing inhibitörleri ise, bakteriler arası kimyasal iletişim ağlarını bozarak dental biyofilm davranışını düzenlemeyi hedeflemektedir. Oral dental biyofilmlerde quorum sensing mekanizmaları; dental biyofilm gelişimi, stres yanıtı ve virülans faktörlerinin ekspresyonunda belirleyici rol oynamaktadır. Bu sinyal yollarının baskılanması, mikroorganizmaları tümüyle ortadan kaldırmadan patojenik organizasyonu zayıflatabilmekte ve geleneksel antimikrobiyal yaklaşımlara tamamlayıcı bir alternatif sunmaktadır (Wright ve Ramachandra, 2022).

Probiyotik ve Prebiyotik Yaklaşımlar

Probiyotik ve prebiyotik temelli yaklaşımlar, patojen mikroorganizmaların baskılanmasını sağlarken konakla uyumlu mikrobiyal türlerin desteklenmesini amaçlayan hedefe yönelik stratejiler arasında yer almaktadır.

Probiyotikler, yeterli miktarda uygulandığında konak sağlığına fayda sağlayan canlı mikroorganizmalardır. Ağız ortamında probiyotikler; patojenlerle adezyon bölgeleri için rekabet etmekte, bakteriyosin benzeri inhibitör maddeler üretebilmekte ve konak immün yanıtını modüle edebilmektedir. Özellikle *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus rhamnosus* ve *Streptococcus salivarius* gibi türlerin, *Streptococcus mutans*'ın kolonizasyonunu ve dental biyofilm oluşumunu azaltabildiği gösterilmiştir. Bu etki hem doğrudan antagonistik mekanizmalar hem de ekolojik rekabet yoluyla gerçekleşmektedir (Gruner ve ark., 2016).

Prebiyotikler ise yararlı mikroorganizmaların büyümesini veya metabolik aktivitesini seçici olarak destekleyen substratlardır. Oral dental biyofilm bağlamında özellikle arginin gibi alkali üretimini artıran metabolik substratlar, dental biyofilm içindeki asidik mikroçevrenin nötralizasyonuna katkı sağlayarak karyojenik potansiyeli azaltabilmektedir. Bu yaklaşım, ekolojik dental biyofilm hipotezi çerçevesinde dental biyofilm kompozisyonunun çevresel faktörler aracılığıyla modüle edilebileceğini göstermektedir (Nascimento ve ark., 2014).

SONUÇ

Dental biyofilmler, diş yüzeylerinde bulunan basit bir birikim değil; moleküler düzeyde organize olmuş ve konakla sürekli etkileşim içinde bulunan karmaşık mikrobiyal ekosistemlerdir. Güncel bilgiler, diş çürüğü ve periodontal hastalıkların tek bir patojenden değil, dental biyofilm dengesinin bozulmasından kaynaklandığını göstermektedir. Bu nedenle modern yaklaşım, dental biyofilmi tamamen ortadan kaldırmak yerine dental biyofilm davranışını kontrol etmeye odaklanmaktadır. Matriks sentezinin baskılanması, adezyon ve quorum sensing mekanizmalarının düzenlenmesi ile probiyotik–prebiyotik yaklaşımlar bu yeni anlayışın temelini oluşturmaktadır. Gelecekte moleküler hedeflerin daha iyi tanımlanması ve konak–mikrobiyotik ilişkisinin daha net anlaşılması, daha seçici, sürdürülebilir ve kişiye özgü koruyucu uygulamaların geliştirilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Busuioc, M., Mackiewicz, K., Buttarro, B. A., & Piggot, P. J. (2009). Role of intracellular polysaccharide in persistence of *Streptococcus mutans*. *Journal of Bacteriology*, 191(23), 7315–7322.
- Caldwell, D. E., Atuku, E., Wilkie, D. C., & diğerleri. (1997). Germ theory vs. community theory in understanding and controlling the proliferation of biofilms. *Advances in Dental Research*, 11(1), 4–13.
- Cho, E., Hwang, J. Y., Park, J. S., Oh, D., Oh, D. C., Park, H. G., Shin, J., & Oh, K. B. (2022). Inhibition of *Streptococcus mutans* adhesion and biofilm formation with small-molecule inhibitors of sortase A from *Juniperus chinensis*. *Journal of Oral Microbiology*, 14(1), 2088937.
- Collaert, B., Attström, R., De Bruyn, H., & Mover, R. (1992). The effect of delmopinol rinsing on dental plaque formation and gingivitis healing. *Journal of Clinical Periodontology*, 19(4), 274–280.
- Enax, J., Ganss, B., Amaechi, B. T., Schulze Zur Wiesche, E., & Meyer, F. (2023). The composition of the dental pellicle: an updated literature review. *Frontiers in Oral Health*, 4, 1260442.
- Gruner, D., Paris, S., & Schwendicke, F. (2016). Probiotics for managing caries and periodontitis: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 48, 16–25.
- Heller, D., Helmerhorst, E. J., Gower, A. C., Siqueira, W. L., Paster, B. J., & Oppenheim, F. G. (2016). Microbial diversity in the early in vivo-formed dental biofilm. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(6), 1881–1888.
- Kolenbrander, P. E., Andersen, R. N., Kazmerzak, K. M., & Palmer, R. J. (2000). Coaggregation and coadhesion in oral biofilms. In D. G. Allison, P. Gilbert, H. M. Lappin-Scott, & M. Wilson (Eds.), *Community structure and co-operation in biofilms* (pp. 65–86). Cambridge University Press.
- Koo, H., Falsetta, M. L., & Klein, M. I. (2013). The exopolysaccharide matrix: A virulence determinant of cariogenic biofilm. *Journal of Dental Research*, 92(12), 1065–1073.
- Koo, H., Xiao, J., Klein, M. I., & Jeon, J. G. (2010). Exopolysaccharides produced by *Streptococcus mutans* glucosyltransferases modulate the establishment of microcolonies within multispecies biofilms. *Journal of Bacteriology*, 192(12), 3024–3032.
- Lamont, R. J., Koo, H., & Hajishengallis, G. (2018). The oral microbiota: Dynamic communities and host interactions. *Nature Reviews Microbiology*, 16(12), 745–759.

- Loesche, W. J. (1979). Clinical and microbiological aspects of chemotherapeutic agents used according to the specific plaque hypothesis. *Journal of Dental Research*, 58(12), 2404–2412.
- Marsh, P. D. (1994). Microbial ecology of dental plaque and its significance in health and disease. *Advances in Dental Research*, 8(2), 263–271.
- Marsh, P. D. (2004). Dental plaque as a microbial biofilm. *Caries Research*, 38(3), 204–211.
- Marsh, P. D., Moter, A., & Devine, D. A. (2011). Dental plaque biofilms: Communities, conflict and control. *Periodontology 2000*, 55(1), 16–35.
- Miller, M. B., & Bassler, B. L. (2001). Quorum sensing in bacteria. *Annual Review of Microbiology*, 55, 165–199.
- Nascimento, M. M., Browngardt, C. M., Xiaohui, X., Klepac-Ceraj, V., Paster, B. J., & Burne, R. A. (2014). The effect of arginine on oral biofilm communities. *Molecular Oral Microbiology*, 29(1), 45–54.
- Oogai, Y., Tanaka, Y., & Nakata, M. (2025). Microbial coaggregation in the oral cavity: Molecular interactions and current insights. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(21), 10552.
- Rølla, G., Ellingsen, J. E., & Gaare, D. (1994). Polydimethylsiloxane as a tooth surface-bound carrier of triclosan: A new concept in chemical plaque inhibition. *Advances in Dental Research*, 8(2), 272–277.
- Rosier, B. T., De Jager, M., Zaura, E., & Krom, B. P. (2014). Historical and contemporary hypotheses on the development of oral diseases: Are we there yet? *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 4, 92.
- Senneby, A., Davies, J. R., Svensäter, G., & Neilands, J. (2017). Acid tolerance properties of dental biofilms in vivo. *BMC Microbiology*, 17(1), 165.
- Sharma, S., Mohler, J., Mahajan, S. D., Schwartz, S. A., Bruggemann, L., & Aalinkeel, R. (2023). Microbial biofilm: A review on formation, infection, antibiotic resistance, control measures, and innovative treatment.
- Southard, G. L., Boulware, R. T., Walborn, D. R., Groznik, W. J., Thorne, E. E., & Yankell, S. L. (1984). Sanguinarine, a new antiplaque agent: Retention and plaque specificity. *Journal of the American Dental Association*, 108(3), 338–341.
- Takahashi, N., & Nyvad, B. (2011). The role of bacteria in the caries process: Ecological perspectives. *Journal of Dental Research*, 90(3), 294–303.
- Theilade, E. (1986). The non-specific theory in microbial etiology of inflammatory periodontal diseases. *Journal of Clinical Periodontology*, 13(10), 905–911.

- Valm, A. M. (2019). The structure of dental plaque microbial communities in the transition from health to dental caries and periodontal disease. *Journal of Molecular Biology*, 431(16), 2957–2969.
- Vyas, T., Bhatt, G., Gaur, A., Sharma, C., Sharma, A., & Nagi, R. (2021). Chemical plaque control – A brief review. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 10(4), 1562–1568.
- Wright, P. P., & Ramachandra, S. S. (2022). Quorum sensing and quorum quenching with a focus on cariogenic and periodontopathic oral biofilms. *Microorganisms*, 10(9), 1783.
- Yılmaz, H. G. (2011). Mekanik dental biyofilm kontrol yöntemleri. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 5(1), 791–797.

PERİODONTAL HASTALIKLARIN SİSTEMİK HASTALIKLARLA İLİŞKİSİNDE GÜNCEL MOLEKÜLER YAKLAŞIMLAR

Hanife Esra AYCAN

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji, Diş Hekimliği Fakültesi, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Afyonkarahisar/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-3726-6158
- ❖ Mail: esraaycan6@gmail.com

Emine Beyza BAŞYİĞİT

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji, Diş Hekimliği Fakültesi, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Afyonkarahisar/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0008-7740-3744
- ❖ Mail: beyzabasygt99@outlook.com

GİRİŞ

Periodontitis, periodontal ligament ve alveolar kemik dahil olmak üzere dişlerin destek dokularının kademeli yıkımı ile karakterize, kronik ve ilerleyici inflamatuvar bir hastalıktır. Bu durum temel olarak ağız boşluğundaki mikrobiyal disbiyozisten kaynaklanmakta olup, konak bağışıklık yanıtı ile çevresel ve davranışsal faktörlerden etkilenmektedir. Kronik periodontitisin yalnızca lokal dokularla sınırlı kalmadığı; çözülmemiş hiper-inflamasyon, doğuştan ve kazanılmış bağışıklık yanıtında düzensizlik ve sistem çapında biyolojik değişikliklerle ilişkili olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle periodontitis; oral, gastrointestinal ve diğer sistemik hastalıklarla birlikte görülebilen, bu hastalıkları ağırlaştırabilen veya onların gelişimine katkıda bulunabilen sistemik bir durum olarak da değerlendirilmektedir (Hajishengallis, 2015).

Periodontal hastalık ile sistemik sağlık arasındaki bu çift yönlü ilişkinin daha iyi anlaşılması, yalnızca patofizyolojik mekanizmaların değil, aynı zamanda gelişmiş tanı yaklaşımlarının da önemini artırmıştır. Günümüzde periodontal hastalıkların değerlendirilmesinde kullanılan tanısal teknolojiler genel olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır: laboratuvar temelli (labside) ve hasta başı (chairside) yöntemler.

Labside yöntemler, yüksek duyarlılık ve özgüllüğe sahip olmaları nedeniyle biyobelirteç analizi ve patojen tespitinde altın standart teknikler arasında yer almaktadır. Enzim bağlantılı immünosorbent analiz (ELISA), inflamatuvar sitokinlerin ve matriks metalloproteinazların kantitatif ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ise özellikle *Porphyromonas gingivalis*, *Treponema denticola* ve *Fusobacterium nucleatum* gibi periodontal patojenlerin tespitinde yüksek duyarlılık sağlamaktadır. Bununla birlikte bu yöntemler; özel ekipman gereksinimi, maliyet ve zaman kısıtlılıkları nedeniyle çoğunlukla araştırma ve merkezi laboratuvar ortamlarında uygulanmaktadır (Ji & Choi, 2015).

Buna karşılık chairside tanı yöntemleri, bakım noktasında (point-of-care) hızlı ve pratik sonuçlar sunarak klinik karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır. Lateral flow assay (LFA), mikroakışkan sistemler, lab-on-a-chip cihazları ve biyosensör teknolojileri; inflamatuvar mediyatörler ile mikrobiyal belirteçlerin gerçek zamanlı ve çoklu analizine olanak tanımaktadır. Bu gelişmeler, periodontal hastalığın lokal etkilerinin yanı sıra sistemik yansımalarının da aynı platformda değerlendirilebilmesini mümkün

kılmakta; zaman, maliyet ve çoklu test gereksinimini azaltarak daha bütüncül bir hasta yönetimi yaklaşımı sunmaktadır (Chen & Zhao, 2020).

Bu bölümde öncelikle periodontitis ve ilişkili sistemik durumların normal fizyolojik işlevleri ile patolojik değişikliklerine genel bir bakış sunulmaktadır. Ardından inflamatuvar mediyatörler, bağışıklık sistemi düzensizliği gibi ortak immünolojik ve patofizyolojik yollar ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Mikrobiyoloji, immünoloji ve klinik araştırmalar gibi farklı disiplinlerden elde edilen bulgular bütünleştirilerek, ağız sağlığının sistemik iyilik hali üzerindeki bütüncül rolü vurgulanmaktadır.

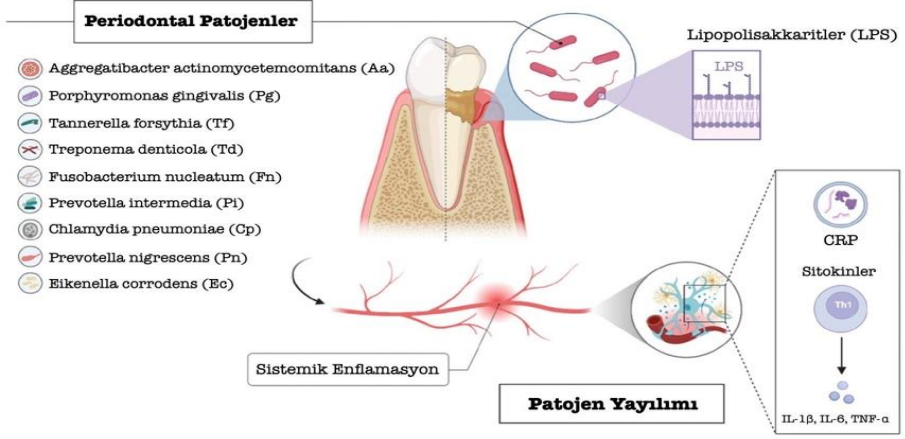
1.Periodontal Hastalık

Periodontal hastalıklar (gingivitis ve periodontitis dahil), dünya genelinde oldukça yaygın görülen kronik inflamatuvar durumlardır. Hastalığın ileri formu olan şiddetli periodontitis, önceki tahminlere göre dünya çapında en yaygın altıncı hastalık olarak sıralanmıştır. Bu hastalıklar gingiva, periodontal ligament ve alveolar kemiğin inflamasyonunu içerir ve ilerleyici doku yıkımı ile nihayetinde diş kaybı ile sonuçlanır (Kassebaum ve ark. 2014). Son yıllarda periodontal inflamasyonun yalnızca oral kavite ile sınırlı olmadığı; sistemik dolaşıma yayılan inflamatuvar mediyatörler, bakteriyel ürünler ve konak yanıtı aracılığıyla çeşitli sistemik hastalıklarla çift yönlü etkileşim içinde olduğu gösterilmiştir. Sigara kullanımı, diabetes mellitus, obezite ve düşük sosyoekonomik düzey gibi risk faktörleri, periodontal hastalığın şiddetini artırmakta ve inflamatuvar süreçleri sürdüren disbiyotik bir oral mikrobiyomun oluşumuna katkıda bulunmaktadır. (Albandar ve ark. 2018).

Hastalık temel olarak, konak savunma mekanizmalarını aşabilen patojenik bakteriler içeren biyofilmler tarafından başlatılır ve bu süreç inflamasyon ile doku yıkımına yol açar. Patogenez; hem lokal yumuşak doku patolojisinin hem de mikroorganizmaların yayılımı ve konak immün yanıtının modülasyonu sonucu oluşan sistemik etkileri kapsar.

Dental biyofilmler, diş yüzeyine tutunan ve ekstrasellüler matriks içinde organize olmuş mikroorganizma topluluklarıdır. Bu yapı bakterilere konak immün yanıtına ve antimikrobiyal ajanlara karşı koruma sağlayarak kalıcılık kazandırır. Biyofilmler içinde bakteriler, quorum sensing adı verilen bir süreç aracılığıyla iletişim kurar. Bu süreçte bakteriler, biyofilm gelişimini koordine etmek, büyümeyi artırmak, virülans faktörü ekspresyonu

düzenlemek ve hastalık progresyonunu desteklemek amacıyla sinyal molekülleri salgılar.



Şekil 1. Periodontal hastalık ile sistemik inflamasyon ve ilişkili sağlık sorunları arasındaki bağlantıları gösteren orijinal illüstrasyon. Aggregatibacter actinomycetemcomitans (Aa), Porphyromonas gingivalis (Pg), Tannerella forsythia (Tf), Treponema denticola (Td), Eubacterium nodatum (En), Fusobacteriumnucleatum (Fn), Prevotella intermedia (Pi), Campylobacterrectus (Cr), Peptostreptococcus (Micromonas) micros (Pm), Eikenella corrodens (Ec), Chlamydia pneumoniae (Cp), Prevotellanigrescens (Pn) ve Capnocytophaga türleri (Cs) ve Lipopolysaccharides (LPS) gibi virülans faktörleri, enfekte olmuş ağız boşluğundan sistemik dolaşıma yayılır (patojen yayılımı). Bu süreç, sitokinler (Interleukin-1β [IL-1β], Interleukin-6 [IL-6] ve Tümör Nekroz Faktörü-alfa [TNF-α]) ve C-reaktif protein (CRP) gibi akut faz proteinleri dahil olmak üzere proinflamatuvar mediatörlerin salınımıyla birlikte sistemik inflamasyona katkıda bulunur. (Foroughi ve ark 2025)

Moleküler düzeyde değerlendirildiğinde periodontal inflamasyonun sistemik etkileri üç ana mekanizma üzerinden açıklanmaktadır:

1. Doğrudan bakteriyel yayılım ve bakteriyemi
2. Sistemik inflamatuvar mediyatör artışı
3. İmmün yanıtın modülasyonu ve otoimmüniteyi tetiklemesi

Bu mekanizmalar; periodontitis ile diyabet, romatoid artrit ve alzheimer gibi kronik sistemik hastalıklarla çift yönlü bir ilişki kurulmasını mümkün kılmaktadır.

2. Biyofilmler ve Anahtar Patojenlerin Rolü

Mikrobiyal disbiyoz terimi, yalnızca bakteri türlerindeki değişimi değil, aynı zamanda reaktif bolluk, topluluk yapısı ve kolektif fonksiyonel çıktının (örneğin artmış virülans faktörü ekspresyonu) değişimini içerir. (Hajishengallis ve ark. 2012)

Sağlıkla ilişkili, çoğunlukla Gr (+) kommensallerin baskın olduğu bir subgingival ortam; hastalıkta Gr (-) anaerobların baskın olduğu bir yapıya dönüşür. Bu patojenler toksinler ve diğer virülans faktörlerini salarak inflamatuvar yanıtı başlatır ve şiddetlendirir.

Periodontal hastalıkta *Porphyromonas gingivalis* (Pg), *Treponema denticola* (Td) ve *Fusobacterium nucleatum* (Fn) gibi anahtar patojen türlerin proliferasyonunu gösterir.

Porphyromonas gingivalis

Porphyromonas gingivalis, Gr (-), anaerob bir bakteridir ve biyofilm topluluğunun dengesini bozarak disbiyoz gelişimine katkıda bulunur. Başlıca virülans faktörleri arasında konak proteinini parçalayan, immün sistemi zayıflatan ve doku invazyonunu artıran gingipainler (sistein proteazlar) yer alır. Düşük immünojenisiteye sahip bir lipopolisakkarit (LPS) ekspresyonu gösterir, Toll-benzeri reseptör (TLR) sinyallemesini modifiye eder ve nötrofillerin bakterisidal etkinliğini baskılar (Hajishengallis ve ark. 2012).

Treponema denticola

Treponema denticola, Gr (-), zorunlu anaerob, hareketli bir spirokettir ve ileri evre periodontitis ile ilişkilidir. Konak immün yanıtı ve antimikrobiyal tedavilere karşı bakteriyi koruyan biyofilmler oluşturur. Dentisin proteazı, konak ekstrasellüler maktriks proteinlerin yıkar ve *P. gingivalis*in proteolitik aktivitesini tamamlayıcı şekilde etki gösterir. Bu patojen, epitel bariyerlerini bozar ve diğer mikroorganizmaların bağ dokusuna invazyonunu kolaylaştırır. (Mohanty ve ark. 2020)

Fusobacterium nucleatum

Fusobacterium nucleatum, Gr (-), anaerob bir bakteridir ve biyofilm içerisinde “köprü organizma” olarak görev yaparak diğer patojenlerin kolonizasyonuna katkıda bulunur. Epitel hücrelerine adezyon gösterir ve interlökin-8 (IL-8) ile diğer proinflamatuvar sitokinlerin sekresyonunu indükleyerek inflamasyonu artırır Dokulara ve kan dolaşımına invaze olabilir; kolorektal kanser ve olumsuz gebelik sonuçları gibi hastalıklarla ilişkilendirilmiştir. Anahtar patojenlerin virülans mekanizmaları, periodontal hastalık progresyonuna dair kritik bilgiler sunmaktadır (Han, 2015).

3. İnflamatuvar ve Moleküler Mekanizmalar

Periodontal hastalıklar, C-reaktif protein (CRP), interlökin-6 (IL-6) ve tümör nekroz faktör-alfa (TNF- α) gibi biyobelirteçlerin yükselmesiyle kanıtlanan kronik inflamasyonu tetikleyerek sistemik sağlık sorunlarına katkıda bulunmaktadır. Bu inflamatuvar durum, diabetes mellitus ve koroner kalp hastalığı gibi sistemik hastalıkların seyrini kötüleştirebilmektedir.

Gram negatif bakterilerin dış membranının ana bileşeni olan lipopolisakkarit (LPS), bu inflamasyonun temel tetikleyicisidir. Ancak LPS'nin immün uyarıcı potansiyeli, yapısına bağlı olarak değişir; özellikle lipid A kısmı konak Toll-benzeri reseptör 4 (TLR4) kompleksi ile etkileşir (Darveau, 2010).

Pg gibi Gram-negatif periodontal patojenlerden salınan LPS; endotelial disfonksiyonu indükler ve bu durum aterogenezde temel bir olaydır. LPS, endotelial hücrelerde E-selektin, ICAM-1 ve VCAM-1 gibi adezyon moleküllerinin ekspresyonunu artırarak lökosit adezyonu ve migrasyonunu kolaylaştırır; böylece vasküler inflamasyon ve plak oluşumu teşvik edilir. Ayrıca LPS plasental bariyeri bozarak preterm doğum ve olumsuz gebelik sonuçları riskini artırabilir (Foroughi, M., 2025)

Enfeksiyonun çözümlenememesi, proinflamatuvar mediyatörlerin salınımını sürdürerek B ve T hücrelerinin aktivasyonu yoluyla adaptif bağışıklığı tetikler. Bağ dokusu T hücrelerinden daha fazla RANK-L + B hücresi içeren lenfositlerle infiltre olduğunda, T hücreleri RANK-L ve IL-17 ile birlikte TNF-alfa üretir; böylece osteoklastogenez, kemik rezorpsiyonu ve klinik ataşman kaybını (CAL) artırır (Bostanci ve ark., 2019; de Molon ve ark., 2019).

Bu durum inflamasyonun lokal sınırları aşmasının yalnızca başlangıcıdır (Hasturk ve Kantarci, 2015; Loos ve Van Dyke, 2020).

Konak immün yanıtı, periodontal hastalığın sistemik etkilerini daha da güçlendirmektedir. Nötrofiller, makrofajlar ve dendritik hücreler gibi doğuştan gelen bağışıklık hücreleri, periodontal patojenleri Toll-benzeri reseptörler (TLR'ler) dahil olmak üzere örüntü tanıma reseptörleri (PRR'ler) aracılığıyla tanır. Bu tanıma süreci proinflamatuvar sitokin üretimini tetikler ve T yardımcı hücreler (Th1, Th2, Th17) ile B lenfositler gibi adaptif immün hücrelerin bölgeye göçünü sağlar.

Bu hücreler, nükleer faktör-kappa B ligandının reseptör aktivatörü (RANKL) salınımı yoluyla osteoklast aracılı kemik rezorpsiyonunu artırarak kronik inflamasyon ve doku yıkımına katkıda bulunur.

Sitokin kodlayan genlerdeki polimorfizmler (örn. IL-1 β , TNF- α) gibi genetik yatkınlıklar inflamatuvar yanıtı artırarak hem periodontal hem de sistemik hastalıklara duyarlılığı yükseltir (Laine ve ark. 2012).

Gözlemsel çalışmalar periodontitis ile kardiyovasküler hastalık, diyabet ve olumsuz gebelik sonuçları arasında anlamlı korelasyonlar göstermektedir. Ancak sigara kullanımı, sosyoekonomik durum ve komorbiditeler gibi karıştırıcı faktörler bu ilişkileri karmaşıklaştırmaktadır (Tonetti, M. S., & Van Dyke, T. E. 2013).

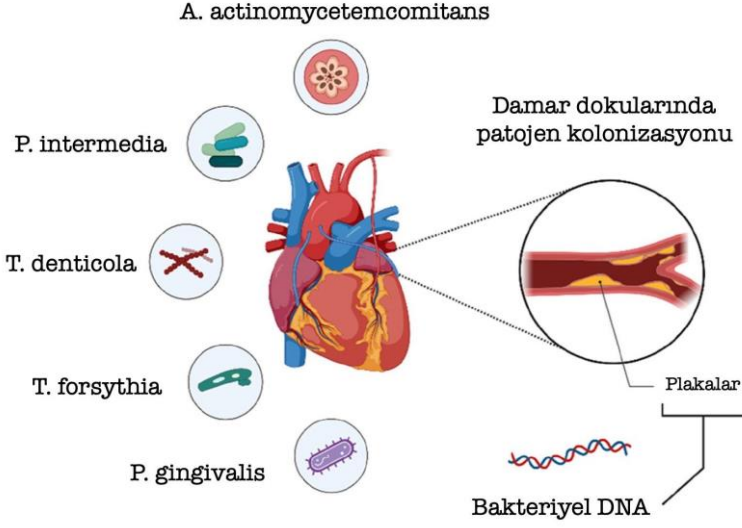
4. Kardiyovasküler Hastalık

Periodontal hastalık ile kardiyovasküler olay riski arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Çalışmalar, periodontal hastalığı olan bireylerin kalp krizi, inme veya diğer ciddi kardiyovasküler olayları yaşama riskinin sağlıklı dişetlerine sahip bireylere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. (Dietrich ve ark. 2013).

Bu ilişkiyi açıklamak için birden fazla mekanizma öne sürülmüştür. Periodontal hastalık kaynaklı sistemik inflamasyon; C-reaktif protein (CRP), tümör nekrotizan faktör-alfa (TNF-alfa) ve interlökin-6 (IL-6) gibi biyobelirteçlerin yükselmiş düzeyleri ile yansıtılmaktadır.

Ayrıca endotelial ve immün hücreler üzerindeki toll-like reseptörlerin (TLR'ler) aktivasyonu, NF-Kappa B sinyal yollarını başlatır; bu da adezyon moleküllerinin ekspresyonunu, endotelial disfonksiyonu ve proinflamatuvar sitokin üretiminde artışı teşvik eder. Periodontal patojenlerden kaynaklanan lipopolisakkaritler (LPS) ve ısı şok proteinleri de moleküler taklidi indükleyerek T ve B lenfositler aracılığıyla otoimmün yanıtları tetikleyebilir. Ayrıca periodontal bakterilerin kan dolaşımına girerek doğrudan vasküler hasara yol açabileceği öne sürülmüştür. (Wick ve ark. 2014).

Önemli olarak, periodontal hastalıklarla yaygın şekilde ilişkilendirilen Gram (-) bakteriler -örneğin *Porphyromonas gingivalis*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* ve *Treponema denticola*- rutin olarak aktiviteler sırasında kan dolaşımına girebilir. Sistemik dolaşıma ulaştıklarında LPS bileşenleri endotelial hücreleri aktive eder ve hem doğuştan hem de adaptif immün yanıtları devreye sokarak vasküler inflamasyona katkıda bulunur.



Şekil 2. Periodontal patojenler olan *A. actinomycetemcomitans*, *P. gingivalis*, *T. forsythia*, *T. denticola* ve *P. intermedia* ile kardiyovasküler hastalıklar arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu patojenler ve virülans faktörleri vasküler dokulara taşınır, burada kolonileşir ve aterosklerotik plakların oluşumuna katkıda bulunurlar. Bu patojenlerin bakteriyel DNA'sı arteriyel plaklarda tespit edilmiştir, bu da periodontal enfeksiyonları sistemik vasküler durumlarla ilişkilendirerek hastalık etiyojisinde oral-sistemik bağlantıyı vurgulamaktadır (Foroughi ve ark 2025).

Ayrıca bu patojenlerin LPS'si endotelial bütünlüğü bozarak vasküler permeabilityi artırır. LPS, endotelial hücrelerdeki toll-like reseptörlere bağlanarak NF-kappa B sinyal yolunu aktive eder ve TNF-alfa salınımını uyarır; bu da tight junction'ları bozarak endotelial geçirgenliği daha da artırır (Aveleira ve ark. 2010).

Bu patojenler, bakteriyemi oluşturan günlük oral aktiviteler veya dental işlemler sırasında dolaşıma katılabilir. Dolaşımda bu bakteriler damar duvarlarına tutunarak ateroskleroz patogeneze katkıda bulunabilir ve damar duvarlarında plak birikimine yol açabilir. Bu süreç, patojenlerin tetiklediği inflamatuvar yanıt aracılığıyla gerçekleşir.

Beş kohort çalışmasını (86.092 hasta) içeren bir meta-analiz, periodontal hastalığı olan bireylerde koroner kalp hastalığı gelişme riskinin %12 daha yüksek olduğunu göstermiştir. 1.423 hastayı içeren vaka-kontrol çalışmalarında ise risk daha yüksek olup odds oranı 2,22 olarak bildirilmiştir (Bahekar ve ark. 2007).

Aterom plaklarında *Porphromonas gingivalis*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* ve *Tannerella forsythia* gibi patojenlerin DNA'sının bulunması, oral patojenlerin veya mikrobiyal ürünlerinin sistemik bölgelere taşındığını göstermektedir (Schenkein ve ark. 2013).

5. Diabetes Mellitus

Diabetes mellitus, insülin eksikliği (Tip 1), insülin direnci (Tip 2) veya her ikisi nedeniyle kan glukoz düzeyinin yükseldiği kronik bir metabolik hastalıktır. Diyabet ve periodontitis arasında çift yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki, periodontal patojenler ile pankreastaki insülin üreten β hücreleri arasındaki etkileşimlerden etkilenmektedir. Periodontitis; periodontal dokularda inflamasyon ve artmış sitokin ile akut faz protein düzeyleri ile karakterizedir. Periodontal hastalıklar ve Tip 2 diyabet önemli inflamatuvar bileşenleri paylaşır. Kronik periodontal hastalık insülin direncini artırabilir ve glisemik kontrolü bozabilir; periodontal tedavi ise inflamasyonu azaltarak insülin duyarlılığını iyileştirebilir. *Porphromonas gingivalis*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* ve *Fusobacterium nucleatum* gibi patojenler inflamasyonu artırarak β hücre fonksiyonunu etkileyebilir ve metabolik düzensizliği şiddetlendirebilir (Ilievski ve ark. 2016).

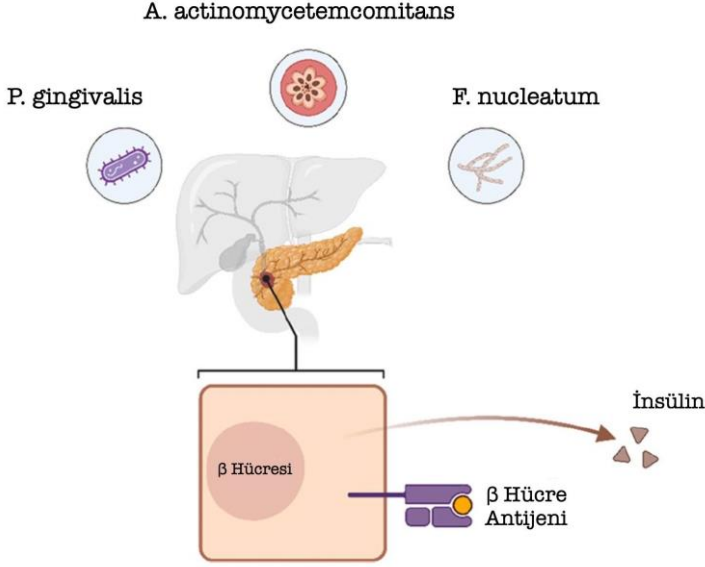
Buna karşılık diyabetteki hiperglisemi immün fonksiyonu bozar, periodontal enfeksiyonların kontrolünü zorlaştırır ve daha şiddetli periodontal yıkıma yol açar.

Diyabetli bireylerde:

- Nötrofil adezyonu, kemotaksisi ve fagositozu bozulmuştur.
- Makrofaj fonksiyonu ve inflamasyon çözülme kapasitesi azalmıştır.
- TNF- α gibi proinflamatuvar sitokin üretimi artmıştır.

Diyabetli bireylerde periodontitis gelişme riski diyabeti olmayanlara göre üç kat daha fazladır. Tip 1 diyabetli hastalarda periodontitis prevalansı %58 iken kontrol grubunda %15'tir (Løe, 1993).

Yara iyileşmesi diyabetik bireylerde genellikle bozulmuştur. Yüksek glukoz ortamında periodontal fibroblastlar optimal çalışamaz ve kolajen, artmış matriks metalloproteinazlar (MMP'ler) tarafından hızla yıkılır.



Şekil 3. Periodontal patojenler *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (Aa), *Porphyromonas gingivalis* (Pg) ve *Fusobacterium nucleatum* (Fn) 'ın pankreastaki β -hücre fonksiyonu üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu patojenler, iltihaplanma ve bağışıklık aracılı hasara katkıda bulunarak, β -hücre antijen sunumunu ve insülin üretimini bozabilir ve sonuçta insülin direncini ve diabetes mellitusun gelişmesini veya ilerlemesini şiddetlendirebilir. (Foroughi ve ark 2025)

Kronik hiperglisemi, periodontal dokular dahil olmak üzere dokularda ileri glikasyon son ürünlerinin (AGE'ler) birikimine yol açar. AGE'ler, hücre yüzey reseptörü RAGE'ye bağlanarak güçlü bir inflamasyon amplifikatörü görevi görür (Preshaw & Bissett, 2019).

AGE–RAGE etkileşimi:

- TNF- α ve IL-6 üretimini artırır.
- MMP ekspresyonunu yükseltir.
- Doku yıkımını hızlandırır.
- Endotelial fonksiyon bozukluğuna ve anormal kapiller proliferasyonuna katkıda bulunur.

Tip 1 diyabetli çocuk ve ergenlerde gingivitis (%21) ve periodontitis (%6) görülme sıklığı diyabeti olmayanlara göre daha yüksektir. Hastalık süresi 5 yılı aşan bireylerde periodontal parametreler daha kötü bulunmuştur. (Lalla ve ark. 2006)

Periodontal enfeksiyonların tedavisi diyabetli hastalarda glisemik kontrolü iyileştirebilir; ancak mevcut kanıtlar kesin değildir ve büyük, randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır.

6. Olumsuz Gebelik Sonuçları

Gebelik, kadınların hormonal durumunu değiştirmekte ve bu nedenle gebelik dışı dönemdeki kadınlara kıyasla gingivitis ve periodontitis dahil olmak üzere periodontal hastalık riskini artırmaktadır.

Bazı periodontal patojenlerin veya bunlara ait mikrobiyal ürünlerin kan dolaşımına geçerek plasentaya taşınabileceği düşünülmektedir; bunlar arasında *Fusobacterium nucleatum* (Fn), *Porphyromonas gingivalis* (Pg), *Prevotella intermedia* (Pi), *Tannerella forsythia* (Tf), *Treponema denticola* (Td) ve *Parvimonas micra* (Pn) yer almaktadır (Han, Y. W. 2011).

Bu patojenler, plasental ortamda makrofajlar gibi maternal immün hücreleri invaze edebilmektedir. Bu temas; İnterlökin-1 β (IL-1 β), İnterlökin-6 (IL-6), Tümör Nekroz Faktör-alfa (TNF- α) ve Prostaglandin E2 (PGE2) gibi proinflatuvar sitokinlerin sentezini uyarmaktadır. Patojen varlığı ve buna bağlı gelişen inflamasyon; preterm doğum, düşük doğum ağırlığı, preeklampsi, düşük ve ölü doğum gibi olumsuz gebelik sonuçları ile ilişkilendirilmiştir (Madianos ve ark. 2013).

Kanıtlar, bazı periodontal tedavi girişimlerinin preterm doğum ve düşük doğum ağırlığı riskini azaltabileceğini göstermektedir.

7. Romatoid Artrit

Periodontal hastalık, patogenezlerinde inflamatuvar yolakların ve mikrobiyal disbiyozun merkezi rol oynaması nedeniyle romatoid artrit (RA) gibi otoimmün hastalıklarla ilişkilendirilmiştir. *Porphyromonas gingivalis* tarafından üretilen peptidilarginin deiminaz (PAD) enzimi, kalsiyum iyonlarının (Ca²⁺) varlığında fibrin, vimentin, fibronektin, Epstein-Barr Nükleer Antijen 1, α -enolaz, tip II kolajen ve histonlar gibi proteinleri sitriline antijenlere dönüştürmektedir (Koziel ve ark. 2014).

Bu modifiye proteinler, T hücreleri ile etkileşim sonrası B hücreleri tarafından üretilen antikörler tarafından tanındığında otoimmün yanıtların gelişmesine yol açmaktadır.

RA ve periodontitis patogenezinde TNF- α , IL-1 β ve IL-6 gibi proinflatuar sitokinler merkezi rol oynamaktadır. Bu sitokinler hem

periodontal dokularda kemik rezorpsiyonunu, hem de sinovyal dokuda osteoklast aktivasyonunu arttırmaktadır.

RANK/RANKL/OPG sistemi, her iki hastalıkta da kemik yıkımının temel düzenleyici mekanizmasıdır. Periodontal inflamasyon sırasında artan RANKL ekspresyonu alveolar kemik kaybına yol açarken, RA'da benzer mekanizma eklem destrüksiyonuna katkıda bulunmaktadır.

Fusobacterium nucleatum ve *Escherichia coli* ise immün düzensizliği artırarak ve proinflamatuvar sitokin salınımını tetikleyerek eklem ağrısı ve şişliği şiddetlendirmektedir. Bu kronik inflamatuvar durum, RA semptomlarını ağırlaştırmakta ve bağışıklık sistemindeki düzensizlik nedeniyle RA'lı bireylerin daha şiddetli periodontitis geliştirmesine yol açan bir kısır döngü oluşturmaktadır (Koziel ve ark. 2014).

Klinik çalışmalar, periodontal hastalıkların kontrol altına alınmasının sistemik inflamasyonu azaltılabileceğini ve RA tedavisini iyileştirebileceğini göstermektedir. Cerrahi olmayan periodontal tedavinin romatoid artrit şiddetini anlamlı şekilde azaltabildiği bildirilmiştir (Ortiz ve ark. 2009).

Bu bulgular, iki kronik inflamatuvar hastalık arasında patojenik bir bağlantı olduğu hipotezini güçlü şekilde desteklemektedir.

8. Alzheimer

Alzheimer; hafıza, düşünme, dil ve öğrenme gibi bilişsel işlevlerin kademeli kaybı ile karakterize, kronik ve geri dönüşümsüz bir hastalıktır ve nihayetinde ölümle sonuçlanmaktadır. Günümüzde, Alzheimer ile periodontal hastalıklar arasında karşılıklı etkileşim (crosstalk) olduğuna dair kanıtlar bulunmaktadır. Ağız boşluğundan beyne mikrobiyal geçiş ve sistemik inflamasyonun, Alzheimer'ın gelişimini tetikleyebileceği öne sürülmektedir. Kronik periodontitis, dolaşımdaki proinflamatuvar sitokin düzeylerini artırmakta ve bu sitokinler beyin mikroglialarını uyarmaktadır. Aktive olmuş mikroglialar ise IL-1 β , IL-8 ve TNF- α gibi ek proinflamatuvar sitokinler salgılamaktadır. Bu sitokinler kan-beyin bariyerini geçerek Alzheimer hastalığı ile ilişkili nöroinflamasyonu şiddetlendirebilmektedir (Teixeira ve ark. 2017).

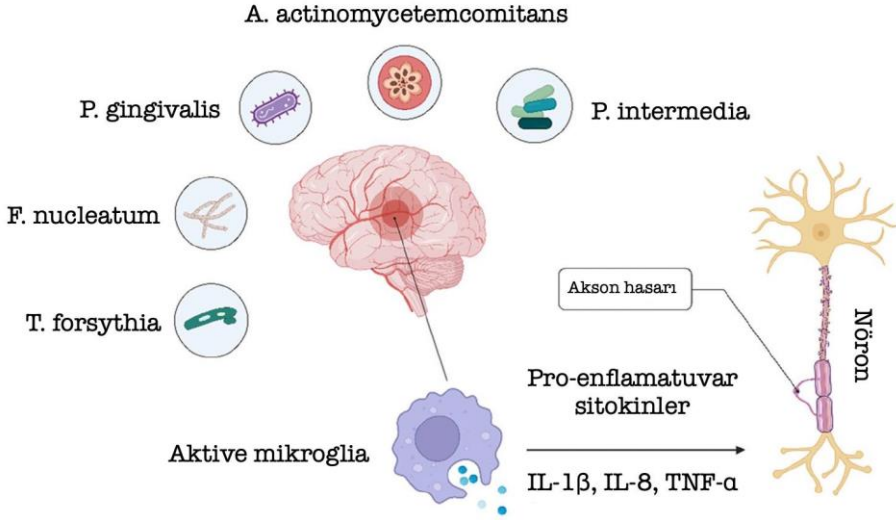
Porphyromonas gingivalis ve *Treponema denticola*'ya ait lipopolisakkaritlerin (LPS), Alzheimer hastalarının postmortem beyin dokularında saptanmış olması, bu mikroorganizmaların beyin inflamasyonundaki potansiyel rolünü ortaya koymaktadır. Bu patojenler, gingipainler gibi virülans faktörleri üretmekte; bu faktörler beyin dokusunu

yıkarak Alzheimer hastalığının temel özelliklerinden biri olan amiloid-beta plak oluşumunu teşvik etmektedir (Dominy ve ark. 2019).

Ayrıca gingipainlerin; nöronal hücre hasarı, tau patolojisi ve inflamatuvar yanıt ile ilişkili olabileceği öne sürülmektedir. Ayrıca periodontal patojenlerin hematolojik yol veya trigeminal sinir aracılığıyla merkezi sinir sistemine ulaşabileceği hipotezleri de literatürde yer almaktadır.

İnsan ve hayvan beyinlerinde *Treponema denticola*, *Porphyromonas gingivalis* ve *Chlamydia pneumoniae* gibi periodontal patojenlerin tespit edilmesi, bu mikroorganizmaların kan-beyin bariyerini aşarak nörodejenerasyona yol açabileceğini göstermektedir.

Alzheimer hastalığı olan yaşlı bireylerde *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Porphyromonas gingivalis*, *Tannerella forsythia* ve *de Fusobacterium nucleatum*'a karşı antikor düzeylerinin kontrol grubuna kıyasla daha yüksek bulunması da periodontal enfeksiyon ile bilişsel bozulma arasındaki ilişkiyi güçlendirmektedir (Sparks Stein ve ark. 2012).



Şekil 4. Periodontal patojenlerin (*A. actinomycetemcomitans*, *P. gingivalis*, *T. forsythia*, *F. nucleatum* ve *P. intermedia*) nöroinflamasyon ve nöronal hasar üzerindeki etkisini gösteren şekil. Bu patojenler veya LPS gibi mikrobiyal ürünleri beyindeki mikrogliyal hücreleri aktive ederek proinflamatuvar sitokinlerin (IL-1 β , IL-8 ve TNF- α) salınmasına neden olur. Sonuçta ortaya çıkan inflamasyon, akson hasarına katkıda bulunur ve Alzheimer hastalığı gibi nörodejeneratif hastalıkların patogenezinde periodontal enfeksiyonların rolünü vurgular (Foroughi ve ark 2025).

Bu çalışmaların sonuçları, periodontal sağlığın korunmasının yaşlı bireylerde bilişsel fonksiyonların sürdürülmesinde ve Alzheimer hastalığının önlenmesinde önemli bir rol oynayabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle, etkili periodontal tedavi ve yönetim stratejileri sistemik inflamasyonu ve bunun beyin üzerindeki zararlı etkilerini azaltmaya yardımcı olabilir. Ancak Alzheimer ve periodontal hastalık arasındaki ilişki halen araştırma aşamasındadır ve güçlü klinik öneriler geliştirmek için daha geniş ölçekli prospektif çalışmalara ihtiyaç vardır.

9. Oral ve Kolorektal Kanserler

Periodontal hastalıklar; oral skuamöz hücreli karsinom ve kolorektal kanser dahil olmak üzere bazı kanser türlerinde artmış risk ile ilişkilendirilmiştir.

İki önemli periodontal patojen olan *Porphyromonas gingivalis* (Pg) ve *Fusobacterium nucleatum* (Fn), kolorektal kanser ile bağlantılı bulunmuştur. Özellikle Fn, kolorektal kanser ile güçlü biçimde ilişkilendirilmiş olup belirli bir Fn kladının kolorektal kanser gelişimine neden olabileceği düşünülmektedir (Zepeda-Rivera ve ark. 2024).

Pg'nin ise MMP-9 düzeylerini artırarak oral skuamöz hücrelerin invaziv ve metastatik potansiyelini artırabileceği belirtilmektedir. MMP-9, doku yıkımı ve kanser progresyonunda rol oynayan önemli bir enzimdir. 3.183 bireyi kapsayan bir meta-analiz, periodontal hastalığı olan bireylerin oral kanser geliştirme riskinin daha yüksek olduğunu göstermiş ve ağız sağlığının kanser riski açısından önemini vurgulamıştır. (Javed ve ark. 2014)

Periodontal hastalığı olan bireylerde gastrointestinal kanser riski, periodontal hastalığı olmayanlara kıyasla artmıştır. Özellikle periodontal hastalıklar; özofagus kanseri riskini %39, mide kanseri riskini %13, kolorektal kanser riskini %21, pankreas kanseri riskini %35 ve karaciğer kanseri riskini %9 oranında artırmaktadır (Lo ve ark. 2020).

Bu risk; periodontitis, gingivitis ve her iki durumun birlikte bulunması halinde daha da yükselmektedir. Şiddetli periodontal hastalığı olan bireylerde gastrointestinal kanser riski anlamlı derecede daha yüksektir. Dolayısıyla özellikle şiddetli periodontitis, gastrointestinal kanser riskini artırmaktadır. Periodontal hastalıkların önlenmesi ve etkin yönetimi bu riski azaltabilir (Michaud ve ark. 2017).

SONUÇ

Periodontal hastalıklar, kronik inflamatuvar yapıda bir hastalık olmaları nedeniyle yalnızca oral kaviteyi etkileyen lokal enfeksiyonlar olarak değerlendirilmemelidir. Kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, romatoid artrit ve Alzheimer gibi ile olan ilişkileri; ortak inflamatuvar yollar, immün yanıt mekanizmaları ve moleküler sinyal ağları üzerinden açıklanabilmektedir.

Son 5–10 yıl içerisinde elde edilen veriler, periodontal inflamasyonun sistemik hastalık patogeneğinde modülatör bir rol oynayabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, klinik uygulamaya yönelik güçlü öneriler geliştirebilmek için daha kapsamlı ve uzun dönemli çalışmalara ihtiyaç vardır.

Mevcut bilgiler ışığında periodontal sağlığın korunması, yalnızca oral sağlığın idamesi ve estetik açıdan değil; sistemik inflamatuvar yükün azaltılması ve genel sağlığın desteklenmesi açısından da önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Albandar, J. M., Susin, C., & Hughes, F. J. (2018). Manifestations of systemic diseases and conditions that affect the periodontal attachment apparatus: Case definitions and diagnostic considerations. *Journal of Periodontology*, 89, S171-S189.
- Aveleira, C., Mazeti, S. A., Casanova, T. C., Angreves, M. F., & Lourenço, M. L. (2010). Escala de bem-estar social: Adaptação e validação para a população brasileira. *Estudos de Psicologia*, 27(4), 475–484. <https://doi.org/10.1590/S0103-166X2010000400005>
- Bahekar, A. A., Singh, S., Saha, S., Molnar, J., & Khosla, S. (2007). The prevalence and incidence of coronary heart disease in patients with periodontitis: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Preventive Cardiology*, 14(3), 338–344.
- Chen, M., & Zhao, J. (2020). Point-of-care diagnosis of periodontal disease using biomarkers in oral fluids. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 604. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00604>
- Darveau, R. P. (2010). Periodontitis: A polymicrobial disruption of host homeostasis. *Nature Reviews Microbiology*, 8(7), 481–490. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2337>
- Dietrich, T., Sharma, P., Walter, C., Weston, P., & Beck, J. (2013). The development of a multidimensional social well-being scale. *Journal of Social Marketing*, 3(2), 151–169. <https://doi.org/10.1108/JSOCM-11-2012-0044>

- Dominy, S. S., Lynch, C., Ermini, F., Benedyk, M., Marczyk, A., Konradi, A., ... & Potempa, J. (2019). Porphyromonas gingivalis in Alzheimer's disease brains: Evidence for disease causation and treatment with small-molecule inhibitors. *Science Advances*, 5(1), eaau3333.
- Foroughi, M., Torabinejad, M., Angelov, N., Ojcius, D. M., Parang, K., Ravnan, M., & Lam, J. (2025). Bridging oral and systemic health: exploring pathogenesis, biomarkers, and diagnostic innovations in periodontal disease. *Infection*, 53(6), 2277-2302.
- Hajishengallis, G. (2015). Periodontitis: From microbial immune subversion to systemic inflammation. *Nature Reviews Immunology*, 15(1), 30–44. <https://doi.org/10.1038/nri3785>
- Hajishengallis, G., & Lamont, R. J. (2012). Beyond the red complex and into more complexity: The polymicrobial synergy and dysbiosis model of periodontal disease. *Molecular Oral Microbiology*, 27(6), 409–419. <https://doi.org/10.1111/j.2041-1006.2012.00113.x>
- Hajishengallis, G., & Lamont, R. J. (2012). *Beyond the red complex and into more complexity: the polymicrobial synergy and dysbiosis (PSD) model of periodontitis*. *Molecular Oral Microbiology*, 27(6), 409–419.
- Hajishengallis, G., Darveau, R. P., & Curtis, M. A. (2012). The keystone pathogen hypothesis. *Nature Reviews Microbiology*, 10(10), 717–725. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2873>
- Han, Y. W. (2015). *Fusobacterium nucleatum*: A potent-proximal effector in periodontal disease and adverse pregnancy outcomes. *Molecular Oral Microbiology*, 30(3), 175–188. <https://doi.org/10.1111/mom.12101>
- Han, Y. W. (2011). *Fusobacterium nucleatum*: A potent-proximal effector in periodontal disease and adverse pregnancy outcomes. *Molecular Oral Microbiology*, 26(1), 2–12.
- Ilievski, V., Kinchen, J. M., Prabhu, R., Rim, F., Leoni, L., Unterman, T. G., & Watanabe, K. (2016). Experimental periodontitis results in distal organ inflammation and metabolic dysregulation. *Journal of Periodontal Research*, 51(4), 503–514.
- Javed, F., Warnakulasuriya, S., Pappas, S. C., & Ahmed, H. B. (2014). Association between periodontal disease and oral cancer: A systematic review. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 5(3), 184–191.
- Ji, S., & Choi, Y. (2015). Point-of-care diagnosis of periodontitis using saliva: biomarkers and analytical technologies. *Journal of Periodontal & Implant Science*, 45(6), 209–220. <https://doi.org/10.5051/jpis.2015.45.6.209>

- Kassebaum, N. J., Bernabé, E., Dahiya, M., Bhandari, B., Murray, C. J. L., & Marcenes, W. (2014). Global burden of severe periodontitis in 1990-2010: A systematic review and meta-regression. *Journal of Dental Research*, 93(11), 1045–1053. <https://doi.org/10.1177/0022034514552491>
- Kassebaum, N. J., Bernabé, E., Dahiya, M., Bhandari, B., Murray, C. J. L., & Marcenes, W. (2014). Global burden of severe periodontitis in 1990-2010: a systematic review and meta-regression. *Journal of Dental Research*, 93(11), 1045-1053. <https://doi.org/10.1177/0022034514552491>
- Koziel, J., Macek, P., Piróg, K., & Potempa, J. (2014). Determinants of inter-relationship between periodontitis and rheumatoid arthritis. *Journal of Clinical Periodontology*, 41(5), 433–441.
- Laine, M. L., Crielaard, W., & Loos, B. G. (2012). Genetic susceptibility to periodontitis. *Periodontology* 2000, 58(1), 38–68. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.2011.00415.x>
- Lalla, E., Cheng, B., Lal, S., Tucker, S., Greenberg, E., Goland, R., & Lamster, I. B. (2007). Periodontal changes in children and adolescents with diabetes: A case-control study. *Diabetes Care*, 30(5), 1270–1272.
- Lo, C. H., Kwon, S., Wang, L., Polter, A. S., Song, M., Wu, K., ... & Zhang, X. (2020). Periodontal disease, tooth loss, and risk of oesophageal and gastric adenocarcinoma: A prospective study. *Gut*, 70(3), 512–521.
- Löe, H. (1993). Periodontal disease: The sixth complication of diabetes mellitus. *Diabetes Care*, 16(1), 329–334.
- Madianos, P. N., Bobetsis, Y. A., & Offenbacher, S. (2013). Adverse pregnancy outcomes (APOs) and periodontal disease: Pathogenic mechanisms. *Journal of Periodontology*, 84(4S), S170–S180.
- Michaud, D. S., Fu, Z., Shi, J., & Chung, M. (2017). Periodontal disease, tooth loss, and cancer risk. *Epidemiologic Reviews*, 39(1), 49–58.
- Mohanty, S., et al. (2020). *Treponema denticola*: A Review with a Focus on its Role in Periodontal Diseases and Systemic Health. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*, 10(4), 374-382.
- Ortiz, P., Bissada, N. F., Palomo, L., Han, Y. W., Al-Zahrani, M. S., Panneerselvam, A., & Askari, A. D. (2009). Periodontal therapy reduces the severity of active rheumatoid arthritis in patients treated with or without tumor necrosis factor inhibitors. *Journal of Periodontology*, 80(4), 535–540.

- Preshaw, P. M., & Bissett, S. M. (2019). Periodontitis and diabetes: What the dental team needs to know. *Dental Update*, 46(8), 710-721.
- Schenkein, H. A., & Loos, B. G. (2013). Inflammatory mechanisms linking periodontal diseases to cardiovascular diseases. *Journal of Periodontology*, 84(4S), S51-S69.
- Sparks, A. C., Stein, C. H., & Akerman, A. (2012). Measuring social well-being Among people with serious mental illness. *American Journal of Psychiatric Rehabilitation*, 15(2), 172–190. <https://doi.org/10.1080/15487768.2012.679549>
- Teixeira, F. B., Saito, M. T., Matheus, F. C., Prediger, R. D., Lima, R. R., & Maia, C. S. (2017). Periodontitis and Alzheimer's Disease: A Possible Exacerbation of Neuroinflammation and Cognitive Decline. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9, 424.
- Tonetti, M. S., & Van Dyke, T. E. (2013). Periodontitis and systemic diseases: Partnership for improved clinical outcomes. *Journal of Clinical Periodontology*, 40(S14), S1-S10.
- Wick, G., Jakic, B., Buszko, M., Wick, M. C., & Grundtman, C. (2014). The role of heat shock proteins in atherosclerosis. *Nature Reviews Cardiology*, 11(9), 516–529. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2014.91>
- Zepeda-Rivera, M., Minot, S. S., Bouzek, H., Wu, H., Blanco-Miguez, A., Surana, N. K., ... & Bullman, S. (2024). A distinct *Fusobacterium nucleatum* clade dominates the colorectal cancer intrinsic microbiome. *Nature*, 628(8007), 424–432.

KÖK HÜCRE TABANLI PERİODONTAL REJENERASYON YAKLAŞIMLARI

Mehmet Murat TAŞKAN

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji, Diş Hekimliği Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-4830-0075
- ❖ Mail: mmtaskan@gmail.com

GiRiŞ

Periodontitis, mikrobiyal dental biyofilm tarafından indüklenen, konak aracılı enflamasyonla karakterize, kronik inflamatuvar bir hastalık olup alveol kemiği, periodontal ligament ve sement dokularında progresif yıkıma neden olur. Hastalık ilerledikçe diş mobilitesi, estetik ve fonksiyon kaybı, hatta diş kaybı ortaya çıkabilir. Konvansiyonel periodontal tedavi protokolleri; enfeksiyon yükünün azaltılması, inflamasyonun baskılanması ve hastalığın ilerlemesinin kontrolü bakımından etkilidir. Bununla birlikte ileri yıkım gösteren intraosseöz defektlerde, furkasyon lezyonlarında ve geniş ataşman kayıplarında dokuların özgün mimarisiyle yeniden inşası halen önemli bir klinik gereksinimdir (Chen & Jin, 2010; Sculean ve ark., 2015).

Periodontal rejenerasyon yalnızca defekt alanının kemikle dolması anlamına gelmez; biyolojik olarak yeni sement, fonksiyonel olarak oryante periodontal ligament lifleri ve bunlarla uyumlu yeni alveol kemiğinin eş zamanlı oluşumunu gerektirir. Bu nedenle periodonsiyum, rejeneratif diş hekimliğinde en karmaşık hedef dokulardan biridir. Kök hücre biyolojisi ve doku mühendisliği alanındaki gelişmeler, periodontal rejenerasyonda 'tamir' yaklaşımından 'gerçek rejenerasyon' yaklaşımına geçişi hızlandırmıştır (Hynes ve ark., 2012; Xu ve ark., 2019).

Özellikle periodontal ligament kök hücrelerinin 2004 yılında tanımlanması, alan için bir dönüm noktası olmuştur. Bu keşif, periodontal ligamentin yalnızca mekanik bir bağlantı dokusu olmadığını, aynı zamanda rejeneratif potansiyeli olan bir niş barındırdığını göstermiştir (Seo ve ark., 2004). Daha sonraki çalışmalar; dental pulpa kök hücreleri, gingiva kaynaklı mezenşimal kök hücreleri, kemik iliği ve adipoz doku kaynaklı hücrelerin de periodontal doku mühendisliğinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Gronthos ve ark., 2000; Moshaverinia ve ark., 2014; Hernández-Monjaraz ve ark., 2018).

1. Periodontal Rejenerasyonun Biyolojik Temeli

1.1. Periodonsiyumun yapısal karmaşıklığı

Periodonsiyum; gingiva, periodontal ligament, sement ve alveol kemiğinden oluşan biodinamik bir bütündür. Bu dokular arasında sadece yapısal değil, aynı zamanda hücresel ve biyokimyasal bir eşgüdüm vardır.

Rejenerasyon sürecinin başarısı, defekt sahasında uygun hücrelerin varlığına, vaskülarizasyona, inflamatuvar çevrenin kontrolüne ve mekanik olarak stabil bir yara ortamının oluşturulmasına bağlıdır. Bu nedenle periodontal rejenerasyon, kemik rejenerasyonundan daha karmaşık bir süreç olarak değerlendirilmektedir (Ivanovski, 2009; Ouchi ve ark., 2020).

Yara iyileşmesi sırasında epitelin apikal migrasyonu, granülasyon dokusunun baskın hale gelmesi veya inflamatuvar mikroçevrenin devam etmesi, gerçek periodontal rejenerasyonu sınırlayabilir. Başarılı rejenerasyon için kök yüzeyinde sementogenez, buna eşlik eden Sharpey liflerinin yeni oluşan sement içine entegrasyonu ve alveol kemiği ile biyolojik bağlantı kurulması gerekir. Bu çok katmanlı organizasyon, tek başına greft materyali kullanımıyla her zaman sağlamadığı için hücre temelli yaklaşımlar ön plana çıkmıştır (Bartold ve ark., 2006; Maeda ve ark., 2013).

1.2. Doku mühendisliği üçlüsü

Doku mühendisliğinde klasik çerçeve, hücreler, bioiskelet (scaffold) ve biyolojik sinyallerden oluşan üçlü üzerine kuruludur. Periodontal uygulamalarda bu model, son yıllarda immünomodülasyon, mekanik mikroçevre ve vasküler entegrasyon gibi ek boyutlarla genişlemiştir. Hücre bileşeni, rejenerasyonu başlatan veya modüle eden canlı unsur iken; scaffold, hücrelerin adezyonu, göçü ve farklılaşması için üç boyutlu bir yapı sağlar. Sinyal molekülleri ise bu süreçleri zaman ve doz bağımlı şekilde yönlendirir (Chen & Jin, 2010; Maeda ve ark., 2013).

Kök hücre temelli periodontal rejenerasyon bu üçlünün eşgüdümlü kullanımını hedefler. Örneğin hücre tabakaları veya hücre yüklü kollajen-hidroksiapatit iskeleler ile periodontal defekt sahasına hem rejeneratif hücreler hem de uygun bir biyolojik mikroçevre taşınabilir. Buna karşın güncel eğilim, doğrudan hücre naklinin yanında hücresiz fakat hücre kaynaklı biyolojik ürünlerin, özellikle eksozom ve koşullandırılmış ortamın, terapötik ajan olarak kullanılmasına da yönelmektedir (Chew ve ark., 2019; Qiu ve ark., 2020; Ahmad ve ark., 2025).

2. Periodontal Rejenerasyonda Kullanılan Kök Hücre Kaynakları

2.1. Periodontal ligament kök hücreleri

Periodontal ligament kök hücreleri (PDLSC), periodontal rejenerasyon için en biyolojik uygun hücre popülasyonu olarak

görülmektedir. Seo ve arkadaşları, insan periodontal ligament dokusundan izole ettikleri bu hücrelerin klonal çoğalma, mezenkimal belirteç ekspresyonu ve in vivo sement/PDL benzeri yapı oluşturma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (Seo ve ark., 2004). Sonraki çalışmalar, PDLSC'lerin yalnızca osteojenik ve sementoblastik yönelim göstermediğini; aynı zamanda immünomodülatör ve anjiyojenik etkilere de katkıda bulunduğunu bildirmiştir (Zhu & Liang, 2015; Trubiani ve ark., 2019).

PDLSC'lerin en önemli avantajı, periodonsiyuma özgül fenotipik yakınlıklarıdır. Bununla birlikte hücre sayısının düşük oluşu, inflamatuvar periodonsiyumdan elde edilen hücrelerde biyolojik özelliklerin değişebilmesi ve kültür koşullarına duyarlılık, önemli sınırlılıklar arasında yer alır. Bu nedenle son yıllarda hücre izolasyonu, düşük oksijen koşullarında kültür, seçici büyüme faktörleri ve hücre tabakası yöntemleri gibi optimizasyon stratejileri geliştirilmiştir (Pandula ve ark., 2014; Maeda ve ark., 2013).

PDLSC biyolojisi yalnızca hücre kaynağı açısından değil, periodontal yenilenmenin mekanik ve inflamatuvar düzenlenmesi bakımından da önemlidir. Güncel çalışmalar, mekanik yüklenme, makrofaj fenotipi, piroptosis ve metabolik hastalıklar gibi faktörlerin PDLSC davranışını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir (Lu ve ark., 2023; Sun ve ark., 2024; Zhao ve ark., 2025).

2.2. Diş kaynaklı diğer kök hücreler

Dental pulpa kök hücreleri (DPSC), erişkin dental dokulardan izole edilen en iyi tanımlanmış kök hücre popülasyonlarından biridir. Gronthos ve arkadaşlarının çalışması, DPSC'lerin yüksek proliferatif kapasiteye ve in vivo dentin benzeri doku oluşturma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (Gronthos ve ark., 2000). Periodontal defektlerde doğrudan PDL fenotipi kadar özgül olmasalar da, osteojenik farklılaşma, parakrin etki ve vasküler destek açısından önemli bir kaynak oluştururlar (Hu ve ark., 2018; Shah ve ark., 2024).

İnsan süt dişlerinden elde edilen kök hücreler (SHED), yüksek proliferasyon hızı ve erişim kolaylığı nedeniyle dikkat çekmektedir. Ayrıca gingiva kaynaklı mezenkimal kök hücreler (GMSC), minimal invaziv şekilde elde edilebilmeleri ve güçlü immünomodülatör özellikleri nedeniyle translayonel açıdan önemlidir. GMSC'lerin koşullandırılmış ortamlarının ve hidrojel ile lokal uygulanmasının rat modellerinde yeni kemik ve periodontal

ligament oluşumunu desteklediği bildirilmiştir (Moshaverinia ve ark., 2014; Qiu ve ark., 2020; Balaban ve ark., 2024).

2.3. Kemik iliği ve adipoz doku kaynaklı hücreler

Kemik iliği kaynaklı mezenkimal kök hücreler (BMSC), multipotensiyelleri ve klasik mezenkimal kök hücre biyolojisinin iyi tanımlanmış olması nedeniyle periodontal rejenerasyon çalışmalarında sık kullanılmıştır. Pittenger ve arkadaşlarının öncü çalışması, erişkin insan mezenşimal kök hücrelerinin çoklu farklılaşma kapasitesini ortaya koymuştur (Pittenger ve ark., 1999). BMSC'ler özellikle kemik komponentinin baskın olduğu defektlerde önem taşır; ancak periodonsiyuma özgü ligament/segment organizasyonunu sağlama konusunda PDLSC'ler kadar hedefe yönelik olmayabilir (Li ve ark., 2020; Moreno Sancho ve ark., 2019).

Adipoz doku kaynaklı kök hücreler (ADSC) ise daha kolay elde edilmeleri ve yüksek hücre verimi sunmaları nedeniyle klinik açıdan caziptir. Bununla birlikte periodontal rejenerasyonda ADSC'lerin performansı, hücre kaynağı, taşıyıcı sistem ve defekt tipine göre değişmektedir. Yine de özellikle PRP veya biyomateryal destekli kombine uygulamalarla olumlu sonuçlar rapor edilmiştir (Tobita ve ark., 2013; Mirzapour ve ark., 2025).

3. Uygulama Platformları Ve Biyomühendislik Stratejileri

3.1. Scaffold tabanlı yaklaşımlar

Scaffold sistemleri, rejenerasyon sahasında hücrelerin yerleşimi ve organizasyonu için kritik öneme sahiptir. Periodontal dokuların çok katmanlı yapısı nedeniyle ideal scaffold; biyouyumlu, biyobozunur, mekanik olarak yeterli ve hücre yönelimini destekleyici özellikler taşımalıdır. Kollajen, hidroksiapatit, beta-trikalsiyum fosfat, PLGA bazlı sistemler ve kompozit biyomalzemeler bu amaçla sıklıkla kullanılmaktadır (Carter ve ark., 2017; Chen ve ark., 2024).

Periodontal rejenerasyonda hücre yüklü scaffold kullanımıyla ilgili hayvan çalışmalarında olumlu sonuçlar bildirilmiştir. Örneğin kollajen-hidroksiapatit scaffold üzerine tohumlanmış kemik iliği kök hücrelerinin deneysel periodontal defektlerde yeni kemik, segment ve PDL oluşumunu

arttırdığı gösterilmiştir (Liu ve ark., 2016). Benzer biçimde kontrollü protein salınımı yapan üç boyutlu sistemlerin, kök yüzeyinde sement formasyonu ve entegrasyonu desteklediği bildirilmiştir (Cho ve ark., 2016).

Güncel literatürde üç boyutlu biyobaskı ve tabakalı scaffold tasarımları özellikle dikkat çekmektedir. Bu yaklaşımlar, periodonsiyumun farklı bileşenleri için bölgesel olarak özelleştirilmiş mikroçevreler oluşturmaya olanak sağlayarak tek bir yapı içinde alveol kemiği, periodontal ligament ve sement hedeflerini bütünleştirmeyi amaçlamaktadır (Zeng ve ark., 2021; Chen ve ark., 2024).

3.2. Hücre tabakası, sferoid ve hücre-ECM kompleksleri

Scaffoldsuz veya düşük scaffold içeren stratejiler, hücre-hücre ve hücre-matriks etkileşimlerini daha iyi korumayı amaçlar. Hücre tabakası teknolojisi, kültür yüzeyinden enzimatik ayrıştırma olmaksızın alınan, endojen ekstraselüler matriksten zengin hücre katmanlarının defekt bölgesine transferini mümkün kılar. Özellikle dental doku kaynaklı hücre tabakalarının periodontal dokularda olumlu biyolojik etkiler gösterebileceği bildirilmiştir (Magalhães ve ark., 2021).

Benzer şekilde mezenşimal kök hücre/ekstrasellüler matriks kompleksleri, biyolojik olarak yoğunlaştırılmış bir rejeneratif ürün sunar. Minyatür domuz modelinde yapılan bir çalışmada, bu komplekslerin sement, periodontal ligament ve alveol kemiğinin yeniden oluşumuna katkıda bulunduğu bildirilmiştir (Sone ve ark., 2022). Bu yaklaşım, hücrelerin defekt bölgesinde tutulmasını ve parakrin etkinin sürekliliğini artırma potansiyeli nedeniyle translasyonel açıdan dikkat çekicidir.

3.3. Eksozomlar ve koşullandırılmış ortam

Son yıllarda hücre naklinin yerini kısmen hücre kaynaklı biyolojik ürünlerin aldığı görülmektedir. Eksozomlar, protein, lipid, mRNA ve mikroRNA taşıyan nanoölçekli veziküller olup hedef hücrelerin davranışını düzenleyebilir. Mezenkimal kök hücre eksozomlarının periodontal ligament hücre migrasyonu ve proliferasyonunu artırdığı, böylece periodontal rejenerasyona katkı sağladığı bildirilmiştir (Chew ve ark., 2019).

PDLSC kökenli eksozomlar, özellikle enflamatuvar veya diyabetik mikroçevrede dikkat çekici sonuçlar ortaya koymuştur. Bu eksozomların osteojenik farklılaşmayı, anjiyogenezi ve anti-enflamatuvar yanıtı

destekleyerek rejeneratif kapasiteyi artırdığı gösterilmiştir (Lu ve ark., 2023; Li ve ark., 2024; Ahmad ve ark., 2025). Koşullandırılmış ortam uygulamaları da benzer biçimde hücre taşımadan parakrin etki sağlamayı amaçlar. GMSC veya PDLSC kaynaklı koşullandırılmış ortamların rat periodontal defektlerinde karşılaştırmalı olarak rejenerasyonu artırabildiği bildirilmiştir (Qiu ve ark., 2020).

3.4. Endojen hücre göçü ve stem cell homing

Her periodontal defekte ex vivo genişletilmiş hücre nakli uygulanması pratik değildir. Bu nedenle son yıllarda endojen progenitor hücrelerin defekt alanına çekilmesini hedefleyen 'stem cell homing' stratejileri önem kazanmıştır. Bu yaklaşımda kemokinler, büyüme faktörleri, biyomalzeme yüzey modifikasyonları veya kontrollü salım sistemleri kullanılarak konak doku kaynaklı onarım hücrelerinin hedef bölgeye göç etmesi sağlanır (Meng ve ark., 2022; Xu ve ark., 2019).

Homing yaklaşımı, hücre üretimi ve regülasyon sorunlarını azaltma potansiyeline sahip olsa da etkinliğin defekt tipi, konak biyolojisi ve mikroçevrenin enflamatuvar yükü gibi değişkenlere güçlü biçimde bağlı olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle yakın gelecekte hücre nakli ve homing stratejilerinin hibrit kullanımları beklenmektedir.

4. Preklinik Ve Klinik Kanıtlar

Preklinik hayvan çalışmalarında, PDLSC, BMSC, GMSC ve DPSC temelli çok sayıda yaklaşımın yeni alveol kemiği, sement ve PDL oluşumunu desteklediği bildirilmiştir. Bununla birlikte çalışmalar arasında defekt modeli, hücre dozu, scaffold tipi, takip süresi ve histolojik sonlanım ölçütleri bakımından belirgin heterojenite bulunmaktadır. Ağ meta-analiz verileri, PDLSC ve BMSC'nin periodontal doku rejenerasyonu açısından en çok çalışılan ve en umut verici hücre popülasyonları arasında yer aldığını göstermektedir (Li ve ark., 2020).

İnsan çalışmaları nispeten az olmakla birlikte, sistematik derlemeler ve meta-analizler hücre temelli stratejilerin klinik atışman düzeyi kazanımı, sondalama cep derinliğinde azalma ve bazı radyografik kemik parametrelerinde kontrol gruplarına göre avantaj sağlayabildiğini göstermektedir (Sun ve ark., 2023; Campagna ve ark., 2024; Shao ve ark., 2025). Bununla birlikte bu üstünlüğün büyüklüğü çoğu zaman orta düzeydedir ve metodolojik kalite değişkendir.

Klinik translayon bakımından önemli örneklerden biri, mezenkimal kök hücre ve trombositte zengin plazma kombinasyonunun periodontal defektlerde kullanıldığı erken dönem insan çalışmalarıdır. Yamada ve arkadaşlarının doku mühendisliği temelli yaklaşımı, periodontal rejenerasyonun klinikte uygulanabilirliğine yönelik öncü kanıtlardan birini sunmuştur (Yamada ve ark., 2006). Sonraki çalışmalarda minimal invaziv cerrahi ile doku mühendisliği kombinasyonları ve interdental papilla rejenerasyonu gibi özgül endikasyonlar da rapor edilmiştir (Yamada ve ark., 2013; Yamada ve ark., 2015).

Bununla birlikte gerçek klinik değer, yalnızca erken iyileşme veya radyografik dolumla değil; uzun dönem diş sürdürülmesi, fonksiyonel bağ dokusu atışmanı, güvenlik, maliyet ve tekrar üretilebilirlik ile ölçülmelidir. Mevcut literatür bu açıdan umut verici fakat henüz tamamlanmamış bir tablo sunmaktadır (Moreno Sancho ve ark., 2019; Novello ve ark., 2020).

5. Klinik Uygulamaya Geçişte Temel Sorunlar

Kök hücre temelli periodontal tedavilerin rutin kullanımını sınırlayan temel sorunlar, biyolojik ve düzenleyici başlıklar altında toplanabilir. İlk olarak hücre kaynağı, donör yaşı, doku sağlığı, izolasyon yöntemi ve kültür koşulları hücresel fenotipi ciddi biçimde etkiler. İkinci olarak üretim süreçlerinin GMP benzeri standartlarda yürütülmesi, maliyet ve lojistik açıdan zorludur. Üçüncü olarak tüm çalışmalar aynı sonlanım ölçütlerini kullanmadığı için elde edilen verilerin birleştirilmesi güçleşmektedir (Zhu & Liang, 2015; Portron ve ark., 2019; Sun ve ark., 2023).

Güvenlik boyutunda ise tümörijenisite düşük görünse de genetik stabilite, immünojenisite, enfeksiyon riski ve istenmeyen ektopik mineralizasyon dikkatle değerlendirilmelidir. Özellikle allojenik ve ileri işlenmiş hücresel ürünlerde regülasyon, etik onay ve kalite kontrol gereksinimleri daha da artmaktadır. Bu nedenle bazı araştırmacılar, doğrudan hücre nakli yerine eksozom, sekretom veya homing temelli stratejilerin daha hızlı klinik karşılık bulabileceğini savunmaktadır (Chew ve ark., 2019; Meng ve ark., 2022; Dos Santos ve ark., 2024).

6. SONUÇ

Alan, klasik hücre nakli paradigmasından daha akıllı ve biyolojik olarak daha uyarlanabilir sistemlere doğru evrilmektedir. Önümüzdeki dönemde üç ana eğilim öne çıkmaktadır: (i) çok katmanlı biyobaskı ve akıllı

scaffold tasarımı; (ii) eksozom, miRNA ve sekretom temelli hücresiz tedaviler; (iii) konak doku biyolojisini hedefleyen endojen rejenerasyon stratejileri. Bu gelişmeler, periodonsiyumun kompleks anatomisini taklit eden daha öngörülebilir ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlayabilir (Zeng ve ark., 2021; Chen ve ark., 2024; Wen ve ark., 2024).

Buna rağmen periodontal rejenerasyonun başarısı yalnızca biyomateryal veya hücre seçimine indirgenemez. Hasta düzeyinde enflamasyon kontrolü, sistemik hastalıklar, sigara kullanımı, oral hijyen, cerrahi teknik ve bakım protokolleri gibi parametreler biyolojik ürün kadar belirleyicidir. Bu nedenle geleceğin periodontal rejeneratif tedavileri, kişiselleştirilmiş risk değerlendirmesi ile biyomühendislik temelli akıllı yaklaşımların entegrasyonu üzerine kurulacaktır.

Sonuç olarak, kök hücre tabanlı periodontal rejenerasyon bugün için güçlü prelinik dayanağa, giderek artan klinik kanıta ve yüksek translasyonel potansiyele sahip bir alandır. En olası kısa vadeli klinik ilerleme, standartlaştırılmış hücre kaynakları kadar hücresiz biyolojik ürünler ve gelişmiş scaffold sistemlerinden gelebilir. Ancak bu tedavilerin geniş ölçekte rutin kullanıma girebilmesi için, iyi tasarlanmış çok merkezli randomize çalışmalar, ortak sonuç ölçütleri ve uzun dönem güvenlik verileri gereklidir (Sun ve ark., 2023; Campagna ve ark., 2024; Vallabhaneni ve ark., 2025).

KAYNAKLAR

- Ahmad, P., ve ark. (2025). Mechanistic insights into periodontal ligament stem cell-derived exosomes in regenerative medicine and dentistry. *Journal of Periodontal Research*.
- Balaban, Y. E., ve ark. (2024). Local application of gingiva-derived mesenchymal stem cells in hydrogel improves periodontal regeneration in experimental periodontitis. *Journal of Periodontology*.
- Bartold, P. M., Shi, S., & Gronthos, S. (2006). Stem cells and periodontal regeneration. *Periodontology* 2000, 40, 164-172.
- Bharuka, T., & Reche, A. (2024). A comprehensive review of stem cell therapy in periodontal regeneration. *Cureus*.
- Campagna, A., ve ark. (2024). Orally derived stem cell-based therapy in periodontal regenerative therapy: A systematic review. *Dental Journal*.
- Chen, F.-M., & Jin, Y. (2010). Periodontal tissue engineering and regeneration: Current approaches and expanding opportunities. *Tissue*

- Engineering Part B: Reviews, 16(2), 219-255.
<https://doi.org/10.1089/ten.TEB.2009.0562>
- Chen, H., ve ark. (2024). Biomaterial scaffolds for periodontal tissue engineering. *Bioactive Materials*.
- Di Vito, A., ve ark. (2023). A review of novel strategies for human periodontal ligament stem cells and future possibilities. *Cells*.
- Dos Santos, N. C. C., ve ark. (2024). The use of mesenchymal stromal/stem cells for periodontal and peri-implant bone regeneration: A scoping review. *Brazilian Dental Journal*.
- Gronthos, S., Mankani, M., Brahimi, J., Robey, P. G., & Shi, S. (2000). Postnatal human dental pulp stem cells (DPSCs) in vitro and in vivo. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(25), 13625-13630.
<https://doi.org/10.1073/pnas.240309797>
- Han, J., Menicanin, D., Gronthos, S., & Bartold, P. M. (2014). Stem cells, tissue engineering and periodontal regeneration. *Australian Dental Journal*, 59(Suppl 1), 117-130. <https://doi.org/10.1111/adj.12100>
- Hynes, K., Menicanin, D., Gronthos, S., & Bartold, P. M. (2012). Clinical utility of stem cells for periodontal regeneration. *Periodontology* 2000, 59(1), 203-227. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.2012.00443.x>
- Li, Q., ve ark. (2020). Stem cell therapies for periodontal tissue regeneration: A network meta-analysis of preclinical studies. *Cells*, 9, 27.
- Li, S., ve ark. (2024). Effect of human periodontal ligament stem cell-derived exosomes on cementoblast activity via the PI3K/AKT signaling pathway. *Stem Cell Research & Therapy*.
- Lin, N.-H., Gronthos, S., & Bartold, P. M. (2008). Stem cells and periodontal regeneration. *Australian Dental Journal*, 53(2), 108-121.
<https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2008.00019.x>
- Lu, J., ve ark. (2023). Periodontal ligament stem cell exosomes regulate periodontal regeneration in diabetic periodontitis. *Stem Cell Research & Therapy*.
- Maeda, H., Fujii, S., Tomokiyo, A., Wada, N., & Akamine, A. (2013). Periodontal tissue engineering: Defining the triad. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 28(6), e461-e471.
<https://doi.org/10.11607/jomi.te26>
- Magalhães, F. D., ve ark. (2021). Dental tissue-derived stem cell sheet biotechnology for periodontal regeneration: A systematic review. *Archives of Oral Biology*.

- Meng, L., ve ark. (2022). Stem cell homing in periodontal tissue regeneration. *Frontiers in Physiology*.
- Mirzapour, S. M., ve ark. (2025). Stem cell therapy for regenerating periodontal bony defects: A narrative review. *Journal of Oral Biosciences*.
- Moreno Sancho, F., Leira, Y., Orlandi, M., Buti, J., Giannobile, W. V., & D'Aiuto, F. (2019). Cell-based therapies for alveolar bone and periodontal regeneration: Concise review. *Stem Cells Translational Medicine*, 8(12), 1286-1295. <https://doi.org/10.1002/sctm.19-0183>
- Nguyen-Thi, T. D., ve ark. (2023). Stem cell therapies for periodontal tissue regeneration. *Journal of Functional Biomaterials*.
- Novello, S., ve ark. (2020). Clinical application of mesenchymal stem cells in periodontology: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Molecular Sciences*.
- Ouchi, T., ve ark. (2020). Mesenchymal stem cell-based tissue regeneration therapies for periodontitis. *Regenerative Therapy*.
- Pandula, P. K. C. P., Samaranayake, L. P., Jin, L. J., & Zhang, C. (2014). Periodontal ligament stem cells: An update and perspectives. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 5(2), 81-90. <https://doi.org/10.1111/jicd.12089>
- Pittenger, M. F., ve ark. (1999). Multilineage potential of adult human mesenchymal stem cells. *Science*, 284(5411), 143-147. <https://doi.org/10.1126/science.284.5411.143>
- Qiu, J., ve ark. (2020). Enhancement of periodontal tissue regeneration by conditioned media from gingiva-derived or periodontal ligament-derived mesenchymal stem cells: A comparative study in rats. *Stem Cell Research & Therapy*, 11(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s13287-019-1546-9>
- Seo, B.-M., Miura, M., Gronthos, S., Bartold, P. M., Batouli, S., Brahimi, J., Young, M., Robey, P. G., Wang, C.-Y., & Shi, S. (2004). Investigation of multipotent postnatal stem cells from human periodontal ligament. *The Lancet*, 364(9429), 149-155. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)16627-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)16627-0)
- Shah, P., ve ark. (2024). Stem cells in regenerative dentistry. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*.
- Shao, Y.-H., ve ark. (2025). Assessing the impact of stem cell-based therapy on periodontal tissue regeneration: A meta-analysis. *Journal of Periodontal Research*.

- Sone, H., ve ark. (2022). Clumps of mesenchymal stem cells/extracellular matrix complexes generated with xeno-free conditions effectively treat periodontal defects. *Stem Cell Research & Therapy*.
- Sun, L., ve ark. (2023). Stem cell-based therapy in periodontal regeneration: A systematic review and meta-analysis of clinical studies. *BMC Oral Health*, 23(1), 492. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03186-6>
- Tomokiyo, A., ve ark. (2019). Periodontal ligament stem cells: Regenerative potency in the periodontium. *Stem Cells and Development*.
- Trubiani, O., ve ark. (2019). Periodontal ligament stem cells: Current knowledge and future perspectives. *Stem Cells and Development*, 28(15), 995-1003. <https://doi.org/10.1089/scd.2019.0025>
- Vallabhaneni, S., ve ark. (2025). Stem cells as a therapeutic frontier for advanced periodontal regeneration: A systematic review. *Journal of Clinical Medicine*.
- Wen, S., ve ark. (2024). Dental stem cell dynamics in periodontal ligament regeneration. *International Journal of Molecular Sciences*.
- Xu, X.-Y., Li, X., Wang, J., He, X.-T., Sun, H.-H., & Chen, F.-M. (2019). Concise review: Periodontal tissue regeneration using stem cells: Strategies and translational considerations. *Stem Cells Translational Medicine*, 8(4), 392-403. <https://doi.org/10.1002/scrm.18-0181>
- Zeng, W.-Y., ve ark. (2021). Advanced technologies in periodontal tissue regeneration based on stem cells: Current status and future prospects. *Stem Cell Research & Therapy*.
- Zhao, Z., ve ark. (2025). Periodontal ligament stem cells in tissue remodeling: From mechanical forces to inflammatory signals. *Stem Cell Research & Therapy*, 16(1), 653. <https://doi.org/10.1186/s13287-025-04777-6>
- Zhu, W., & Liang, M. (2015). Periodontal ligament stem cells: Current status, concerns, and future prospects. *Stem Cells International*, 2015, 972313. <https://doi.org/10.1155/2015/972313>

REJENERATİF TEDAVİLERDE KLİNİK BAŞARIYI ETKİLEYEN BİYOLOJİK VE MEKANİK FAKTÖRLER

Hilal EKMEN

- ❖ Kurum Bilgisi: Endodonti, Batman Ağız ve Diş Sağlığı Hastanesi, Batman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0003-1141-5984
- ❖ Mail: dt.hilal06@gmail.com

GİRİŞ

Hücre ve moleküler biyoloji, malzeme bilimi ve kök hücre mühendisliği alanlarında uzman olan bilim insanları bir araya gelerek Doku Mühendisliği ve Rejeneratif Tıp (TERM) adı verilen yeni bir alan geliştirdiler. Hızla büyüyen bir araştırma alanı olan TERM, insan vücudundaki her tür doku ve organ için hafif yaralanmalardan son evre organ yetmezliğine kadar çeşitli hastalıklardan muzdarip kişilere yeni tedaviler sunmaktadır (Atala, 2012). Uygulamada çözülmesi gereken önemli sorunlar halen bulunmaktadır; ancak son gelişmeler ve olabilecek potansiyel faydaları devrim niteliğinde görünmektedir. Diş hekimliğinde, uzmanlar TERM'i diş hekimliği pratiğine uygulayan yeni stratejilerin incelenmesine büyük önem vermişlerdir (Marei, 2010).

İnsan dişleri ile ağız-yüz dokuları; ses üretimi, çiğneme, estetik, solunum ve duygusal yüz ifadelerinden sorumludur. Dişler yüksek aşınma direncine ve ömür boyu yapısal dayanıklılığa sahip olsa da, vücudun sık kullanılan organlarından biri olan ağız dokusu, doğuştan gelen hastalıklardan kimyasal, fiziksel ve mikrobiyal saldırılara kadar birçok yaygın hastalığa yatkındır (Galler & D 'Souza, 2011). Ağız ve kafa yüz yapılarının, çürük, travma, patoloji gibi büyük ölçüde zarar gördüğü hallerde yenilenme ve zarar görmeden önceki hallerine dönebilme özelliklerinin oldukça az oranda olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, bu konularla alakalı olan doku mühendisliği çok uzun zamandır geliştirilmektedir. Rejenerasyon kısmı ve doku mühendisliğindeki gelişmeler, üç temel yapı üzerinden öngörülmektedir: kök hücreler, biyoaktif moleküller ve hücre büyümesini ve farklılaşmasını destekleyen iskele görevi gören biyo malzemeler şeklinde sayılabilir (Granz & Gorji, 2020). Bu üç yapının kombinasyonu, dokudaki hücrelerin iyileştirici kapasitesini artırırken, daha fazla kök hücrenin yaralanma bölgesine ilerlemesini teşvik ederek genel rejeneratif ya da onarıcı süreci ilerletmektedir (Tollemar et al., 2016). Bu stratejilerin etkisini artırmak için, çoğunlukla hücre içermeyen ve hücre bazlı yaklaşımlar olmak üzere çok sayıda müdahale yöntemi geliştirilmiştir. Hücre içeriği olmayan uygulamalar, rejenerasyonun etkisini artırabilmek için bazı biyoaktif yapılar yoluyla bölgeye yerleşik hücreleri çekmeyi hedefler. Bu duruma hücre yönlendirmesi adı verilir (Tirez & Pedano, 2022). Hücre bazlı yaklaşımlar ise, rejenerasyonu sağlamak amacıyla etkilenen dokuya dışarıdan kültüre edilmiş otolog veya allojenik kök hücrelerin uygulanmasını içerir (El-Kadiry, Rafei, & Shammaa, 2021).

1. Rejeneratif Tedavilerin Klinik Uygulamaları

1.1. Endodonti Alanında Rejeneratif Tedaviler

Endodonti biliminde klinikte uygulanan bu tedavilerin hedefi, pulpanın nekroze olmadığı diş gruplarında sağlıklı pulpanın görevini tekrardan sağlayabilmek ve geri dönüşümsüz olarak nekroze olmuş dişlerde pulpa-dentin yapısını tekrardan kazandırabilmektir (Wei et al., 2022). Pulpanın yeniden vaskülarize olması, enfekte nekrotik pulpa ve apikal periodontitis/apse bulunan kök ucu gelişimi tamamlanmamış daimi bir dişin revaskülarizasyonunu ifade eder ve kök gelişimini teşvik edebilir; bu yöntem şu anda klinik uygulamada rejeneratif endodontik tedavi yaklaşımı olarak kabul edilmektedir (de Souza Araújo et al., 2017). Bu yaklaşım, kanal içine uygulanan ilaçlar ve antibiyotikler kullanılarak kök kanalının kimyasal dezenfeksiyonunu ve ardından uygun bir rejeneratif ortam oluşturmak için kanama indüksiyonunu içerir. Oluşan kan pıhtısı, kök hücrelerin, makrofajların ve fibroblastların yerleşmesini kolaylaştıran bir iskele görevi görürken, sert doku oluşumu dentin duvarlarını kuvvetlendirir (Altafi, Richards, & Rossi-Fedele, 2017). Anlatılan pulpanın yeniden vaskülarize edilmesi yöntemi, rejenerasyona katkı sağlamak için doğal ya da sentetik biyomateriyallerin kullanıldığı yaklaşımlara kadar ilerletilmiştir. Bunlara örnek olarak, kan pıhtısının üzerine yerleştirilen kollajen iskeleler ve kök kanalına yerleştirilen trombosit açısından zengin fibrin (PRF) verilebilir; bu sayede hücrelerin yerleşmesi, kök hücrelerin farklılaşması, hapsolması ve fibroblast büyüme faktörü (FGF), vasküler endotelial büyüme faktörü ve trombosit kaynaklı büyüme faktörü (PDGF) dahil olmak üzere sitokinlerin yavaş salınımını destekler (Arshad et al., 2021; Wikström, Brundin, Lopes, El Sayed, & Tsilingaridis, 2021). Yakın zamanda; dentin ve pulpa rejenerasyonu için etkili büyüme faktörleri açısından zengin bir kaynak olarak tanımlanmıştır ve bunların çoğunun sinyal molekülleri olduğu belirlenmiştir. Bu moleküllerin diş pulpası hücreleri üzerindeki etkileri, kemotaksis, odontoblast fenotipinin gen ekspresyonunun artması, mineralizasyonun iyileşmesi ve nörogenez ile anjiyogenezin artması şeklinde izlenmiştir (Widbiller et al., 2018). Uzmanlar dondurularak kurutulmuş dentin matriksi ve dentin protein diskleri gibi yapılarla bazı deneyler yapmışlardır (F. Wang, Xie, Ren, Bai, & Zhao, 2019). Galler ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada; klinikte denenebilecek rejeneratif bir endodontik yaklaşımı önermişlerdir. EDTA ile şartlandırmanın amacı sadece smear tabakasının kaldırılmaya çalışılması değil, aynı zamanda dentinde bulunan biyoaktif moleküllerin serbest kalması ve hücrelerin penetrasyonunu

kolaylaştırmak için dentinin kollajenöz yapılarının açığa çıkarılmasıdır (Galler, Eidt, & Schmalz, 2014).

Travmatik diş yaralanmaları nedeniyle pulpa nekrozu olan dişlere insan dökülen süt dişlerinden (SHED) alınan otolog dental pulpa kök hücrelerin nakli, tedaviden 12 ay sonra kan damarları ve duyu sinirleriyle birlikte 3 boyutlu pulpa dokusunun yenilendiğini göstermiştir (Xuan et al., 2018). Bunun dışında periapikal lezyonlu kök ucu gelişimini tamamlamış daimi dişlerde plazmadan türetilmiş bir biyomateryal içinde allojenik insan göbek kordonu mezenkimal kök hücreleri kullanılarak yapılan rejeneratif endodontik tedavilerin, 12 aylık takip sonucunda hassasiyet ve kan akışında artış gösterdiği ve allojenik endodontik rejeneratif hücre tedavisinin klinik güvenliğini ve etkinliğini vurguladığı gösterilmiştir (Brizuela et al., 2020).

1.2. Periodontolojide Rejenerasyon Uygulamaları

Periodontolojide rejeneratif tedavilerin hedefi, periodonsiyumun hastalıktan etkilenen yumuşak ve sert doku yapılarının etkilenmeden önceki hallerine ve sağlıklı fonksiyonlarına geri döndürülmesidir (Tomokiyo, Wada, & Maeda, 2019). Cerrahi ve cerrahi olmayan periodontal debridman ile otolog ve bağ dokusu greftleri de dahil olmak üzere geleneksel tedavi yaklaşımlarının birçok sınırlaması nedeniyle, periodontal tedavideki güncel eğilim, onarıcı yaklaşımlardan ziyade "gerçek" rejeneratif yaklaşımlara doğru kaymıştır (Kwon, Lamster, & Levin, 2021). Bu yaklaşımlardan bazıları; kemik oluşumunu teşvik eden alloplastik materyaller (sentetik dolgu maddeleri), otogreftler, allogreftler ve ksenogreftler şeklinde kullanım alanı bulan kemik greftleridir (Sheikh et al., 2017).

Yönlendirilmiş doku rejenerasyonu, günümüzde periodontal doku rejenerasyonunun altın standardı olarak kabul edilen ve geniş kullanım alanı bulan bir tedavi yaklaşımıdır (Woo, Cho, Tarafder, & Lee, 2021). Bu metod, geleneksel periodontal tedaviye göre daha etkili bir tedavi yöntemi olup, kullanılan tekniğe ve bariyer membranının özelliklerine bağlı olarak değişen başarı oranlarına sahip olduğu bildirilmiştir; mikrobiyal popülasyon ve membranların perfore olması, başarısız tedavi sonuçlarının olabilecek sebepleri olarak belirlenmiştir (Han, Menicanin, Gronthos, & Bartold, 2014).

Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için, çinko oksit nanopartikülleri ile yüklenmiş polikaprolakton ve jelatin kompozit membranlar üretilmiştir; bu membranların, periodontal hücrelerin yeniden çoğalma yeteneğini etkilemeden, zaman içinde *Staphylococcus aureus*'un büyümesini önemli ölçüde azalttığı bulunmuştur (Prado-Prone et al., 2020). Ayrıca, açık flep

debridmanı/kemik grefti ile birlikte PRF uygulamasının, klinik ataşman seviyelerinde ve radyografik kemik dokusu artışında önemli iyileşmelere adım attığı bildirilmiştir (Miron et al., 2021). FGF-2, PDGF ve kemik morfogenetik protein-2 gibi büyüme faktörleri, çeşitli biyomateriyallerle kombine uygulandığında klinik sonuçlarda iyileşme göstermiştir (Mikami et al., 2022; Seshima et al., 2022).

1.3. Temporomandibular Eklem (TMJ) Rejenerasyonu

Çene eklemi (TMJ), ağız ve çene-yüz bölgesinde (OMF) sık görülen bir patoloji alanıdır. En sık görülen çene eklemi patolojileri arasında disk deformasyonları, otoimmün bozukluklar ve çene eklemiyle ilişkili osteoartrit (TMJ-OA) olarak sayılabilmektedir (Gauer & Semidey, 2015). Günümüzde temporomandibular eklem osteoartritin (TMJ-OA) tedavisi, hastalığın şiddetine bağlıdır. Hafif veya orta şiddetteki vakalarda oklüzal splintler, eklem içi enjeksiyonlar, artrosentez veya artroskopi gibi konservatif tedavilerden, şiddetli vakalarda açık eklem cerrahisi gibi radikal iyileştirici yöntemlere kadar tedavi seçenekleri bulunmaktadır (Köhnke et al., 2021). Bu tedavi yaklaşımları genellikle semptomları başarılı bir şekilde hafifletir ancak kalıcı olarak iyileşmeyi sağlamaz; bu sebeple TMJ-OA için yeni rejeneratif tedavi seçeneklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kemik iliği mezenkimal kök hücrelerinin (BMMSC) temporomandibular eklem osteoartriti (TMJ-OA) tedavisinde uygulanması hayvan modellerinde geniş çapta incelenmiş ve klinik çalışmalara geçilmiştir. Bu çalışmalarda BMMSC'ler osteoartritli TMJ'ye aşılacak ve ağrı azalması, ağız açıklığının artması ve çiğneme fonksiyonunun iyileşmesi gözlemlenmiştir (De Riu et al., 2019). SHED'in serumsuz şartlandırılmış ortamının intravenöz uygulaması, kıkırdak yıkımını ve iltihabı inhibe ederken, kondiler kıkırdak ve subkondral kemiğin rejenerasyonunu destekleyebilir (Ogasawara et al., 2020). Bildirilen bu sonuçlar, eklem içinde uygulanan kök hücrelerin TMJ-OA tedavisi için oldukça başarılı bir tedavi şansı olabileceğini düşündürmektedir (Köhnke et al., 2021). Bu çalışmalar, eksozom tedavisinin TMJ'deki inflamasyon seviyesini kontrol altına alabildiğini, ardından matriks ekspresyonunu ve çoğalmasını sağlayarak subkondiler kıkırdak ve kemiğin iyileşmesini teşvik ettiğini göstermiştir (Zhang et al., 2018; Zhang et al., 2019).

1.4. Kraniyofasiyal Doku Mühendisliği

1.4.1. Kemik Rejenerasyonu

OMF yapılarının rekonstrüksiyonu, çeşitli dokuların dahil olması, ince nöromusküler koordinasyon gerektiren fonksiyonel karmaşıklık ve estetik talepler nedeniyle oldukça emek istemektedir. OMF kusurları, travma, benign ya da malign tümörler, enfeksiyonlar veya gelişimsel anomaliler sebebiyle cerrahi rezeksiyon sonucu oluşabilmektedir. OMF bölgesindeki kemik kusurları, otolog kemik greftleri, allogreftler, demineralize kemik matriksleri, hidroksiapatit kalsiyum fosfat, kemik morfogenetik proteinleri, kollajen iskeleler ve kemik iliği aspirat konsantresi kullanılarak rekonstrükte edilebilir (Aghali, 2021; Koyanagi, Fujioka-Kobayashi, Yoneyama, Inada, & Satomi, 2022). Otojen kemik greftleri arasında çoğunlukla iliak kemik greftleri ve kostokondral kaburga kemiği greftleri bulunmaktadır (Osborn, Helal, & Mehra, 2018). Ancak, segmental mandibula rezeksiyonu gibi geniş kemik defektlerinin rekonstrüksiyonunda tercih edilen tedavi yöntemi, mikrovasküler serbest fibula flepleri olarak uygulanabilen geleneksel otolog greftlerdir (Lin, He, Zhang, & Wang, 2019; Russell, Pateman, & Batstone, 2021). Otojen kemik greftlerinin yerini alabilecek umut vadeden bir tedavi yaklaşımı henüz keşfedilmemiştir. Kemik greftini stabilize etmek, greftin canlılık süresini daha da uzatmak ve mineralizasyonu artırmak için çok sayıda uygulama geliştirilmiştir. Büyüme faktörleri yoluyla greft vaskülarizasyonunun iyileştirilmesi ve kemik iliği ve yağ dokusundan elde edilen mezenkimal kök hücrelerin uyarılması bu yaklaşımlardan bazılarıdır (Shineh, Patel, Mobaraki, & Tayebi, 2023).

Kemik yıkımı olan alveoler kemik tepelerinde diş implantı yerleştirilmeden önce kemik ekleme işlemi, implantın uzun ömürlülüğüne katkıda bulunan kritik bir basamaktır (Sangeetha & Jain, 2018). Kemik greftleme için kullanılan malzemeler arasında altın standart otogen kemik greftleri olarak kabul edilirken, büyüme faktörleri içeren özelleştirilmiş 3 boyutlu yazıcıda üretilen nanohidroksiapatit (3DHA) blok greftleri umut verici sonuçlarla klinik kullanımda yerini almıştır (Mekcha, Wongpairojpanich, Thammarakcharoen, Suwanprateeb, & Buranawat, 2022; Stern & Barzani, 2015).

1.4.2. Tükürük Bezi Rejenerasyonu

Günümüzde tükürük bezinde fonksiyon bozukluğu olan bireyler, yapay tükürük ve tükürük salgısını artırıcı ilaçlarla semptomların giderilmesine yönelik olarak tedavi edilmektedir (Grønhøj et al., 2017).

Tükürük bezi rejeneratif tedavisi bu hasta grubu için oldukça rahatlatıcı olacaktır. Bununla birlikte, çalışmalar göbek kordonundan elde edilen MSC'lerin intravenöz olarak uygulanmasının tükürük akış hızını artırdığını ve Sjögren sendromuyla ilgili diğer semptomları azalttığını bildirmiştir (Xu et al., 2012). Ayrıca, yağ dokusundan elde edilen mezenkimal kök hücrelerin (AMSC'ler) tükürük bezi içine uygulanması, bireylerde tükürük akış hızında iyileşme, asiner ve duktal alanlarda artış ve fibroziste azalma göstermiş olup, mezenkimal kök hücrelerin tükürük bezi rejenerasyonundaki yeteneğini ortaya koymaktadır (Grønhoj et al., 2018).

1.4.3. Sinir Dokusu Rejenerasyonu

Orofasial alandaki sinir hasarları çoğunlukla; travma, tümör ya da iyatrojenik sebeplerden meydana gelir ve inferior alveolar sinir (IAN), lingual sinir, infraorbital sinir ve fasiyal siniri en çok etkilenen sinirlerdir (Markiewicz, Callahan, & Miloro, 2021; Romsa & Ruggiero, 2021). Günümüzde cerrahi pratiğinde, sinir boşluklarının rekonstrüksiyonunda otolog sinir greftleri ve sinir kanalları kullanılmaktadır; bu teknikle ilgili birçok ilerleme bulunmaktadır. Sinir kanalları ilk olarak sentetik ve rezorbe olmayan malzemelerden yapılmış, daha sonraları rezorbe olabilen materyallerden oluşan kanallara geçilmiştir. Bununla birlikte, hücre eksikliği nedeniyle tedavi sonuçlarının otolog sinir greftleri kadar başarılı olmadığı vurgulanmaktadır (Ducic & Yoon, 2019). Son zamanlarda rejenerasyonu artırmak için Schwann hücrelerini ya da kök hücreleri kanal içine dahil etmeye oldukça fazla oranda odaklanılmıştır. Burada, hücre kürecikleri ve 3 boyutlu biyo baskı ile oluşturulan sinir kanalları, hücre sağ kalımını, farklılaşmasını ve hücre dışı matris (ECM) oluşumunu teşvik ederek sinir rejenerasyonunu artırdığı için hayvan çalışmalarında olumlu sonuçlarla bildirilmiştir (Ikeguchi et al., 2022; Mendi, Ulutürk, Ataç, & Yılmaz, 2019). Diş eti kök hücreleri, periferik sinirlerin yenilenmesi için iskele gerektirmeyen sinir yapılarının 3 boyutlu biyo baskısı için kullanılabilecek bir hücre kaynağı olarak bildirilmiştir (Fu et al., 2023).

2. Başarıyı Etkileyen Biyolojik ve Mekanik Faktörler

2.1. Yara İyileşmesi ve Biyolojik Mekanizmaları

Kemik rejenerasyonu sırasında gerçekleşen en önemli aşamalar ve moleküler olaylar hakkında ayrıntılı bilgi sahibi olmak, sistemik faktörlerin yenilenme sürecini nasıl etkileyebileceğini anlamak için oldukça önemlidir.

Yapılan bir çalışmaya göre; kemik rejenerasyonunun gerçekleşmesi için, hücre kaynağı (osteoprogenitör hücreler ve immün-inflamatuar hücreler), kemik matriksinin birikimini kolaylaştıran bir iskele (kan pıhtısı), sinyal molekülleri, yeterli kan akışı ve olgunlaşmamış kemiğin olgun lamellar kemiğe dönüşmesini sağlayacak mekanik stabiliteye sahip olmanın önemli olduğu bildirilmiştir (Schenk, Buser, Hardwick, & Dahlin, 1994). Rejenerasyonda yenilenme ve tamir süreci, öncelikle yaranın oluşmasıyla başlar. Bu, hemostazı aktive eden bir inflammatuar zincirleme reaksiyona sebep olur. Trombositler, dış ortamdan ilk bariyeri oluşturmaya yardımcı olur ve α -granüllerinden büyüme faktörleri ortama sentezlenir (Werner & Grose, 2003). Çözünebilen bir protein olan fibrinojen, çözünmez bir protein olan fibrine dönüştürülerek katı bir pıhtı oluşturur ve sonraki aşamalarda sürece dahil olacak olan iltihap hücreleri için bir iskelet görevi görür (Lord, 2007). Çevredeki çeşitli hücreler, yaralanma sonucu uyarıldıktan sonra, trombosit kaynaklı büyüme faktörü (PDGF), epidermal büyüme faktörü, histamin ve von Willebrand faktörü gibi kemotaktik faktörler salgılar (Heldin & Westermark, 1999). Tüm bu salgılanan yapıların birleşimi, makrofajları ve diğer lökositleri aktifleyerek ilgili bölgeye göçünü sağlar; bu hücreler bakterileri elimine eder ve dezenfeksiyon sağlayarak enflamasyonun yavaş yavaş sonunu getirir (Clark, 1996). Hücre çoğalması aşaması, anjiyogenez ve bu süreçte lifli yapı oluşumu ile devam eder; böylece doku hacmi tamir yoluyla yeniden sağlanır (Delavary, van der Veer, van Egmond, Niessen, & Beelen, 2011). İyileşme aşamasında salınan büyüme faktörleri, örneğin PDGF, dönüştürücü büyüme faktörü β -1 (TGF- β 1), vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF), insülin benzeri büyüme faktörü, temel fibroblast büyüme faktörü ve makrofajlar ile trombositlerden salınan epidermal büyüme faktörü, anjiyogenez ve vaskülogenezin başlamasından sorumludur (Harrison & Cramer, 1993; Schliephake, 2015). Granülasyon dokusunda yeni kan damarları oluşmasıyla bölgenin kanlanması yeniden başlar. Bu çoğalma aşamasından sonra, yaralı doku yeniden şekillenme ve olgunlaşma sürecine girer. Düz kas hücreleri ile fibroblastların birleşimi ile oluşan miyofibroblastlar, yara bölgesini kapatmak hedefiyle kasılır. Kollajen lifleri daha düzenli hale gelir ve ilgili alandaki epitel doku yeniden oluşur (Bagheri, Bell, & Khan, 2011; Wynn, 2007). Günümüzde doku rejenerasyonunda kullanılan yöntemler, istenen sonucu elde etmek için bu yolun çeşitli kısımlarını hedef almaktadır; ancak ne yazık ki iyileşen dokunun çekme dayanımı, hasar görmemiş dokunun çekme dayanımı ile aynı değildir (Xue & Jackson, 2015).

2.2. Onarımın Mekanik Dinamiği

2.2.1. Bariyer Membranlar

Yönlendirilmiş kemik rejenerasyonu (GBR) prensibi, kemik defekti etrafında izole bir alan oluşturmak ve komşu yumuşak dokuların aşağı doğru büyümesini önlerken, kemik iliği boşluklarından osteoprogenitör hücrelerin doğrudan defekte alınmasını ve çoğalmasını kolaylaştırmak amacıyla tıkaçıcı bir bariyer membranının kullanımına dayanmaktadır (Dahlin, Linde, Gottlow, & Nyman, 1988) Bariyerlerin bileşimi ile fiziksel ve mekanik özellikleri, peri-implant kemik defektlerinin rejeneratif sonuçlarını açıkça etkileyebilir.

2.2.1.1. Tıkanıklık/ Gözeneklilik

Membranın bir bariyer görevi görmesini sağlarken aynı zamanda besin maddelerinin, sıvıların, oksijenin ve hücre büyümesi için biyoaktif moleküllerin geçişine izin veren ideal bir tıkanıklık ve gözeneklilik seviyesi henüz net olarak bildirilmemiştir. Ticari olarak temin edilebilen membranlar, gözenek boyutu ve geçirgenlik derecesinde oldukça çeşitlilik göstermektedir; bu çeşitlilik, hücrelerin geçişini sınırlayabilen ancak kimyasalların, biyomoleküllerin ve virüslerin geçişine izin veren mikro gözeneklilikten (5–20 µm); bakteri, hücre ve doku entegrasyonu/göçüne izin veren orta gözenekliliğe (emilmeyen malzemeler ≤100 µm); veya kimyasalların, biyomoleküllerin, virüslerin, bakterilerin, hücrelerin sınırsız geçişine izin veren ve doku entegrasyonunu ve göçünü destekleyen makro gözenekliliğe (emilmeyen malzemeler >100 µm) kadar değişebilmektedir (Sanz et al., 2019).

Rezorbe Olmayan Membranlar

Yapılan bir çalışmaya göre; sıçanlardaki kafa kemiği defektlerinde GBR (kemik onarımı) elde etmek için farklı gözeneklilik derecelerine (8, 20–25 ve 100 µm) sahip e-PTFE membranları karşılaştırılmıştır. 6 haftalık iyileşme süresindeki sonuçları, yumuşak doku istilasının miktarının artan perforasyon boyutuyla orantılı olduğunu ve 25–100 µm aralığındaki membran gözenekliliğinin kemik iyileşmesinin erken evrelerinde kemik oluşumunu artırdığını, en küçük gözeneklere sahip malzemenin ise çevrede dokularla çok iyi bütünleşemediğini göstermiştir (Zellin & Linde, 1996).

Rezorbe Olabilen Bariyerler

İkinci aşama cerrahiye duyulan ihtiyaç halinde daha karmaşık yönetim nedeniyle, rezorbe olabilen bariyerler son yıllarda giderek daha popüler hale

gelmiştir. Bunlar arasında, kolajen bazlı ve polimerik membranlar en sık kullanılanlardır. Membranın defekt bölgelerine adaptasyonunu ve entegrasyonunu iyileştirmek ve rejeneratif sonucu artırmak amacıyla, epitel hücrelerinin kemik defektine sızmasını önleyebilen (kemik tarafında) kompakt bir katman ve doku entegrasyonunu destekleyen (yumuşak doku tarafında) ikinci, gözenekli, süngerimsi bir katman içeren çift katmanlı rezorbe olabilen membranlar (kolajenik veya polimerik) geliştirilmiştir (Elgali, Omar, Dahlin, & Thomsen, 2017).

2.2.2. Stabilizasyon

Kemik rejenerasyonunun gerçekleşmesi için kan pıhtısının stabilizasyonu en önemli aşamadır. Kemik ile implante edilen herhangi bir malzeme arasındaki minimal hareketlerin kemik oluşumunu engellediği ve lifli doku gelişimine yol açtığı bilinmektedir (Heck, Nakajima, Kelly, & Chao, 1986). Bu yüzden, defekt bölgesinin korunması sağlanırken, membranın (ve altta yatan kemik greftinin) hareketsizleştirilmesi çok büyük önem taşımaktadır. GBR'nin implant yerleştirme ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesi sırasında membran stabilitesini en üst düzeye çıkarmak için, sabitleme vidaları, rezorbe olmayan (Schneider et al., 2014) pimler, veya titanyum pimler (Naenni et al., 2017) dahil olmak üzere çeşitli stabilizasyon yöntemleri önerilmiştir; bazı çalışmalar ise membranların basitçe fleplerin altına sıkıştırıldığını bildirmiştir (Moses, Pitaru, Artzi, & Nemcovsky, 2005).

2.2.3. Rezorbsiyon Paterni

İdeal bir zar, kemik oluşumu ve olgunlaşması sırasında zamanla aşamalı olarak rezorbe olmalı ve ortaya çıkan bozunma ürünleri rejenerasyon sürecini tehlikeye atmamalıdır (Sanz et al., 2019).

Üstün mekanik özelliklerine ve iyi uyumluluğuna rağmen, rezorbe olmayan membranların (e-PTFE, d-PTFE ve metal bariyerler/ağlar) çıkarılabilmeleri için ikinci bir cerrahi operasyon gerektirmeleri gibi önemli bir dezavantajı olduğu ortadadır; bu durum genel tedavi süresini uzatır, hasta motivasyonunu azaltır ve biyolojik komplikasyon riskleri oluşturur (Simion, Trisi, Maglione, & Piattelli, 1994). Kollajen membranlar mükemmel biyoyumluluk ve kemotaktik özellikler sergilerken ve bozunmaları kemik dokusu üzerinde potansiyel olarak zararlı bir etki yaratmazken, sertliklerinin yetersizliği ve sınırlı boşluk oluşturma kapasiteleri nedeniyle genellikle boşluk oluşturu kemik grefti ile birleştirilmelerini gerektirir. Dahası,

bozunma süreleri hakkında net bir kanıt bulunmamaktadır, bu da tıkayıcı özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilir (Calciolari et al., 2018).

2.2.4. Biyoaktivite

Son yıllarda, bariyerlerin istenmeyen hücrelerin göçünü önleyen bariyerler olarak işlev görmediğini, aynı zamanda kemik oluşumunun temelini oluşturan biyolojik olayları doğrudan destekleyen biyoaktif bölmeler gibi davrandığını gösteren kanıtlar ortaya çıkmıştır (Omar, Elgali, Dahlin, & Thomsen, 2019). Çeşitli klinik öncesi çalışmalar, hem rezorbe olabilen hem de rezorbe olamayan membranların, kemik gelişimini destekleyici faktörler salgılayan hücreleri barındırmaları sayesinde rejeneratif süreci teşvik edebildiğini ve yönlendirebildiğini göstermiştir (Al-Kattan, Retzepi, Calciolari, & Donos, 2017; Calciolari et al., 2018). Bu konu hakkındaki çalışmalar henüz deneysel aşamada olsa da, geleceğe yönelik heyecan verici senaryolar ortaya koymaktadır; zorlu klinik durumların üstesinden gelen ve sistemik olarak risk altındaki hastalarda da kemik rejenerasyonunu destekleyen farklı biyoaktif özelliklere sahip membranların üretimine yönelik çabaları yönlendirme ihtimali bulunmaktadır. Membrana biyolojik sinyallerin ve antibakteriyel maddelerin eklenmesi bu yönde ilerlemekte ve in vivo olarak başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır (Omar et al., 2019).

2.2.5. İlgili Bölgenin Bakımı

Birincil yara kapanması, anjiyogenez ve pıhtı stabilitesi ile birlikte, alanın korunması, yeni kemik oluşumu prosedürlerini takiben başarılı bir sonuç için önemli aşamalardan biridir (H.-L. Wang & Boyapati, 2006). İlgili alanın korunması ile yeni kemik oluşumu düzeyi arasında pozitif yönde bir ilişki gözlemlenmiştir (Polimeni, Albandar, & Wikesjö, 2005). Yapılan bazı çalışmalara göre; hayvan modellerinde sert kapsüller/kubbeler kullanımı ile, genetik olarak belirlenmiş iskelet profilinin ötesinde kemik yenilenmesinin (neo-osteogenez) mümkün olduğunu bile göstermiştir. Mandibulada ramusa uygulanan sert kapsüllerle izole bir alan/hacim oluşturulduğunda ve korunduğunda, orijinal iskelet profilinin 5-6 katını aşabilecek önemli miktarda kemik oluşumu meydana gelmiştir (Kostopoulos, Karring, & Uruguchi, 1994; Lioubavina, Kostopoulos, Wenzel, & Karring, 1999).

Özetle, kemik greftlerinin boşluk oluşturmadaki rolü, defektlerin özelliklerinden, bariyerin mekanik özelliklerinden veya her iki faktörün birleşiminden kaynaklanan membran çökme eğiliminin yüksek olduğu durumlarda özellikle önemlidir. Artırılmış boşluğun, artırılmış materyalin

sıkışması, materyalin bariyerin altına göç etmesi veya membranın hızlı rezorpsiyonu nedeniyle kaybı, artırılmış bölgenin boyutsal stabilitesini ve rejeneratif sonucu tehlikeye atabilir. Bununla birlikte, özellikle yavaş rezorpsiyon oranına sahip bir kemik greftinin boşluk koruma amacıyla kullanılmasının kemik oluşum sürecini geciktirebileceğini de kabul etmek önemlidir (Donos, Akcali, Padhye, Sculean, & Calciolari, 2023).

2.2.6. Hasta İle Alakalı Faktörler

Periodontitis öyküsü olan hastalarda kemik rejenerasyon işlemlerinin, periodontitis öyküsü olmayan hastalardaki kadar başarılı olabileceği muhtemel olsa da, periodontal hastalık nedeniyle tedavi gören hastalara yerleştirilen implantların, periodontal olarak sağlıklı hastalara yerleştirilen implantlara kıyasla daha yüksek oranda biyolojik komplikasyon ve daha düşük uzun vadeli başarı ve sağkalım oranlarıyla ilişkili olduğuna dair birçok çalışma bulunmaktadır (Roccuzzo, De Angelis, Bonino, & Aglietta, 2010; Sousa et al., 2016).

Hiperglisemik yara iyileşme ortamı ve ileri glikasyon son ürünlerinin (AGE'ler) birikimi, diyabetik kemiğin bozulmuş osteojenik potansiyelinde doğrudan rol oynamaktadır (Retzepi & Donos, 2010). Tip 2 diyabetli 45 hastada 1-12 yıl boyunca yapılan prospektif bir takip çalışması, geleneksel protokolleri veya farklı rejeneratif prosedür türlerini (sinüs büyütme, anında yükleme ve GBR dahil) içeren gelişmiş protokollere göre yerleştirilen implantların benzer şekilde sağ kalım oranlarına sahip olduğunu göstermiştir (Tawil, Younan, Azar, & Sleilati, 2008).

Osteoporozlu hastalar antiresorptif ilaçlarla tedavi ediliyorsa, hekimler cerrahi işlemler ve ilişkili kemik rejenerasyon prosedürü yoluyla ilaçla ilişkili çene osteonekrozunun (MRONJ) oluşabilme potansiyel riskinin bilincinde olmalıdır (Stavropoulos et al., 2018). Bu sebeple, kemik yenilenmesi ile alakalı implant yerleştirme de dahil olmak üzere invaziv cerrahi prosedürlerden geçen ve antiresorptif ilaç kullanan osteoporozlu hastaların, MRONJ gelişme riskinin (küçük de olsa) yeterince farkında olmaları ve klinisyenlerin ameliyatları mümkün olduğunca az invaziv hale getirmek ve primer stabilizasyon ve kapanma için iyileşmeyi teşvik etmek amacıyla gerekli önlemleri almaları oldukça önemlidir.

Sigara içmenin, etkileri sebebiyle yara ve kemik iyileşmesi üzerinde geciktirici etkisi olduğu bilinmektedir. Lokal olarak, sigara içmenin başlıca sonucu termal travmadır. Isı, membran bütünlüğünde değişikliklere neden

olarak hücresel osmotik dengeyi değiştirebilir ve ödem ile inflamasyon sürecinin aktivasyonuna zemin hazırlar (Quigley Jr, Cobb, & Hunt Jr, 1965).

Sigara dumanında bulunan tahriş edici, toksin ve kanserojen maddeler, termal hasarın yanı sıra ağız içi pH değişikliklerine, mukoza kuruluşuna, nikotik stomatite ve keratoza neden olabilir. Sistemik düzeyde, duman ve başlıca toksik bileşeni olan nikotin, hem doğuştan gelen hem de edinilmiş bağışıklık tepkileri üzerinde immünsupresif bir etkiye sahiptir. Sürekli bir inflamatuvar durum geliştirebilir, doku perfüzyonunu azaltabilir, osteoblastların, fibroblastların ve iyileşme sürecinde yer alan diğer hücrelerin çoğalmasını ve farklılaşmasını bozabilir ve ayrıca kemik metabolizması için hayati önem taşıyan genlerin ekspresyonunu da modüle edebilir (Fatemi et al., 2013; Wu et al., 2014). İlginç bir şekilde, sigara içmenin damarlanma üzerinde de zararlı etkileri vardır. Nikotin, trombosit yapışıklığını artırır ve bu da mikro pıhtı oluşumuna, mikro damar kanlanmasının azalmasına ve nihayetinde iskemiye yol açabilir (Javed, Rahman, & Romanos, 2019). Greftin yeniden damarlanması ve entegrasyonu, nihayetinde kemik rejenerasyonunun uzun vadeli başarısı için anjiyogenez ve yeterli kan akışı zorunlu olduğundan, sigara içmenin kemik rejenerasyon prosedürleri için bir risk faktörü olarak kabul edilmesi mantıklıdır; günde 10'dan fazla sigara içen ağır sigara içicileri ise cerrahi komplikasyon riski en yüksek olan gruptur.

3. Rejeneratif Tedavilerde Güncel Yaklaşımlar ve Gelecekteki Tahminler

Kök hücre tedavisi, diş hekimliğinde klinik uygulamada sınırlı başarı göstermiştir; çünkü tekdüze preparatlar halinde uygulanan hücreler genellikle zayıf bir şekilde tutunabilmekte ya da hızlı hücre ölümüne maruz kalmaktadır (Griffin, Fok, & Kent Leach, 2022). Hücre tabakaları, hücrelerden ve hücre dışı matrislerinden yüksek yoğunluklu tabaka yapıları oluşturan, iskele gerektirmeyen bir hücre terapisi yöntemidir. Buradaki hücre dışı matris, hücreler arası ve hücre-matris bağlantılarını korur ve hücrelere destek sağlayarak, hücre çoğalması ve farklılaşması için 3 boyutlu bir yapı oluşturarak iskele görevini yerine getirir (Kim, Das, Jang, & Cho, 2020).

Sferoidler, doğal dokularda bulunan mikro ortamı taklit eden bir hücre dışı matriste iyi oluşmuş bir hücre ağına sahip olmalarının yanı sıra, anjiyogenezi uyaran, iltihabı hafifleten ve yenilenmeyi hızlandırmak için konakçı hücreleri çeken güçlü bir salgı ağı oluşturma yeteneğine sahip yoğun, 3 boyutlu hücre kümeleridir (Griffin et al., 2022). Organoid üretimi,

indüklenmiş pluripotent kök hücreler (iPSC'ler), embriyonik kök hücreler (ESC'ler) veya yetişkin kök hücreler kullanılarak, in vivo'daki ilgili dokunun karmaşık mikro anatomisini ve işlevini taklit eden 3 boyutlu doku yapılarının in vitro olarak üretilmesini içeren, hücre bazlı bir diğer rejeneratif yaklaşımdır (Clevers, 2016; Zhao, Zhi, Ren, Wang, & Zhao, 2025).

Organoid üretiminin sınırlılıkları, 3 boyutlu biyo baskı ile aşılabilmektedir (Nyirjesy et al., 2022). Bu güncel yöntem, biyomalzemelerin/iskelelerin tam konumlandırılmasının, hücrelerin istenilen düzende yerleştirilmesi ve fonksiyonel bileşen yerleşiminin uzamsal kontrolü ile gerçekleştirildiği karmaşık bir süreci içerir (Panja, Maji, Choudhuri, Ali, & Hossain, 2022). 3 boyutlu biyo baskının en önemli özelliklerinden biri, hücrelerin ve malzemelerin karmaşık, doku benzeri yapılarda iletimini manipüle edebilme yeteneğidir; bu da hücreler arası büyüme bağlantısını koruyarak doku yenilenmesini iyileştirmeyi mümkün kılar (Yu et al., 2020).

Tabakalı iskelelerin diş hekimliğindeki uygulamaları, özellikle periodontoloji biliminde yaygın kullanım bulmuştur . Bu yaklaşımda, CAD tabanlı olarak katman katman 3 boyutlu yapılar oluşturulur ve kök hücreler, biyomateriyaller ve büyüme faktörleri entegre edilerek çok fazlı iskelelerin geliştirilmesi kolaylaştırılır; her katman, periodonsiyumun belirli bir bölümünü rejenere etmek üzere tasarlanmıştır (Abedi, Rajabi, Kharaziha, Nejatidanesh, & Tayebi, 2022). Bu iskeleler, eş zamanlı olarak gerçekleşen doku yenilenmesini yönlendirebilen bir mimariye göre oluşturulmuştur. Bu yaklaşım yumuşak ve sert dokular arasında bağlantı kurmak için oldukça faydalıdır (Abedi et al., 2022).

Mezenşimal kök hücreler tarafından sentezlenen eksozomlar, şu anda hücrelerin kullanımına yönelik uygulanabilir, hücre içermeyen bir tedavi alternatifi olarak bilinmektedir (Brennan, Layrolle, & Mooney, 2020). Kök hücre tedavisine göre avantajları arasında düşük immünojenite, yüksek ilaç yükleme kapasitesi, biyouyumlu olması, stabilite ile toksik özelliklerinin daha az olması yer almaktadır (Swanson et al., 2020).

DSC'ler (Dental Stem Cells) birçok klinik uygulama için büyük potansiyel ve umut vaat etmektedir, ancak terapötik etkinlik için çok sayıda hücre veya türevlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, in vitro olarak çoğaltılmaları ve dondurularak saklanmaları gerekmektedir. Bununla birlikte, uzun süreli in vitro kültür, kromozomal anormallik, yaşlanma ve mikrobiyal kontaminasyon gibi potansiyel tehlikeler oluşturabilir (Nikitina et al., 2018; Turinetti, Vitale, & Giachino, 2016). Bu çok aşamalı sürecin

kalite kontrolü ve bakımı, güvenliğini ve etkinliğini sağlamak için uluslararası yönergeler doğrultusunda gerçekleştirilir ve sürdürülür (Khaseb et al., 2021).

4. SONUÇ

Rejeneratif diş hekimliği, hızla gelişen bir konudur. DSC'ler, invaziv olmayan erişilebilirlik açısından son yıllarda popülerlik kazanmıştır. CAD ve 3D biyo baskı, kişiye özel yapıların yüksek oranda doğruluk ve hassasiyetle oluşturulabildiği doku mühendisliği ve rejeneratif yaklaşımlarda daha da ilerleme kaydetmiştir. Rejeneratif diş hekimliğindeki son başarıların çoğu, kaybedilen dokuları tamir etmeye odaklanmıştır. Bununla birlikte, sferoid ve organoid üretiminin ilerlemesiyle, yakın gelecekte önemli düzeyde fonksiyonel restorasyon da elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Abedi, N., Rajabi, N., Kharaziha, M., Nejatidanesh, F., & Tayebi, L. (2022). Layered scaffolds in periodontal regeneration. *Journal of oral biology and craniofacial research*, 12 (6), 782-797.
- Aghali, A. (2021). Craniofacial bone tissue engineering: current approaches and potential therapy. *Cells*, 10 (11), 2993.
- Al-Kattan, R., Retzepi, M., Calciolari, E., & Donos, N. (2017). Microarray gene expression during early healing of GBR-treated calvarial critical size defects. *Clinical oral implants research*, 28 (10), 1248-1257.
- Altaii, M., Richards, L., & Rossi-Fedele, G. (2017). Histological assessment of regenerative endodontic treatment in animal studies with different scaffolds: A systematic review. *Dental Traumatology*, 33 (4), 235-244.
- Arshad, S., Tehreem, F., Rehab khan, M., Ahmed, F., Marya, A., & Karobari, M. I. (2021). Platelet-rich fibrin used in regenerative endodontics and dentistry: current uses, limitations, and future recommendations for application. *International journal of dentistry*, 2021 (1), 4514598.
- Atala, A. (2012). Regenerative medicine strategies. *Journal of pediatric surgery*, 47 (1), 17-28.
- Bagheri, S. C., Bell, B., & Khan, H. A. (2011). *Current therapy in oral and maxillofacial surgery*: Elsevier Health Sciences.
- Brennan, M. Á., Layrolle, P., & Mooney, D. J. (2020). Biomaterials functionalized with MSC secreted extracellular vesicles and soluble factors for tissue regeneration. *Advanced functional materials*, 30 (37), 1909125.

- Brizuela, C., Meza, G., Urrejola, D., Quezada, M., Concha, G., Ramírez, V., Khoury, M. (2020). Cell-based regenerative endodontics for treatment of periapical lesions: a randomized, controlled phase I/II clinical trial. *Journal of dental research*, 99 (5), 523-529.
- Calciolari, E., Ravanetti, F., Strange, A., Mardas, N., Bozec, L., Cacchioli, A., Donos, N. (2018). Degradation pattern of a porcine collagen membrane in an in vivo model of guided bone regeneration. *Journal of periodontal research*, 53 (3), 430-439.
- Clark, R. A. (1996). Wound repair. *The molecular and cellular biology of wound repair*, 2, 3-35.
- Clevers, H. (2016). Modeling development and disease with organoids. *Cell*, 165 (7), 1586-1597.
- Dahlin, C., Linde, A., Gottlow, J., & Nyman, S. (1988). Healing of bone defects by guided tissue regeneration. *Plastic and reconstructive surgery*, 81 (5), 672-676.
- De Riu, G., Vaira, L. A., Carta, E., Meloni, S. M., Sembronio, S., & Robiony, M. (2019). Bone marrow nucleated cell concentrate autograft in temporomandibular joint degenerative disorders: 1-year results of a randomized clinical trial. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 47 (11), 1728-1738.
- de Souza Araújo, P. R., Silva, L. B., dos Santos Neto, A. P., de Arruda, J. A. A., Álvares, P. R., Sobral, A. P. V., Sampaio, G. C. (2017). Pulp revascularization: a literature review. *The open dentistry journal*, 10, 48.
- Delavary, B. M., van der Veer, W. M., van Egmond, M., Niessen, F. B., & Beelen, R. H. (2011). Macrophages in skin injury and repair. *Immunobiology*, 216 (7), 753-762.
- Donos, N., Akcali, A., Padhye, N., Sculean, A., & Calciolari, E. (2023). Bone regeneration in implant dentistry: Which are the factors affecting the clinical outcome? *Periodontology 2000*, 93 (1), 26-55.
- Ducic, I., & Yoon, J. (2019). Reconstructive options for inferior alveolar and lingual nerve injuries after dental and oral surgery: an evidence-based review. *Annals of plastic surgery*, 82 (6), 653-660.
- El-Kadiry, A. E.-H., Rafei, M., & Shammaa, R. (2021). Cell therapy: types, regulation, and clinical benefits. *Frontiers in medicine*, 8, 756029.
- Elgali, I., Omar, O., Dahlin, C., & Thomsen, P. (2017). Guided bone regeneration: materials and biological mechanisms revisited. *European Journal of Oral Sciences*, 125 (5), 315-337.
- Fatemi, K., Radvar, M., Rezaee, A., Rafatpanah, H., Azangoo Khiavi, H., Dadpour, Y., & Radvar, N. (2013). Comparison of relative TLR-2 and TLR-4 expression level of disease and healthy gingival tissue of

- smoking and non-smoking patients and periodontally healthy control patients. *Australian dental journal*, 58 (3), 315-320.
- Fu, J., Li, X., Jin, F., Dong, Y., Zhou, H., Alhaskawi, A., Ezzi, S. H. A. (2023). The potential roles of dental pulp stem cells in peripheral nerve regeneration. *Frontiers in Neurology*, 13, 1098857.
- Galler, K. M., & D 'Souza, R. N. (2011). Tissue engineering approaches for regenerative dentistry. *Regenerative medicine*, 6 (1), 111-124.
- Galler, K. M., Eidt, A., & Schmalz, G. (2014). Cell-free approaches for dental pulp tissue engineering. *Journal of endodontics*, 40 (4), S41-S45.
- Gauer, R. L., & Semidey, M. J. (2015). Diagnosis and treatment of temporomandibular disorders. *American family physician*, 91 (6), 378-386.
- Granz, C. L., & Gorji, A. (2020). Dental stem cells: The role of biomaterials and scaffolds in developing novel therapeutic strategies. *World journal of stem cells*, 12 (9), 897.
- Griffin, K. H., Fok, S. W., & Kent Leach, J. (2022). Strategies to capitalize on cell spheroid therapeutic potential for tissue repair and disease modeling. *NPJ Regenerative Medicine*, 7 (1), 70.
- Grønhoj, C., Jensen, D. H., Glovinski, P. V., Jensen, S. B., Bardow, A., Oliveri, R. S., Kiss, K. (2017). First-in-man mesenchymal stem cells for radiation-induced xerostomia (MESRIX): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 18 (1), 108.
- Grønhoj, C., Jensen, D. H., Vester-Glowinski, P., Jensen, S. B., Bardow, A., Oliveri, R. S., Darkner, S. (2018). Safety and efficacy of mesenchymal stem cells for radiation-induced xerostomia: a randomized, placebo-controlled phase 1/2 trial (MESRIX). *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 101 (3), 581-592.
- Han, J., Menicanin, D., Gronthos, S., & Bartold, P. (2014). Stem cells, tissue engineering and periodontal regeneration. *Australian dental journal*, 59, 117-130.
- Harrison, P., & Cramer, E. M. (1993). Platelet α -granules. *Blood reviews*, 7 (1), 52-62.
- Heck, D., Nakajima, I., Kelly, P., & Chao, E. (1986). The effect of load alteration on the biological and biomechanical performance of a titanium fiber-metal segmental prosthesis. *JBJS*, 68 (1), 118-126.
- Heldin, C.-H., & Westermarck, B. (1999). Mechanism of action and in vivo role of platelet-derived growth factor. *Physiological reviews*, 79 (4), 1283-1316.

- Ikeguchi, R., Aoyama, T., Tanaka, M., Noguchi, T., Ando, M., Yoshimoto, K., Akieda, S. (2022). Nerve regeneration using the Bio 3D nerve conduit fabricated with spheroids. *Journal of Artificial Organs*, 25 (4), 289-297.
- Javed, F., Rahman, I., & Romanos, G. E. (2019). Tobacco-product usage as a risk factor for dental implants. *Periodontology 2000*, 81 (1), 48-56.
- Khaseb, S., Orooji, M., Pour, M. G., Safavi, S. M., Eghbal, M. J., & Rezai Rad, M. (2021). Dental stem cell banking: Techniques and protocols. *Cell Biology International*, 45 (9), 1851-1865.
- Kim, B. S., Das, S., Jang, J., & Cho, D.-W. (2020). Decellularized extracellular matrix-based bioinks for engineering tissue-and organ-specific microenvironments. *Chemical reviews*, 120 (19), 10608-10661.
- Kostopoulos, L., Karring, T., & Uraguchi, R. (1994). Formation of jawbone tuberosities by guided tissue regeneration. An experimental study in the rat. *Clinical oral implants research*, 5 (4), 245-253.
- Koyanagi, M., Fujioka-Kobayashi, M., Yoneyama, Y., Inada, R., & Satomi, T. (2022). Regenerative potential of solid bone marrow aspirate concentrate compared with platelet-rich fibrin. *Tissue Engineering Part A*, 28 (17-18), 749-759.
- Köhnke, R., Ahlers, M. O., Birkelbach, M. A., Ewald, F., Krueger, M., Fiedler, I., Gosau, M. (2021). Temporomandibular joint osteoarthritis: regenerative treatment by a stem cell containing advanced therapy medicinal product (ATMP)—An in vivo animal trial. *International journal of molecular sciences*, 22 (1), 443.
- Kwon, T., Lamster, I. B., & Levin, L. (2021). Current concepts in the management of periodontitis. *International dental journal*, 71 (6), 462-476.
- Lin, Y., He, J.-F., Zhang, X., & Wang, H.-M. (2019). Intraoperative factors associated with free flap failure in the head and neck region: a four-year retrospective study of 216 patients and review of the literature. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 48 (4), 447-451.
- Lioubavina, N., Kostopoulos, L., Wenzel, A., & Karring, T. (1999). Long-term stability of jaw bone tuberosities formed by “guided tissue regeneration”. *Clinical oral implants research*, 10 (6), 477-486.
- Lord, S. T. (2007). Fibrinogen and fibrin: scaffold proteins in hemostasis. *Current opinion in hematology*, 14 (3), 236-241.
- Marei, M. (2010). *Regenerative dentistry*: Morgan & Claypool Publishers.

- Markiewicz, M. R., Callahan, N., & Miloro, M. (2021). Management of traumatic trigeminal and facial nerve injuries. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*, 33 (3), 381-405.
- Mekcha, P., Wongpaironpanich, J., Thammarakcharoen, F., Suwanprateeb, J., & Buranawat, B. (2022). Customized 3D printed nanohydroxyapatite bone block grafts for implant sites: A case series. *Journal of prosthodontic research*, 67 (2), 311-320.
- Mendi, A., Ulutürk, H., Ataç, M. S., & Yılmaz, D. (2019). Stem Cells for the Oromaxillofacial Area: Could they be a promising source for regeneration in dentistry? *Cell Biology and Translational Medicine, Volume 5: Stem Cells: Translational Science to Therapy*, 101-121.
- Mikami, R., Sudo, T., Fukuba, S., Takeda, K., Matsuura, T., Kariya, T., Toyoshima, K. (2022). Prognostic factors affecting periodontal regenerative therapy using recombinant human fibroblast growth factor-2: a 3-year cohort study. *Regenerative Therapy*, 21, 271-276.
- Miron, R. J., Moraschini, V., Fujioka-Kobayashi, M., Zhang, Y., Kawase, T., Cosgarea, R., Shirakata, Y. (2021). Use of platelet-rich fibrin for the treatment of periodontal intrabony defects: a systematic review and meta-analysis. *Clinical oral investigations*, 25 (5), 2461-2478.
- Moses, O., Pitaru, S., Artzi, Z., & Nemcovsky, C. E. (2005). Healing of dehiscence-type defects in implants placed together with different barrier membranes: a comparative clinical study. *Clinical oral implants research*, 16 (2), 210-219.
- Naenni, N., Schneider, D., Jung, R. E., Hüsler, J., Hämmerle, C. H., & Thoma, D. S. (2017). Randomized clinical study assessing two membranes for guided bone regeneration of peri-implant bone defects: clinical and histological outcomes at 6 months. *Clinical oral implants research*, 28 (10), 1309-1317.
- Nikitina, V., Astrelina, T., Nugis, V., Ostashkin, A., Karaseva, T., Dobrovolskaya, E., Rodin, S. (2018). Clonal chromosomal and genomic instability during human multipotent mesenchymal stromal cells long-term culture. *PLoS One*, 13 (2), e0192445.
- Nyirjesy, S. C., Heller, M., von Windheim, N., Gingras, A., Kang, S. Y., Ozer, E., Carrau, R. L. (2022). The role of computer aided design/computer assisted manufacturing (CAD/CAM) and 3-dimensional printing in head and neck oncologic surgery: A review and future directions. *Oral Oncology*, 132, 105976.
- Ogasawara, N., Kano, F., Hashimoto, N., Mori, H., Liu, Y., Xia, L., Tanaka, E. (2020). Factors secreted from dental pulp stem cells show multifaceted benefits for treating experimental temporomandibular joint osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 28 (6), 831-841.

- Omar, O., Elgali, I., Dahlin, C., & Thomsen, P. (2019). Barrier membranes: More than the barrier effect? *Journal of clinical periodontology*, 46, 103-123.
- Osborn, T. M., Helal, D., & Mehra, P. (2018). Iliac crest bone grafting for mandibular reconstruction: 10-year experience outcomes. *Journal of oral biology and craniofacial research*, 8 (1), 25-29.
- Panja, N., Maji, S., Choudhuri, S., Ali, K. A., & Hossain, C. M. (2022). 3D bioprinting of human hollow organs. *AAPs Pharmscitech*, 23 (5), 139.
- Polimeni, G., Albandar, J. M., & Wikesjö, U. M. (2005). Prognostic factors for alveolar regeneration: effect of space provision. *Journal of clinical periodontology*, 32 (9), 951-954.
- Prado-Prone, G., Silva-Bermudez, P., Bazzar, M., Focarete, M. L., Rodil, S. E., Vidal-Gutiérrez, X., Almaguer-Flores, A. (2020). Antibacterial composite membranes of polycaprolactone/gelatin loaded with zinc oxide nanoparticles for guided tissue regeneration. *Biomedical Materials*, 15 (3), 035006.
- Quigley Jr, L., Cobb, C. M., & Hunt Jr, E. (1965). Measurement of oral and burning zone temperatures during conventional and reverse cigarette smoking. *Archives of oral biology*, 10 (1), 35-IN34.
- Retzepi, M., & Donos, N. (2010). The effect of diabetes mellitus on osseous healing. *Clinical oral implants research*, 21 (7), 673-681.
- Roccuzzo, M., De Angelis, N., Bonino, L., & Aglietta, M. (2010). Ten-year results of a three-arm prospective cohort study on implants in periodontally compromised patients. Part 1: implant loss and radiographic bone loss. *Clinical oral implants research*, 21 (5), 490-496.
- Romsa, B., & Ruggiero, S. L. (2021). Diagnosis and management of lingual nerve injuries. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*, 33 (2), 239-248.
- Russell, J., Pateman, K., & Batstone, M. (2021). Donor site morbidity of composite free flaps in head and neck surgery: a systematic review of the prospective literature. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 50 (9), 1147-1155.
- Sangeetha, S., & Jain, A. R. (2018). Current bone substitutes for implant dentistry. *Drug Invention Today*, 10 (8).
- Sanz, M., Dahlin, C., Apatzidou, D., Artzi, Z., Bozic, D., Calciolari, E., . . . Eickholz, P. (2019). Biomaterials and regenerative technologies used in bone regeneration in the craniomaxillofacial region: Consensus report of group 2 of the 15th European Workshop on Periodontology on Bone Regeneration. *Journal of clinical periodontology*, 46, 82-91.

- Schenk, R. K., Buser, D., Hardwick, W. R., & Dahlin, C. (1994). Healing pattern of bone regeneration in membrane-protected defects: a histologic study in the canine mandible. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 9 (1).
- Schliephake, H. (2015). Clinical efficacy of growth factors to enhance tissue repair in oral and maxillofacial reconstruction: a systematic review. *Clinical implant dentistry and related research*, 17 (2), 247-273.
- Schneider, D., Weber, F. E., Grunder, U., Andreoni, C., Burkhardt, R., & Jung, R. E. (2014). A randomized controlled clinical multicenter trial comparing the clinical and histological performance of a new, modified polylactide-co-glycolide acid membrane to an expanded polytetrafluorethylene membrane in guided bone regeneration procedures. *Clinical oral implants research*, 25 (2), 150-158.
- Sheikh, Z., Hamdan, N., Ikeda, Y., Grynpas, M., Ganss, B., & Glogauer, M. (2017). Natural graft tissues and synthetic biomaterials for periodontal and alveolar bone reconstructive applications: a review. *Biomaterials Research*, 21 (1), 9.
- Shineh, G., Patel, K., Mobaraki, M., & Tayebi, L. (2023). Functional approaches in promoting vascularization and angiogenesis in bone critical-sized defects via delivery of cells, growth factors, drugs, and particles. *Journal of Functional Biomaterials*, 14 (2), 99.
- Simion, M., Trisi, P., Maglione, M., & Piattelli, A. (1994). A preliminary report on a method for studying the permeability of expanded polytetrafluoroethylene membrane to bacteria in vitro: a scanning electron microscopic and histological study. *Journal of periodontology*, 65 (8), 755-761.
- Sousa, V., Mardas, N., Farias, B., Petrie, A., Needleman, I., Spratt, D., & Donos, N. (2016). A systematic review of implant outcomes in treated periodontitis patients. *Clinical oral implants research*, 27 (7), 787-844.
- Stavropoulos, A., Bertl, K., Pietschmann, P., Pandis, N., Schiødt, M., & Klinge, B. (2018). The effect of antiresorptive drugs on implant therapy: Systematic review and meta-analysis. *Clinical oral implants research*, 29, 54-92.
- Stern, A., & Barzani, G. (2015). Autogenous bone harvest for implant reconstruction. *Dental Clinics of North America*, 59 (2), 409-420.
- Swanson, W. B., Gong, T., Zhang, Z., Eberle, M., Niemann, D., Dong, R., . . . Ma, P. X. (2020). Controlled release of odontogenic exosomes from a biodegradable vehicle mediates dentinogenesis as a novel biomimetic pulp capping therapy. *Journal of Controlled Release*, 324, 679-694.

- Tawil, G., Younan, R., Azar, P., & Sleilati, G. (2008). Conventional and advanced implant treatment in the type II diabetic patient: surgical protocol and long-term clinical results. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 23 (4).
- Tirez, E., & Pedano, M. S. (2022). Regeneration of the pulp tissue: cell homing versus cell transplantation approach: a systematic review. *Materials*, 15 (23), 8603.
- Tollemar, V., Collier, Z. J., Mohammed, M. K., Lee, M. J., Ameer, G. A., & Reid, R. R. (2016). Stem cells, growth factors and scaffolds in craniofacial regenerative medicine. *Genes & diseases*, 3 (1), 56-71.
- Tomokiyo, A., Wada, N., & Maeda, H. (2019). Periodontal ligament stem cells: regenerative potency in periodontium. *Stem cells and development*, 28 (15), 974-985.
- Turinetto, V., Vitale, E., & Giachino, C. (2016). Senescence in human mesenchymal stem cells: functional changes and implications in stem cell-based therapy. *International journal of molecular sciences*, 17 (7), 1164.
- Wang, F., Xie, C., Ren, N., Bai, S., & Zhao, Y. (2019). Human freeze-dried dentin matrix as a biologically active scaffold for tooth tissue engineering. *Journal of endodontics*, 45 (11), 1321-1331.
- Wang, H.-L., & Boyapati, L. (2006). "PASS" principles for predictable bone regeneration. *Implant dentistry*, 15 (1), 8-17.
- Wei, X., Yang, M., Yue, L., Huang, D., Zhou, X., Wang, X., Wang, H. (2022). Expert consensus on regenerative endodontic procedures. *International journal of oral science*, 14 (1), 55.
- Werner, S., & Grose, R. (2003). Regulation of wound healing by growth factors and cytokines. *Physiological reviews*, 83 (3), 835-870.
- Widbiller, M., Eidt, A., Lindner, S., Hiller, K. A., Schweikl, H., Buchalla, W., & Galler, K. (2018). Dentine matrix proteins: isolation and effects on human pulp cells. *International endodontic journal*, 51, e278-e290.
- Wikström, A., Brundin, M., Lopes, M., El Sayed, M., & Tsilingaridis, G. (2021). What is the best long-term treatment modality for immature permanent teeth with pulp necrosis and apical periodontitis? *European Archives of Paediatric Dentistry*, 22 (3), 311-340.
- Woo, H. N., Cho, Y. J., Tarafder, S., & Lee, C. H. (2021). The recent advances in scaffolds for integrated periodontal regeneration. *Bioactive materials*, 6 (10), 3328-3342.
- Wu, L., Zhou, Y., Zhou, Z., Liu, Y., Bai, Y., Xing, X., & Wang, X. (2014). Nicotine Induces the Production of IL-1 β and IL-8 via the $\alpha 7$ nAChR/NF- κ B Pathway in Human Periodontal Ligament Cells: an

- in Vitro Study. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 34 (2), 423-431.
- Wynn, T. A. (2007). Common and unique mechanisms regulate fibrosis in various fibroproliferative diseases. *The Journal of clinical investigation*, 117 (3), 524-529.
- Xu, J., Wang, D., Liu, D., Fan, Z., Zhang, H., Liu, O., . . . Ding, Y. (2012). Allogeneic mesenchymal stem cell treatment alleviates experimental and clinical Sjögren syndrome. *Blood, The Journal of the American Society of Hematology*, 120 (15), 3142-3151.
- Xuan, K., Li, B., Guo, H., Sun, W., Kou, X., He, X., Liao, L. (2018). Deciduous autologous tooth stem cells regenerate dental pulp after implantation into injured teeth. *Science translational medicine*, 10 (455), eaaf3227.
- Xue, M., & Jackson, C. J. (2015). Extracellular matrix reorganization during wound healing and its impact on abnormal scarring. *Advances in wound care*, 4 (3), 119-136.
- Yu, J., Park, S. A., Kim, W. D., Ha, T., Xin, Y.-Z., Lee, J., & Lee, D. (2020). Current advances in 3D bioprinting technology and its applications for tissue engineering. *Polymers*, 12 (12), 2958.
- Zellin, G., & Linde, A. (1996). Effects of different osteopromotive membrane porosities on experimental bone neogenesis in rats. *Biomaterials*, 17 (7), 695-702.
- Zhang, S., Chuah, S. J., Lai, R. C., Hui, J. H. P., Lim, S. K., & Toh, W. S. (2018). MSC exosomes mediate cartilage repair by enhancing proliferation, attenuating apoptosis and modulating immune reactivity. *Biomaterials*, 156, 16-27.
- Zhang, S., Teo, K. Y. W., Chuah, S. J., Lai, R. C., Lim, S. K., & Toh, W. S. (2019). MSC exosomes alleviate temporomandibular joint osteoarthritis by attenuating inflammation and restoring matrix homeostasis. *Biomaterials*, 200, 35-47.
- Zhao, J., Zhi, Y., Ren, H., Wang, J., & Zhao, Y. (2025). Emerging biotechnologies for engineering liver organoids. *Bioactive materials*, 45, 1-18.

DENTİNAL HİPERSENSİTİVİTEDE FİZİKSEL VE NÖRAL MODÜLASYON: LAZER TEKNOLOJİLERİNİN BİYOFİZİKSEL ANALİZİ

Merve MUTLU

- ❖ Kurum Bilgisi: Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Konya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0001-3088-3516
- ❖ Mail: mrv.mtl21@icloud.com

1. DENTİNAL HİPERSENSİTİVİTE ETİYOPATOGENEZİ VE LAZER TERAPİSİNİN BİYOFİZİKSEL TEMELLERİ

1.1. Giriş ve Klinik Tanımlama

Dentinal hipersensitivite (DH), modern diş hekimliği pratiğinde hastaların yaşam kalitesini doğrudan etkileyen, sıklıkla karşılaşılan ancak yönetimi karmaşık bir klinik tablodur. Literatürde DH; açığa çıkmış dentin yüzeylerine uygulanan termal, taktıl, ozmotik veya kimyasal uyarılara yanıt olarak ortaya çıkan, başka bir dental patoloji veya defektle (çürük, kırık, pulpitis vb.) açıklanamayan kısa ve keskin ağrı olarak tanımlanmaktadır.

Hastalığın prevalansı, çalışılan popülasyona ve kullanılan tanı kriterlerine bağlı olarak %8 ile %98 gibi geniş bir yelpazede rapor edilmektedir. Özellikle periodontal hastalık öyküsü olan bireylerde bu oranların tepe noktasına ulaştığı gözlemlenmektedir. DH, sadece fiziksel bir rahatsızlık değil, aynı zamanda bireyin beslenme alışkanlıklarını ve oral hijyen prosedürlerini kısıtlayan psikososyal bir boyuta da sahiptir.

1.2. Etiyolojik Faktörler ve Dentin Maruziyeti

DH'nin ortaya çıkması için iki temel aşamanın gerçekleşmesi gerekir: Dentinin açığa çıkması (lesion localization) ve dentin tübüllerinin ağız ortamına açık hale gelmesi (lesion initiation).

1.2.1. Diş Eti Çekilmesi ve Mine Kaybı

Gingival resesyon, DH etiyojisindeki en baskın faktörlerden biridir. Periodontal hastalıklar, hatalı fırçalama teknikleri (özellikle sert fırçalama ve abrazyon) veya yaşlanma süreci sonucunda sement dokusunun açığa çıkması, dentin tübüllerini dış uyarılara karşı savunmasız bırakır. Mine dokusunda meydana gelen erozyon (asidik gıdalar veya gastrik reflü kaynaklı), abrazyon ve atrisyon gibi süreçler de koruyucu katmanın kaybına yol açarak DH oluşumuna zemin hazırlar.

1.2.2. İyatrojenik Faktörler

Klinik prosedürler de DH gelişiminde rol oynayabilir. Özellikle periodontal küretaj, kök planlaması ve profesyonel diş beyazlatma (bleaching) işlemleri sonrasında geçici veya kronik hassasiyetlerin geliştiği bildirilmiştir. Beyazlatma ajanlarının içeriğindeki peroksitlerin dentin tübülleri aracılığıyla pulpaya penetrasyonu veya sementin mekanik olarak uzaklaştırılması bu durumun temel nedenleridir.

1.3. Hidrodinamik Teori: Ağrının Mekanizması

DH mekanizmasını açıklayan en güçlü bilimsel model, Brännström tarafından önerilen "Hidrodinamik Teori"dir. Bu teoriye göre, açığa çıkan ve açık olan dentin tübüllerinin içindeki dentin sıvısı, dışsal uyaranlarla (soğuk, hava, basınç) hareket eder. Bu sıvı hareketi, pulpa-dentin sınırındaki mekanoreseptörleri uyararak A-delta sinir liflerinde aksiyon potansiyeli oluşturur. Sonuç olarak beyin, bu mekanik uyarımı keskin bir ağrı olarak algılar. (obliterasyon) ya da sinir iletimini bloke etmektir (nöral duyarsızlaştırma).

1.4. Lazer Terapisine Giriş ve Sınıflandırma

1980'lerden bu yana, geleneksel desensitizasyon ajanlarına (florürler, oksalatlar vb.) alternatif olarak lazer sistemleri klinik kullanıma girmiştir. Lazerler, DH tedavisinde sundukları hızlı sonuç ve kalıcılık potansiyeli ile dikkat çekmektedir.

1.4.1. Lazerlerin Güç Çıkışlarına Göre Ayrımı

Klinikte DH yönetimi için kullanılan lazerler iki ana grupta incelenir:

1. Düşük Güç Çıkışlı Lazerler (LLLT - Low-Level Laser Therapy): "Biyomodülasyon" etkisi yaratırlar. Helyum-neon (He-Ne) ve çeşitli dalga boylarındaki Diyot (GaAlAs) lazerler bu sınıfa girer. Isı artışı yaratmadan hücresel düzeyde etki gösterirler.

2. Orta ve Yüksek Güç Çıkışlı Lazerler: Termal etkileri ile dentin yüzeyinde morfolojik değişiklikler yaratırlar. Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG ve CO₂ bu gruptadır.

1.5. Lazerlerin Etki Mekanizmaları: Fiziksel ve Biyolojik Yaklaşım

Lazerler, DH semptomlarını hafifletmek için iki farklı biyofiziksel yol izlerler.

1.5.1. Dentin Tübüllerinin Oklüzyonu (Mühürleme)

Özellikle yüksek enerjili lazerler (Nd:YAG ve Erbium grubu), dentin yüzeyinde erime ve yeniden kristalleşme (melting and recrystallization) yaratarak dentin tübüllerini fiziksel olarak kapatırlar. Bu işlem "tübüler obliterasyon" olarak adlandırılır. Sıvı hareketinin bu şekilde fiziksel olarak engellenmesi, hidrodinamik teorideki tetikleyici unsuru ortadan kaldırır.

1.5.2. Nöral İletimin Modülasyonu

Düşük doz lazer uygulamaları, pulpal sinir liflerinin (özellikle A-delta ve C lifleri) membran potansiyelini etkileyerek ağrı eşiğini yükseltebilir. Bu mekanizmada, Na-K pompasının aktivitesinin değiştirilmesi ve sinir iletiminin geçici olarak bloke edilmesi rol oynar. Böylece, uyaran devam etse bile ağrı sinyali merkezi sinir sistemine iletilmez.

2. KLİNİK ETKİNLİK VE META-ANALİTİK BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1. Literatür Sentezi ve Metodolojik Çerçeve

Dentinal hipersensitivite (DH) tedavisinde lazerlerin etkinliğini belirlemek amacıyla yapılan sistematik incelemeler, diş hekimliği literatüründeki en yüksek kanıt düzeyini temsil eden randomize kontrollü çalışmaları (RKÇ) temel almaktadır. Toplamda 936 katılımcıyı ve 2296 diş kapsayan 23 farklı klinik araştırmanın verileri, lazer terapisinin plasebo veya tedavi uygulanmayan kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında sunduğu klinik avantajları sayısal olarak ortaya koymaktadır.

Bu çalışmaların değerlendirilmesinde temel ölçüt olarak Görsel Analog Skala (VAS: 0-10) kullanılmış; ağrı yanıtları "Hava Spreyi (Air Blast)" ve "Taktil (Dokunma) Uyaranlar" olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılmıştır.

2.2. Hava Stimülasyonuna Karşı Lazer Etkinliği

Hava spreyi testi, DH tanısında ve tedavi başarısının ölçülmesinde en hassas yöntemlerden biridir. Meta-analiz sonuçları, lazer tiplerinden bağımsız olarak, lazer uygulamasının hava stimülasyonuna bağlı ağrıyı tüm zaman dilimlerinde anlamlı ölçüde azalttığını göstermektedir.

2.2.1. Kısa Dönem Etki (0-24 Saat)

Tedavi sonrası ilk 24 saatlik dilimde, lazer grubundaki hastaların ağrı skorlarında ortalama **-2.24 (MD)** birimlik bir azalma kaydedilmiştir. Bu bulgu, lazerin akut dönemdeki desensitizasyon kapasitesini teyit etmektedir. Ancak, kanıt kesinliğinin "düşük" olarak sınıflandırılması, klinik sonuçların bireysel vakalarda değişkenlik gösterebileceğine işaret etmektedir.

2.2.2. Orta ve Uzun Dönem Etki (24 Saat - 6 Ay)

Lazer terapisinin başarısı sadece anlık rahatlama ile sınırlı kalmamakta, zamanla artan bir eğilim sergilemektedir:

- **Orta Dönem (24 saat - 2 ay):** Ağrı azalması ortalama **-2.46 (MD)** düzeyine ulaşmaktadır.
- **Uzun Dönem (> 2 ay):** Uzun vadeli takip verileri, ağrı skorlarında **-2.60 (MD)** birimlik kalıcı bir iyileşme olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu veriler, lazerin sağladığı tübüler oklüzyonun veya nöral biyomodülasyonun zaman içinde stabil kaldığını ve hatta pekiştiğini kanıtlamaktadır.

2.3. Taktıl Stimülasyona Karşı Lazer Etkinliği

Mekanik uyarılara (sond çekilmesi, diş fırçalama vb.) karşı gelişen hassasiyetin tedavisinde de lazerler etkili sonuçlar vermektedir, ancak bu etkinlik hava stimülasyonuna oranla daha düşük seviyelerdedir.

- **Kısa Dönem:** Taktıl hassasiyette **-0.67 (MD)** oranında sınırlı bir azalma saptanmıştır.
- **Orta Dönem:** Takip süresi ilerledikçe bu azalma **-1.73 (MD)** seviyesine yükselmektedir.
- **Uzun Dönem Analizi:** Uzun dönemli taktıl stimülasyon verilerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanamamıştır ($P=0.31$). Bu durum, taktıl uyarıların yarattığı mekanik basıncın, lazerle sağlanan yüzeysel mühürlemeyi zamanla aşabileceği şeklinde yorumlanabilir.

3. LAZER SİSTEMLERİNİN DALGA BOYUNA GÖRE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

DH yönetiminde kullanılan farklı lazer teknolojileri, doku etkileşimleri ve dalga boylarına göre farklı başarı oranları sergilemektedir.

3.1. Diyet Lazerler (630 - 980 nm)

Diyet lazerler, hem düşük güç çıkışlı terapilerde (LLLT) hem de daha yüksek yoğunluklu uygulamalarda en çok tercih edilen sistemlerdir.

- **Klinik Üstünlük:** Diyet lazerler, plasebo ile karşılaştırıldığında hem kısa hem de orta dönemde ağrıyı azaltmada tutarlı bir başarı göstermiştir. Özellikle 810 nm ve 940 nm gibi dalga boyları, doku penetrasyon kapasiteleri sayesinde hem tübüler oklüzyona hem de pulpal sinirlerin duyarsızlaştırılmasına katkı sağlar.

3.2. Er,Cr:YSGG Lazerler (2780 nm)

Erbium grubu lazerler, su ve hidroksiapatit tarafından yüksek oranda emildikleri için dentin yüzeyinde mikroskobik düzeyde eritme ve yeniden kristalleşme yaratırlar.

- **Bulgular:** Er,Cr:YSGG lazerin, plaseboya kıyasla hem kısa hem de orta dönem hava stimülasyonu testlerinde ağrıyı hafiflettiği kanıtlanmıştır. Ancak bu lazer türü için mevcut kanıtların kesinliği "çok düşük" olarak derecelendirilmiştir, bu da klinik protokollerin standartlaştırılması gerektiğini göstermektedir.

3.3. Nd:YAG Lazerler (1064 nm)

Nd:YAG lazerler, dentin tübüllerini "eritme" (melting) yoluyla kapatma potansiyeline sahip en güçlü sistemlerden biridir.

- **Analiz:** İlginç bir şekilde, sistematik derleme verileri Nd:YAG lazerin hava stimülasyonu karşısında plaseboya göre kısa veya orta dönemde belirgin bir üstünlük sergilemediğini göstermektedir. Bu bulgu, Nd:YAG lazerin klinik başarısının büyük ölçüde operatör becerisine ve kullanılan enerji parametrelerine (J/cm^2) bağlı olduğunu düşündürmektedir.

3.4. Karbondioksit (CO₂) Lazerler (10600 nm)

CO₂ lazerler, dentin yüzeyindeki inorganik bileşenler üzerinde etkili olarak tübül ağzlarını daraltır. Ancak, Nd:YAG lazerlerde olduğu gibi, orta dönem hava stimülasyonu verilerinde plaseboya karşı istatistiksel olarak anlamlı bir üstünlük rapor edilmemiştir.

4. LAZER TERAPİSİNİN GELENEKSEL DESENSİTİZASYON AJANLARIYLA MUKAYESESİ

4.1. Klinik Etkililik ve Karşılaştırmalı Yaklaşımlar

Dentinal hipersensitivite (DH) tedavisinde lazer sistemleri, ofis tipi topikal ajanlara (florür vernikleri, oksalatlar, rezin bazlı desensitizörler vb.) modern bir alternatif olarak sunulmaktadır. Literatürde lazerlerin plasebo karşısındaki üstünlüğü pek çok çalışma ile ortaya konmuş olsa da, geleneksel kimyasal ajanlarla doğrudan karşılaştırıldıkları klinik veriler daha heterojen bir tablo çizmektedir.

4.1.1. Lazer ve Gluma Desensitizör Karşılaştırması

Glutardialdehit ve HEMA içeriğiyle bilinen Gluma, tübüler proteinleri presipite ederek hızlı bir mühürleme sağlar. Yapılan randomize kontrollü araştırmalarda, özellikle **GaAlAs (Diyot) lazerler** ile Gluma uygulaması arasında kısa dönemli etkinlik açısından benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Örneğin, Orhan ve ark. (2011) tarafından yürütülen çalışmada, 655 nm Diyot lazerin 7 günlük takip süresinde hava stimülasyonuna bağlı ağrıyı azaltmada Gluma ile karşılaştırılabilir düzeyde başarılı olduğu saptanmıştır.

4.1.2. Potasyum Nitrat ve Lazer Kombinasyonları

Potasyum nitrat, sinir hücrelerinin repolarizasyonunu engelleyerek (nöral etki) ağrıyı bloke eder. Tevatia ve ark. (2017) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, **980 nm Diyot lazerin** tek başına kullanımı ile %5'lik potasyum nitrat kullanımı karşılaştırılmış; her iki yöntemin de anlamlı bir desensitizasyon sağladığı, ancak lazerin bazı parametrelerde (taktıl uyaranlara yanıt) daha hızlı bir başlangıç etkisi gösterebileceği not edilmiştir.

4.1.3. Florür Vernikleri ve Hibrit Protokoller

Florür vernikleri, kalsiyum florür kristalleri oluşturarak tübüleri fiziksel olarak kapatır. Bazı klinik kanıtlar, lazer terapisinin sodyum florür vernikleri ile kombine edilmesinin, dentin tübüllerinin oklüzyonunu stabilize ederek tedavinin kalıcılığını artırabileceğini savunmaktadır. Nd:YAG lazerin florür verniği ile birlikte kullanımı, literatürde tübüler kapanma oranlarını artıran bir sinerji olarak nitelendirilmektedir.

4.2. Klinik Tercih Kriterleri: Maliyet ve Kullanım Kolaylığı

Mevcut sistematik derlemelerin sonuçları, lazerlerin konvansiyonel topikal ajanlara göre kesin bir üstünlüğe sahip olduğunu kanıtlamak için henüz yetersizdir. Kimyasal ajanların (örneğin florür vernikleri) lazer ünitelerine kıyasla çok daha düşük maliyetli olması ve uygulama için sofistike ekipman gerektirmemesi, rutin klinik pratikte bu ajanların öncelikli olarak tercih edilmesini destekleyen önemli unsurlardır. Lazerler, özellikle topikal tedavilere yanıt vermeyen şiddetli vakalarda veya hızlı nöral blokajın hedeflendiği durumlarda ikincil bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.

5. KLİNİK GÜVENLİK PROFİLİ VE ADVERS ETKİ ANALİZİ

5.1. Termal Hasar ve Pulpal Güvenlik

Lazer sistemlerinin DH tedavisinde kullanımındaki en kritik güvenlik parametresi, diş pulpası üzerindeki termal etkilerdir. Özellikle yüksek güç çıkışlı Nd:YAG ve Erbium grubu lazerlerin uygulanması sırasında oluşan ısı artışının, pulpa dokusunda geri dönüşümsüz hasara yol açma potansiyeli klinik bir risk faktörüdür. Bu nedenle, uygulama sırasında üretici tarafından önerilen enerji yoğunluğu (J/cm^2) ve süre limitlerine titizlikle uyulması, pulpada meydana gelebilecek termal travmanın önlenmesi açısından hayati önem taşır.

5.2. Literatürde Bildirilen Yan Etkiler

Klinik çalışmaların büyük bir bölümü (23 çalışmanın 15'i), lazer uygulaması sırasında veya sonrasında herhangi bir olumsuz olay (advers olay) gözlenmediğini rapor etmiştir. Bu durum, lazer terapisinin doğru parametrelerle uygulandığında güvenli bir yöntem olduğunu teyit etmektedir.

Ancak istisnai klinik bulgular da mevcuttur:

- **Geçici Ağrı Hissi:** Gerschman ve ark. (1994) [tarafından yapılan çalışmada, 71 katılımcıdan 2'sinde (%2.8) lazer ışınımı sırasında geçici ve geri dönüşümlü bir ağrı hissi bildirilmiştir.
- **Akut Hassasiyet:** García-Delaney ve ark. (2017) tarafından yürütülen araştırmada, lazer uygulanan bir dişte akut hassasiyet ve spontan ağrı gelişmiş, durumun kontrol altına alınması için dişin cam iyonomer siman ile kapatılması gerekmiştir.

5.3. Uygulama Sırasında Alınması Gereken Önlemler

Lazer uygulaması yapan hekimin ve hastanın, lazerin dalga boyuna uygun koruyucu gözlük kullanması zorunludur. Ayrıca, çevre yumuşak dokuların istenmeyen radyasyondan korunması için işlem alanının pamuk rulo veya uygun izolasyon yöntemleri ile sınırlandırılması önerilmektedir.

6. METODOLOJİK KALİTE VE KANIT KESİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Literatürdeki Heterojenlik Sorunu

DH ve lazer terapisi üzerine yapılan çalışmaların sistematik olarak incelenmesi, yüksek düzeyde metodolojik çeşitlilik nedeniyle güçleşmektedir. Bu heterojenliği temel nedenleri şunlardır:

1. **Lazer Parametreleri:** Dalga boyu, güç yoğunluğu (Watt), enerji yoğunluğu (J/cm²) ve ışınlama süresi çalışmalar arasında büyük farklılıklar göstermektedir.
2. **Stimülasyon Teknikleri:** Hava stimülasyonunun mesafesi, basıncı ve taktil uyarının şiddeti standardize edilmemiştir.
3. **Değerlendirme Zamanlamaları:** "Kısa dönem" ve "uzun dönem" tanımları literatürde net bir konsensusa sahip değildir; bu durum verilerin havuzlanması zorlaştırmaktadır.

6.2. Kanıt Kesinliği (GRADE Analizi)

[cite_start]Cochrane derlemesi kapsamında yapılan GRADE değerlendirmesi, mevcut kanıtların büyük ölçüde "**düşük**" veya "**çok düşük**" kesinlikte olduğunu ortaya koymuştur.

- **Hava Stimülasyonu:** Kısa dönemdeki ağrı azalması için kanıt düzeyi "düşük" iken, orta ve uzun dönem verileri "çok düşük" kesinliktedir.
- **Taktil Stimülasyon:** Tüm zaman dilimlerindeki kanıt kesinliği "çok düşük" ile "düşük" arasında değişmektedir.

Bu düşük kesinlik notları, çalışmalardaki körleme (blinding) eksiklikleri, küçük örneklem boyutları ve sonuçlar arasındaki tutarsızlıklardan kaynaklanmaktadır.

7. MALİYET-ETKİNLİK ANALİZİ VE EKONOMİK DEĞERLENDİRME

7.1. Tedavi Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Dental hipersensitivite (DH) yönetiminde klinik karar verme süreci, sadece biyolojik başarıya değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirliğe de dayanmaktadır. Lazer sistemlerinin ofis içi kullanımı, geleneksel desensitizasyon yöntemlerine kıyasla belirgin bir maliyet farkı yaratmaktadır.

• **Ekipman Yatırımı:** Lazer üniteleri (özellikle Erbium ve Nd:YAG sistemleri), yüksek başlangıç yatırım maliyeti gerektiren sofistike cihazlardır. Buna karşın, florür vernikleri, kalsiyum fosfat bileşikleri veya oksalat bazlı ajanlar düşük birim maliyetle temin edilebilir.

• **Operasyonel Süreç:** Lazer uygulaması, uzmanlık düzeyinde eğitim ve klinik süre ayrılmasını gerektirir. Sarf malzemesi maliyeti düşük olsa da, cihazın amortismanı ve profesyonel uygulama süresi, toplam tedavi maliyetini artıran unsurlardır.

7.2. Klinik Kazanım ve Ekonomik Verimlilik

Cochrane meta-analiz verileri, lazerlerin ağrıyı azaltmada plasebodan daha etkili olduğunu gösterse de, bu etkinin geleneksel ajanlardan anlamlı derecede üstün olup olmadığına dair kanıtlar sınırlıdır. Ekonomik bir perspektifle bakıldığında; benzer klinik sonuçların daha düşük maliyetli kimyasal ajanlarla elde edilebildiği durumlarda, lazerin rutin birincil tedavi olarak seçilmesi "maliyet-etkin" olmayabilir. Ancak, konvansiyonel tedavilere dirençli vakalarda lazerin sunduğu potansiyel hızlı rahatlama, hastanın yaşam kalitesindeki artış ve iş gücü kaybının önlenmesi gibi dolaylı ekonomik faydalar sağlayabilir.

8. KLİNİK UYGULAMA STRATEJİLERİ VE HASTA SEÇİMİ

8.1. Tanısal Kesinlik ve Ayırıcı Tanı

Başarılı bir lazer terapisinin ön koşulu doğru teşhistir. DH, sıklıkla çatlak diş sendromu, kusurlu restorasyonlar veya kronik pulpitis ile karıştırılabilir. Hekim, lazer uygulamasına geçmeden önce ağrının gerçekten "açık dentin tübülllerinden" kaynaklandığını doğrulamalıdır.

8.2. Hasta Odaklı Tedavi Planlaması

Lazer terapisi için aday seçiminde şu kriterler göz önünde bulundurulmalıdır:

1. **Dirençli Vakalar:** Ev tipi hassasiyet giderici macunlar ve ofis tipi vernik uygulamalarından sonuç alınamayan hastalar.
2. **Şiddetli Semptomatoloji:** VAS skorları yüksek olan ve hızlı desensitizasyon beklenen akut durumlar.

3. **Periodontal Cerrahi Sonrası:** Kök yüzeyi düzleştirmesi sonrası gelişen yaygın hassasiyetlerin yönetimi.

8.3. Uygulama Protokolü Önerileri

Literatürdeki bulgular ışığında, klinik başarıyı artırmak için şu adımlar önerilmektedir:

- **Yüzey Hazırlığı:** Uygulama yapılacak dentin yüzeyi kaba eklentilerden temizlenmeli ve hafifçe kurulanmalıdır.
- **Dozaj Kontrolü:** Pulpa sağlığını korumak adına, lazer enerjisi sürekli aynı noktaya odaklanmamalı, tarama hareketiyle (scanning motion) uygulanmalıdır.
- **Kombinasyon Terapisi:** Lazer uygulamasını takiben yüzeye florür verniği tatbik edilmesi, hem fiziksel oklüzyonu hem de kimyasal korumayı birleştiren bir sinerji yaratabilir.

9. GELECEK PROSPEKTİFLERİ VE ARAŞTIRMA GEREKSİNİMLERİ

9.1. Metodolojik Standartlaşma İhtiyacı

Mevcut literatürdeki en büyük eksiklik, lazer parametrelerindeki standardizasyon yoksunluğudur. Gelecekteki araştırmaların, dalga boyu, frekans ve enerji yoğunluğu gibi değişkenleri sabitleyerek "altın standart" protokoller oluşturmaları gerekmektedir.

9.2. Uzun Dönemli İzleme ve Stabilité

Lazerle sağlanan tübüler mühürlemenin ağız ortamındaki (asidik içecekler, mekanik fırçalama vb.) dayanıklılığına dair daha fazla 12 ay ve üzeri takipli çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. DH'nin kronik doğası, tedavinin kalıcılığını en önemli başarı kriteri haline getirmektedir.

10. SONUÇ

Bu kitap bölümünde kapsamlı bir şekilde incelendiği üzere; lazer terapisi, dentinal hipersensitivite yönetiminde klinik cephaneliğin önemli bir parçasıdır. Cochrane sistematik derlemesinin sunduğu meta-analitik kanıtlar, lazerlerin özellikle hava stimülasyonuna bağlı ağrıyı azaltmada hem kısa hem de uzun dönemde (6 aya kadar) plaseboya göre anlamlı bir üstünlük sergilediğini teyit etmektedir.

Bununla birlikte, kanıt kesinliğinin "düşük" veya "çok düşük" seviyelerde kalması, diş hekimlerinin bu sonuçları dikkatli bir süzgeçten geçirmesini zorunlu kılar. Diyet ve Er,Cr:YSGG lazerler klinik olarak daha tutarlı sonuçlar vaat ederken, Nd:YAG ve CO₂ lazerlerin etkinliği daha fazla araştırılmaya muhtaçtır.

Sonuç olarak; lazerler, invaziv olmayan, iyi tolere edilen ve advers etkisi minimum düzeyde olan güvenli tedavi seçenekleridir. Ancak yüksek maliyetleri ve teknik hassasiyetleri nedeniyle, rutin vakalarda konvansiyonel topikal ajanların yerini tamamen almaktan ziyade, karmaşık ve dirençli vakalarda "ileri düzey tedavi seçeneği" olarak konumlandırılmalıdır. Modern diş hekimliği, lazer teknolojisini hidrodinamik teoremin sunduğu biyofiziksel prensiplerle birleştirerek, hastalarına daha konforlu ve etkin çözümler sunmaya devam edecektir.

KAYNAKLAR

- Amini, P., Ghavam, M., & Tehrani, M. (2018). Comparison of the effectiveness of diode laser and fluoride varnish in the treatment of dentinal hypersensitivity: A randomized clinical trial. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 9(1), 34-39. doi:10.15171/jlms.2018.08
- Aranha, A. C., Pimenta, L. A., & Marchi, G. M. (2009). Clinical evaluation of desensitizing treatments of cervical dentin hypersensitivity. *Brazilian Oral Research*, 23(3), 333-339.
- Asnaashari, M., Moeini, P. S., & Ghavam, M. (2015). Comparison of the effect of GaAlAs (810 nm) diode laser and Gluma desensitizer in the treatment of dentine hypersensitivity. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 6(3), 115-120.
- Birang, R., Poursamimi, J., Gutknecht, N., Itahlari, H., & Labibi, A. (2007). Comparative study of the effects of Er:YAG laser and \$KNO_3\$ gel in the treatment of dentine hypersensitivity. *Lasers in Medical Science*, 22(1), 21-24. doi:10.1007/s10103-006-0414-0
- Brännström, M. (1963). A hydrodynamic mechanism in the transmission of pain produced by stimulation of the dentine. In D. J. Anderson (Ed.), *Sensory Mechanisms in Dentine* (pp. 73-79). Oxford, England: Pergamon Press.
- Brugnera Junior, A., Garrini, A. E., Garrini Neto, A., Ladalardo, T. C., Pinheiro, A. L., & Pecora, J. D. (2003). LLLT in dentine hypersensitivity. *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery*, 21(6), 345-348.

- Corona, S. A., Nascimento, T. N., Catirse, A. B., Lizarelli, R. F., Dinelli, W., & Palma-Dibb, R. G. (2003). Clinical evaluation of low-level laser therapy and fluoride varnish for treating dentinal hypersensitivity. *Journal of Oral Rehabilitation*, 30(12), 1183-1189.
- García-Delaney, A., Sánchez-Pérez, A., Quiles-Fenoll, J. M., & González-Hernández, R. (2017). Effectiveness of the Nd:YAG laser in the treatment of dentine hypersensitivity. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 22(5), e623-e628. doi:10.4317/medoral.21826
- Gerschman, J. A., Ruben, J., & Gebart-Ebeling, J. (1994). Low level laser therapy for dentine hypersensitivity. *Australian Dental Journal*, 39(6), 353-357. doi:10.1111/j.1834-7819.1994.tb03105.x
- Gholami, G. A., Fekrazad, R., Esmail-Nejad, A., & Kalhori, K. A. (2014). An evaluation of the effectiveness of Er,Cr:YSGG laser on dentine hypersensitivity. *Lasers in Medical Science*, 29(3), 1113-1118.
- Gopinath, N. M., John, J., Nagappan, N., Prabhu, S., & Senthil, M. (2015). Effectiveness of various desensitizing agents and diode laser in the treatment of dentinal hypersensitivity. *Journal of Injury and Violence Research*, 7(3), 1-5.
- He, S., Wang, Y., Li, X., & Hu, D. (2011). Effectiveness of laser therapy and topical desensitizing agents in treating dentine hypersensitivity: A systematic review. *Journal of Oral Rehabilitation*, 38(5), 348-359.
- Ipci, S. D., Cakar, G., Kuru, B., & Yilmaz, S. (2009). Clinical evaluation of Nd:YAG laser and 38% silver diamine fluoride in the treatment of dentine hypersensitivity. *Photomedicine and Laser Surgery*, 27(2), 299-305.
- Kimura, Y., Wilder-Smith, P., Yonaga, K., & Matsumoto, K. (2000). Treatment of dentine hypersensitivity by lasers: A review. *Journal of Clinical Periodontology*, 27(10), 715-721.
- Kumar, P. A., & Mehta, D. S. (2005). A comparative evaluation of the low-level laser therapy (He-Ne laser) and 0.2% sodium fluoride in the treatment of dentinal hypersensitivity. *Journal of the Indian Society of Periodontology*, 9(2), 82-87.
- Ladhimamane, D. S., Sane, A. S., Bhide, S. V., & Gunjal, S. S. (2015). Clinical evaluation of Er:YAG laser and a desensitizing agent in the treatment of dentinal hypersensitivity. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 16(12), 940-945.
- Lopes, A. O., Aranha, A. C., & Eduardo, C. P. (2015). Comparative evaluation of the effects of Nd:YAG laser and a desensitizer agent on the treatment of dentine hypersensitivity: A clinical study. *Photomedicine and Laser Surgery*, 33(3), 132-137. doi:10.1089/pho.2014.3855

- Mahdian, M., Behboodi, S., Ogata, Y., & Natto, Z. S. (2021). Laser therapy for dentinal hypersensitivity. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2021(7), Art. No.: CD009434.
- Malkoc, M. A., Sipahi, C., Ural, Ç., & Yesilyurt, C. (2015). Clinical evaluation of various desensitizing agents and the Er,Cr:YSGG laser in the treatment of dentine hypersensitivity. *Photomedicine and Laser Surgery*, 33(11), 547-553. doi:10.1089/pho.2015.3951
- Moosavi, H., Arjmand, N., & Zeighami, S. (2013). Evaluation of dentin hypersensitivity treatment with two laser types and a desensitizing agent: An in-vitro study. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 4(1), 17-21.
- Orhan, K., Aksoy, U., Can-Karabulut, D. C., & Kalender, A. (2011). Efficiency of Er:YAG and GaAlAs lasers in dentin hypersensitivity: A clinical study. *Journal of Oral Rehabilitation*, 38(11), 816-821.
- Pandeshwar, P., Roopa, S., & Gunjal, S. (2016). Comparison of the efficacy of Nd:YAG laser and Gluma desensitizer in the treatment of dentinal hypersensitivity. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 10(5), ZC44-ZC47. doi:10.7860/JCDR/2016/18659.7788
- Rao, S., Senthil, M., & John, J. (2014). Clinical evaluation of diode laser and fluoride varnish for treating dentinal hypersensitivity. *Journal of Indian Society of Periodontology*, 18(4), 481-485.
- Sgolastra, F., Petrucci, A., Severino, M., Gatto, R., & Monaco, A. (2011). Lasers for the treatment of dentin hypersensitivity: A meta-analysis. *Journal of Dental Research*, 90(11), 1302-1314.
- Suraihadi, H. S., Nagappan, N., John, J., & Nagappan, N. (2016). Effectiveness of various desensitizing agents and diode laser in the treatment of dentinal hypersensitivity: A randomized controlled trial. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*, 6(5), 450-455. doi:10.4103/2231-0762.191599
- Tevatia, J., & Krishna, V. P. (2017). Comparison of 980 nm diode laser with 5% potassium nitrate for treatment of dentinal hypersensitivity. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 9(2), e207-e212.
- Yilmaz, H. G., Guler, A. U., & Bayindir, H. (2011). Evaluation of the effectiveness of an Er,Cr:YSGG laser on dentine hypersensitivity: A 6-month clinical study. *Journal of Periodontology*, 82(5), 740-746. doi:10.1902/jop.2010.100414
- Zhang, C., Peng, X., & Liu, X. (2015). Comparison of the effectiveness of CO2 laser and Gluma desensitizer in the treatment of dentine hypersensitivity: A randomized clinical trial. *Photomedicine and Laser Surgery*, 33(1), 15-20. doi:10.1089/pho.2014.3807

TEMPOROMANDİBULAR EKLEM (TME) RAHATSIZLIKLARINDA BİYOMEKANİK MODELLEMELER

Hatice ÖNDER

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız Dış Çene Cerrahisi Bölümü, Kırıkkale Ağız Dış Sağlığı Merkezi, Kırıkkale/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0001-9178-1663
- ❖ Mail: dt.haticedeniz@gmail.com

GİRİŞ

Temporomandibular eklem (TME), kraniyomandibular sistemin fonksiyonel bütünlüğünü sürdüren; çiğneme, konuşma, yutma, solunum, mimik ve parafonksiyonel aktivitelerde temel rol üstlenen çift taraflı sinoviyal bir artikülasyondur. Anatomik ve biyomekanik özellikleri açısından insan vücudundaki en karmaşık eklemlerden biri olarak kabul edilen TME, rotasyonel ve translasyonel hareketleri eş zamanlı olarak gerçekleştirebilen özgün bir mekanik yapıya sahiptir (Okeson, 2019). Bu nedenle eklem; kemik yapılar, artiküler disk, kapsül ve ligamentöz kompleks, kas grupları, proprioseptif duyuşal ağ ve oklüzal ilişkiler arasında kurulan hassas bir biyomekanik denge ile fonksiyon görmektedir.

Temporomandibular bozukluklar (TMB/TMD), temporomandibular eklem ve ilişkili çiğneme sistemi bileşenlerinde ağrı, fonksiyon kaybı ve yapısal değişikliklerle karakterize, çok boyutlu bir muskuloskeletal hastalık grubudur. Etiyolojisi multifaktöriyel olup genetik yatkınlık, biyomekanik yüklenme paternleri, nöromüsküler kontrol bozuklukları, oklüzal ilişkiler, psikososyal stresörler ve travmatik etkilerin etkileşimi ile ortaya çıkmaktadır (Schiffman et al., 2014).

Son yıllarda, temporomandibular eklem fizyopatolojisinin daha iyi anlaşılması, bireye özgü tedavi planlarının oluşturulması ve doku biyomekaniğinin gerçeğe en yakın şekilde modellenebilmesi amacıyla biyomekanik modelleme yöntemlerine olan ilgi belirgin şekilde artmıştır. Gelişmiş stomatognatik modeller kullanılarak gerçekleştirilen sonlu eleman analizleri; çene hareketlerinin, artiküler disk ve çevre yumuşak dokuların, periodontal ligamentin ve diğer TME bileşenlerinin simülasyon ortamında doğru biçimde temsil edilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, biyomekanik modellemenin yalnızca teorik bir analiz aracı olmanın ötesine geçerek klinik karar desteği ve kişiselleştirilmiş tedavi planlamasında önemli bir araç haline geldiğini göstermektedir (Zhu, Zhu, & Yin, 2024).

TME Anatomisi ve Fizyolojisi

Eklem Bileşenleri: Kondil, Artiküler Disk, Kapsül ve Ligamentler

Temporomandibular eklem, mandibula kondili ile temporal kemiğin glenoid fossa ve artiküler eminens yapılarının oluşturduğu çift taraflı bir sinoviyal eklemdir. Eklem içi artiküler disk, fibröz ve kondroid yapı

özelliklerinin birleşiminden oluşur ve kondil ile temporal yüzeyler arasında yük dağılımını düzenleyerek sürtünmeyi azaltıcı bir rol üstlenir. Eklem kapsülü, eklem stabilitesini sağlarken aynı zamanda sinoviyal sıvı üretimi ile kaygan bir eklem ortamı oluşturur. Buna ek olarak lateral ligament, stylomandibular ligament ve sphenomandibular ligament gibi ligamentöz yapılar mandibular hareketleri sınırlandırarak aşırı yüklenmeyi önleyen önemli stabilizatörlerdir (Okeson, 2019).

Sinirsel ve Duyusal Sistemlerin Rolü

TME, zengin bir proprioseptif ve sensörük sinir ağı ile çevrilidir. Auriculotemporal sinir başta olmak üzere trigeminal sinir sistemi aracılığıyla hem ağrı hem de mekanik uyarılar merkezi sinir sistemine iletilir. Eklem kapsülü ve artiküler disk üzerindeki mekanoreseptörler, yüklenme ve pozisyon bilgilerini ileterek biyomekanik dengenin ve fonksiyonel bütünlüğün sürdürülmesine katkı sağlar (Tanaka & van Eijden, 2003).

Kas Kuvvetleri ve Çiğneme Dinamikleri

TME fonksiyonu, mandibulayı hareket ettiren kasların koordineli çalışması ile sağlanır. Masseter, temporalis, medial ve lateral pterigoid kasları; çiğneme, protrüzyon, retrüzyon ve lateral hareketleri kontrol eden temel kas gruplarıdır. Özellikle lateral pterigoid kası, kondilin öne doğru translasyonunu düzenleyerek eklem hareketlerinin koordinasyonunda merkezi bir rol üstlenir (Okeson, 2019). Bu kas gruplarının eş zamanlı aktivasyonu, rotasyonel ve translasyonel hareketlerin uyum içinde gerçekleşmesini sağlayarak eklem yüzeylerindeki stres dağılımını optimize eder (Liu, Zhang, & Chen, 2023).

Temporomandibular eklem fonksiyonel davranışı, çiğneme kasları tarafından üretilen kuvvetlerin büyüklüğü, yönü ve zamansal dağılımı ile doğrudan ilişkilidir. Masseter, temporalis ve pterigoid kaslar mandibulanın stabilitesini sağlayan temel kas grupları olup, bu kasların koordineli aktivasyonu eklem içi yüklerin fizyolojik sınırlar içinde kalmasında kritik rol oynamaktadır (Lövgren et al., 2016). Kas aktivitesindeki artış, özellikle parafonksiyonel alışkanlıklar varlığında, eklem üzerine binen kuvvetleri belirgin şekilde artırabilir. Biyomekanik modelleme çalışmaları, kas kuvvetlerindeki küçük değişimlerin bile eklem içi stres dağılımını anlamlı düzeyde etkileyebileceğini göstermektedir.

Masseter kası, çiğneme sırasında oluşan vertikal kuvvetlerin ana kaynağı olup kondil ve artiküler disk üzerinde yüksek kompresif stres alanlarının oluşmasına neden olur. Bruksizm gibi parafonksiyonel durumlarda

bu kuvvetlerin süresi ve tekrarlanma sıklığının artması, eklem yüzeylerinde mikrotravmatik değişikliklerin gelişmesine zemin hazırlayabilir. Temporalis kasının özellikle posterior lifleri, mandibulanın retraksiyonu sırasında kondilin fossadaki konumunu belirleyerek posterior kondiler yüklenmeyi etkiler. Güncel görüntüleme ve biyomekanik modelleme çalışmalarında, temporalis kas aktivitesindeki dengesizliklerin retrodiscal dokular üzerinde artmış gerilimle ilişkili olabileceği ve bu durumun internal düzensizliklerin patogeneğinde rol oynayabileceği gösterilmiştir. Lateral pterigoid kasın özellikle inferior başı ise mandibular translasyonel hareketlerin kontrolünde kritik öneme sahiptir. Bu kasın aşırı veya asenkron aktivasyonu, disk-kondil kompleksinde anormal kuvvet vektörlerine yol açarak eklem içi stres dağılımını bozabilmektedir (Gao et al., 2023).

Yük Aktarımı ve Stres Dağılımı TME ‘ nin Biyomekanik özelliklere

Temporomandibular eklemden yük aktarımı; kondil, artiküler disk ve temporal kemik arasında gerçekleşen karmaşık bir biyomekanik etkileşim sürecidir. Fizyolojik koşullarda artiküler disk, yüklerin homojen biçimde dağıtılmasını sağlayarak kondiler baş üzerinde oluşabilecek aşırı stres yoğunlaşmalarını önler. Diskin viskoelastik özellikleri, dinamik çiğneme yüklerine adaptasyonu mümkün kılan temel faktörlerden biridir (Tanaka & van Eijden, 2003; Gallo, 2019).

Normal eklem fonksiyonunda stres dağılımı çoğunlukla kondilin anterosuperior yüzeyinde yoğunlaşmakta ve bu alanlar fizyolojik adaptasyon kapasitesi sayesinde yapısal bütünlüğünü korumaktadır. Patolojik koşullarda ise bu denge bozulur. Disk deplasmanı, disk perforasyonu veya dejeneratif eklem hastalıkları varlığında yükler doğrudan kondiler kemik yüzeylere aktarılır ve lokalize stres artışları meydana gelir. Bu durum subkondral kemikte remodelasyon, mikroçatlak oluşumu ve ilerleyici osteoartritik değişikliklerle sonuçlanabilir. Özellikle anterior disk deplasmanlarında kondilin posterior bölgesinde anlamlı stres artışları bildirilmektedir (Zhao et al., 2025; Zhang et al., 2022).

Fizyolojik koşullarda disk, kondil ile uyumlu şekilde hareket ederek hem şok absorpsiyonu sağlar hem de eklem yüzeylerini korur. Ancak disk deplasmanı, dejeneratif değişiklikler veya kas dengesizlikleri gibi durumlarda bu yük dağılım mekanizması bozulur. Bunun sonucunda eklem içi basınç artışı, kıkırdak aşınması ve ağrı gibi klinik bulgular ortaya çıkabilir. Bu süreçlerin uzun vadede eklem içi yapısal değişikliklere ve fonksiyon kaybına

zemin hazırladığı bildirilmektedir (Koolstra, 2020; Tanaka & Detamore, 2021).

Biyomekanik Modellemelerin Önemi

Biyomekanik modelleme, eklem üzerine etki eden kuvvetlerin, stres dağılımının, deformasyonun ve hareket paternlerinin matematiksel ve bilgisayar destekli analizler aracılığıyla incelenmesini sağlar. Özellikle son yıllarda sonlu elemanlar analizi (Finite Element Analysis – FEA) gibi yöntemlerin gelişmesiyle birlikte TME'nin fizyolojik ve patolojik koşullardaki davranışı daha ayrıntılı şekilde değerlendirilebilmektedir (Gallo, 2019; Zhang et al., 2022).

Bu çalışmalar, stres yoğunlaşmalarının yalnızca büyüklüğünün değil, aynı zamanda yönünün ve tekrarlanma sıklığının da eklem patolojilerinin gelişiminde belirleyici olduğunu göstermektedir. Kronik düşük düzeyli streslerin uzun vadede dokusal adaptasyon kapasitesini aşarak dejeneratif süreçleri tetikleyebileceği vurgulanmaktadır (Liu et al., 2023). Bu bağlamda yük aktarımı ve stres dağılımının değerlendirilmesi, yalnızca mevcut patolojinin açıklanması açısından değil, aynı zamanda gelecekte gelişebilecek hasarların öngörülmesi açısından da önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

TME rahatsızlıklarının patofizyolojisini anlamada biyomekanik modeller önemli avantajlar sunar. Bu modeller sayesinde:

- Kondil ve disk üzerindeki stres dağılımı analiz edilebilir
- Farklı oklüzal ilişkilerin eklem üzerine etkisi incelenebilir
- Kas kuvvetlerinin eklem mekaniğine katkısı değerlendirilebilir
- Disk deplasmanı gibi patolojilerin eklem içi yük dengesini nasıl değiştirdiği gösterilebilir

Özellikle sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak oluşturulan üç boyutlu modeller, eklem bileşenlerinin gerçekçi simülasyonlarla incelenmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede cerrahi tedaviler, oklüzal splint uygulamaları ve ortodontik müdahalelerin eklem üzerindeki potansiyel etkileri önceden öngörülebilmektedir (Koolstra, 2020; Tanaka & Detamore, 2021).

Biyomekanik modeller ayrıca:

- Anterior disk deplasmanının eklem içi basınç etkisinin,

- Bruksizmin kondil üzerindeki stres dağılımına katkısının,
- Oklüzal splintlerin yük azaltıcı etkisinin,
- Artrosentez sonrası eklem içi basınç değişimlerinin

analiz edilmesinde önemli veriler sağlamaktadır. Bu yaklaşımlar yalnızca teorik bilgi üretmekle kalmayıp klinik karar verme süreçlerine de katkıda bulunmaktadır. Özellikle splint tasarımlarının optimize edilmesi, cerrahi planlamanın desteklenmesi, hastaya özel tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi ve dejeneratif değişikliklerin erken dönemde öngörülmesi gibi alanlarda önemli bir rehber niteliği taşımaktadır (Gallo, 2019; Zhang et al., 2022).

Biyomekanik Modelleme Teknikleri

Temporomandibular eklemin karmaşık anatomik yapısı, farklı doku tiplerinin eş zamanlı ve uyumlu biçimde çalıştığı dinamik bir sistem oluşturması ve çok yönlü yüklenme paternlerine maruz kalması, bu eklemin yalnızca klasik anatomik ve klinik yaklaşımlarla tam olarak anlaşılmasını güçleştirmektedir. Bu nedenle son yıllarda biyomekanik modelleme teknikleri, TME'nin fonksiyonel davranışını açıklamada ve patolojik süreçleri simüle etmede önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Özellikle bilgisayar destekli mühendislik yöntemleri sayesinde eklem bileşenlerinin mekanik özellikleri, kuvvet aktarım mekanizmaları ve dokular arası etkileşimler üç boyutlu ortamlarda ayrıntılı biçimde incelenebilmektedir (Gallo, 2019; Koolstra, 2020).

Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Analysis – FEA)

Sonlu elemanlar analizi, TME biyomekaniğinin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan modelleme yöntemlerinden biridir. Bu yaklaşımda eklem bileşenleri çok sayıda küçük ve sonlu parçaya bölünerek her bir bölümün mekanik davranışı ayrı ayrı hesaplanmakta, elde edilen veriler daha sonra bütüncül bir model içerisinde birleştirilmektedir. Bu sayede kondil, artiküler disk, temporal kemik, periodontal ligament ve çevre yumuşak dokular üzerinde oluşan stres, gerilim ve deformasyon dağılımları ayrıntılı olarak analiz edilebilmektedir (Alomar et al., 2019; Koriath & Hannam, 2021).

FEA modelleri özellikle farklı oklüzal ilişkilerin, kas kuvvetlerinin ve mandibular hareketlerin eklem içi yük dağılımını nasıl etkilediğini değerlendirmede güçlü bir araçtır. Bu teknik sayesinde normal çiğneme

fonksiyonu sırasında oluşan fizyolojik stres alanları ile parafonksiyonel alışkanlıklar veya disk deplasmanı gibi patolojik durumlarda ortaya çıkan anormal yüklenme paternleri karşılaştırılabilmektedir. Yapılan çalışmalar, disk bütünlüğünün bozulduğu veya kondil-disk uyumunun kaybolduğu durumlarda stresin daha dar ve lokalize alanlarda yoğunlaştığını ve bunun da dejeneratif süreçleri hızlandırabileceğini düşündürmektedir (Tanaka & Detamore, 2021; Zhang et al., 2022).

Ayrıca FEA, cerrahi ve konservatif tedavilerin mekanik sonuçlarının öngörülmesinde de kullanılmaktadır. Örneğin oklüzal splint kullanımının kondil üzerindeki kompresif stresleri azaltıp azaltmadığı, ortodontik tedavilerin eklem yük dağılımını nasıl değiştirdiği veya artrosentez sonrası eklem içi basınç değişimlerinin nasıl şekillendiği bu modeller aracılığıyla değerlendirilebilmektedir (Gallo, 2019; Koolstra, 2020).

Üç Boyutlu Görüntüleme Tabanlı Modelleme

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT), manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ve yüksek çözünürlüklü tomografik tekniklerin gelişmesiyle birlikte hasta-spesifik üç boyutlu TME modellerinin oluşturulması mümkün hale gelmiştir. Bu görüntüleme yöntemleri sayesinde kemik yapılar, artiküler disk, kaslar ve yumuşak dokular detaylı biçimde dijital ortama aktarılmakta ve gerçek anatomik geometriye dayalı biyomekanik simülasyonlar yapılabilmektedir (Cevitanes et al., 2019; Schilling et al., 2021).

CBCT verileri çoğunlukla kemik yapıların modellenmesinde kullanılırken, MRI özellikle artiküler disk ve diğer yumuşak dokuların konum ve morfolojisinin belirlenmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu iki görüntüleme tekniğinin birlikte kullanılması, TME'nin hem sert hem de yumuşak doku bileşenlerini içeren daha gerçekçi modellerin oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Böylece bireye özgü anatomik farklılıklar biyomekanik analizlere dahil edilerek daha doğru ve klinik açıdan anlamlı sonuçlar elde edilebilmektedir (Koolstra, 2020; Zhang et al., 2022).

Kas Kuvvetlerinin Modellemesi

TME biyomekanığının doğru şekilde temsil edilebilmesi için yalnızca anatomik yapıların değil, aynı zamanda kas kuvvetlerinin de modele entegre edilmesi gerekmektedir. Masseter, temporalis, medial ve lateral pterigoid kaslarının oluşturduğu kuvvet vektörleri; büyüklük, yön ve aktivasyon süresi

açısından modele dahil edilerek mandibular hareketlerin dinamik doğası simüle edilmektedir (Korioth & Hannam, 2021).

Kas kuvvetlerinin modele eklenmesi özellikle çiğneme sırasında oluşan yük aktarım mekanizmalarının anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Bunun yanı sıra bruksizm gibi parafonksiyonel durumlarda artan kas aktivitesinin eklem içi stres dağılımını nasıl değiştirdiği de bu modeller aracılığıyla değerlendirilebilmektedir. Güncel çalışmalar, kas aktivitesindeki asimetriklerin ve dengesizliklerin disk-kondil kompleksinde anormal kuvvet yoğunlaşmalarına yol açabileceğini ve bunun da internal düzensizliklerin gelişiminde etkili olabileceğini göstermektedir (Tanaka & Detamore, 2021; Zhang et al., 2022).

Dinamik ve Hasta-Spesifik Simülasyonlar

Son yıllarda geliştirilen ileri biyomekanik modelleme yaklaşımları, statik analizlerin ötesine geçerek dinamik çiğneme döngülerini ve mandibular hareket paternlerini zaman bağımlı olarak inceleyebilmektedir. Bu tür modellerde eklem bileşenlerinin viskoelastik özellikleri de dikkate alınarak dokuların yük altında zamana bağlı davranışı simüle edilmektedir (Gallo, 2019; Schilling et al., 2021).

Hasta-spesifik modelleme, bireyin anatomik yapısına, oklüzal ilişkilerine ve kas aktivite paternlerine dayalı kişiselleştirilmiş biyomekanik analizlerin yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, özellikle yüksek riskli hastalarda eklem üzerine binen stres alanlarının önceden belirlenmesi ve tedavi planlarının buna göre şekillendirilmesi açısından önemli bir klinik potansiyele sahiptir (Cevitanes et al., 2019; Koolstra, 2020).

SONUÇ

Temporomandibular eklem, yapısal karmaşıklığı, çok yönlü hareket kabiliyeti ve nöromüsküler kontrol mekanizmaları ile insan vücudunun en sofistike biyomekanik sistemlerinden biridir. Eklem fonksiyonunun sürdürülebilmesi; kemik yapılar, artiküler disk, ligamentöz stabilizatörler, kas kuvvetleri ve proprioseptif geri bildirim mekanizmaları arasında kurulan hassas bir dengeye bağlıdır. Bu dengenin bozulması, yük aktarım paternlerinde değişikliklere ve sonuç olarak temporomandibular bozuklukların gelişimine zemin hazırlamaktadır.

Güncel biyomekanik modelleme yaklaşımları, özellikle sonlu eleman analizine dayalı üç boyutlu simülasyonlar, TME'nin fizyolojik ve patolojik

koşullardaki davranışını anlamada güçlü bir bilimsel altyapı sunmaktadır. Bu modeller sayesinde kas kuvvetlerinin büyüklüğü ve yönü, oklüzal ilişkiler, disk pozisyonu ve kondiler hareketler arasındaki etkileşim daha ayrıntılı şekilde incelenebilmekte; stres dağılımı ve yük yoğunlaşma alanları objektif olarak değerlendirilebilmektedir. Elde edilen veriler, disk deplasmanı, dejeneratif eklem hastalıkları ve parafonksiyonel alışkanlıklar gibi klinik durumların patofizyolojik mekanizmalarının açıklanmasına katkı sağlamaktadır.

Biyomekanik modellemeler yalnızca mevcut patolojinin anlaşılmasına değil, aynı zamanda risk altındaki dokuların öngörülmesine ve koruyucu yaklaşımların geliştirilmesine de olanak tanımaktadır. Bu bağlamda oklüzal splint tedavileri, ortodontik uygulamalar ve cerrahi müdahalelerin eklem üzerindeki potansiyel etkilerinin simülasyon ortamında değerlendirilmesi, klinik karar verme süreçlerini destekleyen önemli bir araç haline gelmiştir.

Gelecekte, yapay zekâ destekli analiz sistemleri, yüksek çözünürlüklü görüntüleme teknikleri ve hasta-spesifik üç boyutlu modellemelerin entegrasyonu ile temporomandibular eklem biyomekaniğinin daha gerçekçi şekilde temsil edilmesi mümkün olacaktır. Bu gelişmelerin, kişiselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulmasına, erken dönem yapısal değişikliklerin saptanmasına ve uzun dönem klinik sonuçların iyileştirilmesine önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

Sonuç olarak biyomekanik modelleme yaklaşımları, temporomandibular eklem rahatsızlıklarının değerlendirilmesinde temel bilim ile klinik uygulama arasında güçlü bir köprü oluşturmaktadır. Bu yaklaşım, TME fizyopatolojisinin daha derinlemesine anlaşılmasını sağlamakla kalmayıp bireye özgü, hedefe yönelik ve öngörülebilir tedavi stratejilerinin geliştirilmesinde giderek daha merkezi bir rol üstlenmektedir.

KAYNAKLAR

- Alomar, X., Medrano, J., Cabratosa, J., Clavero, J. A., Lorente, M., Serra, I., & Monill, J. M. (2019). Anatomy of the temporomandibular joint. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*, 40(3), 189–199.
- Cevidanes, L. H. S., Hajati, A. K., Paniagua, B., Lim, P. F., Walker, D. G., Palconet, G., & Styner, M. (2019). Quantification of condylar resorption in temporomandibular joint osteoarthritis. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 127(6), 539–550.
- Gallo, L. M. (2019). Biomechanics of the temporomandibular joint. *Journal of Oral Rehabilitation*, 46(3), 270–279.
- Gallo, L. M. (2019). Modeling of temporomandibular joint function using biomechanical approaches. *Journal of Oral Rehabilitation*.
- Gao, W., Lu, J., Gao, X., Zhou, J., Dai, H., & Xu, J. (2023). Biomechanical effects of joint disc perforation on the temporomandibular joint: A 3D finite element study. *BMC Oral Health*, 23, 943.
- Koolstra, J. H. (2020). Dynamics of the human masticatory system. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 31(1), 1–17.
- Koolstra, J. H. (2020). Biomechanics of the masticatory system and temporomandibular joint. *Journal of Oral Rehabilitation*.
- Korioth, T. W. P., & Hannam, A. G. (2021). Deformation of the human mandible during simulated tooth clenching. *Journal of Dental Research*, 100(4), 356–362.
- Liu, Y., Zhang, X., & Chen, J. (2023). Finite element analysis of temporomandibular joint loading during different occlusal conditions. *Journal of Oral Rehabilitation*, 50(4), 367–376.
- Lövgren, A., Häggman-Henrikson, B., Visscher, C. M., Lobbezoo, F., Marklund, S., & Wänman, A. (2016). Temporomandibular pain and jaw dysfunction at different ages covering the lifespan: A population-based study. *European Journal of Pain*, 20(4), 532–540.
- Okeson, J. P. (2019). *Management of temporomandibular disorders and occlusion* (8th ed.). Mosby.
- Schiffman, E., Ohrbach, R., Truelove, E., Look, J., Anderson, G., & Dworkin, S. F. (2014). Diagnostic criteria for temporomandibular disorders (DC/TMD) for clinical and research applications. *Journal of Oral & Facial Pain and Headache*, 28(1), 6–27.
- Schilling, J., Gomes, L. C., Benavides, E., & Peck, C. C. (2021). Imaging of the temporomandibular joint: An update. *Dentomaxillofacial Radiology*, 50(2), 20200132. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20200132>

- Tanaka, E., & van Eijden, T. M. G. J. (2003). *Biomechanical behavior of the temporomandibular joint disc. Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 14(2), 138–150.
- Tanaka, E., & Detamore, M. S. (2021). Biomechanics of the temporomandibular joint: Implications for tissue degeneration and regeneration. *Journal of Dental Research*, 100(3), 243–252.
- Tanaka, E. (2021). Biomechanical and tribological properties of the temporomandibular joint: A narrative review. *Frontiers of Oral and Maxillofacial Medicine*, 3, 15. <https://doi.org/10.21037/fomm-20-83>
- Zhang, J., Wang, M., Liu, Z., & Chen, J. (2022). Finite element analysis of stress distribution in the temporomandibular joint under different loading conditions. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 25(9), 1012–1021.
- Zhang, J., Wang, L., Chen, J., & Liu, X. (2022). Three-dimensional finite element analysis of stress distribution in the temporomandibular joint under different loading conditions. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*.
- Zhao, W., Gan, D., Zhao, D., Liao, J., Zhou, H., Li, J., & Wu, J. (2025). *Finite element analysis of temporomandibular joint stress distribution during treatment with novel digital composite plates and invisible aligners*. BMC Oral Health. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-07384->
- Zhu, Y., Zhu, J., & Yin, D. (2024). Improved stomatognathic model for highly realistic finite element analysis of temporomandibular joint biomechanics. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 160, 106780. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2024.106780>

TEMPOROMANDİBULAR EKLEMDE BİYOMEKANİK HAREKETLER VE KLİNİK ÖNEMİ

İlhan ŞENGÜL

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0009-6753-0608
- ❖ Mail: dtisengul@gmail.com

1. GİRİŞ

Temporomandibular eklem (TME), mandibula ile temporal kemik arasında yer alan ve çiğneme, konuşma ile yutma gibi temel fonksiyonlarda görev alan karmaşık bir sinovyal eklemdir. Diğer sinovyal eklemlerden farklı olarak TME; fibrokartilajinöz artiküler yüzeylere sahip olması, artiküler disk içermesi ve hem rotasyonel hem de translasyonel hareketlere izin veren ginglimoartrodial yapısı ile özgün özellikler gösterir. Bu yapı, eklem fonksiyonel adaptasyonunu artırırken biyomekanik dengenin bozulmasına karşı duyarlılığını da beraberinde getirir (Bell, 1982; Okeson, 2020; Standring, 2016). Temporomandibular eklem, sağ ve sol eklemlerin fonksiyonel olarak birbirine bağımlı çalıştığı tek eklem sistemidir. Bu nedenle tek taraflı anatomik veya fonksiyonel değişiklikler dahi her iki eklemi etkileyebilmektedir. Eklem normal anatomisi ve biyomekanikliğinin doğru anlaşılması; temporomandibular eklem hastalıklarının etiyojisinin açıklanması, tanının doğru konulması ve uygun tedavi planlamasının yapılabilmesi açısından temel önem taşımaktadır (Schiffman ve ark., 2014). Anatomik olarak temporomandibular eklem; mandibular kondil, temporal kemiğin glenoid fossası ve artiküler eminensi, artiküler disk, eklem kapsülü, ligamentler ile vasküler ve sinirsel yapılardan oluşur. Bu yapıların her biri, eklem stabilitesinin sağlanması ve normal hareket açıklığının korunmasında rol oynar. Özellikle artiküler disk, kondil ile temporal kemik arasındaki yüklerin dengeli dağıtılmasında kritik bir bileşendir (Rees, 1954).

Bu bölümde, temporomandibular eklem normal anatomik yapıları ve biyomekanik özellikleri ele alınarak, klinik ve cerrahi uygulamalara temel oluşturacak genel bir çerçeve sunulması amaçlanmaktadır.

2. Temporomandibular Eklem'in Genel Özellikleri

Temporomandibular eklem (TME), mandibula ile temporal kemik arasında yer alan, çift taraflı ve fonksiyonel olarak birleşik bir sinovyal eklemdir. Anatomik olarak ayrı olmalarına rağmen sağ ve sol eklemler tek bir fonksiyonel ünite gibi çalışır. Bu nedenle bir eklemden oluşan patolojik değişiklikler karşı eklemi de etkileyebilir. Bu özellik, temporomandibular eklemi diğer sinovyal eklemlerden ayıran temel farklardan biridir (Schiffman ve ark., 2014). TME, ginglimoartrodial tipte bir eklem olup hem menteşe hem de kayma hareketlerine izin verir. Bu sayede ağız açma-kapama, protrüzyon, retrüzyon ve lateral hareketler koordineli biçimde gerçekleştirilebilir. Bu

hareketlerin uyumu, artiküler disk varlığı ve eklem boşluklarının fonksiyonel ayrımı ile yakından ilişkilidir (Bell, 1982; Okeson, 2020). Temporomandibular eklem artiküler yüzeyleri, hiyalin kıkırdak yerine fibrokartilaj ile örtülüdür. Bu yapı, çiğneme sırasında oluşan yüksek kuvvetlere karşı daha dirençli olup eklem adaptasyon kapasitesini artırır. Bu özellik, eklem yüzeylerinin uzun dönem korunmasına katkı sağlar (Standring, 2016; Okeson, 2020). Anatomik olarak temporomandibular eklem, artiküler disk tarafından ayrılan üst ve alt olmak üzere iki eklem boşluğuna sahiptir. Alt eklem boşluğu esas olarak rotasyonel hareketlerden, üst eklem boşluğu ise translasyonel hareketlerden sorumludur. Bu ayrım, temporomandibular eklem biyomekaniğinin temelini oluşturur (Hylander, 1997). Fonksiyon sırasında oluşan yükler, doğrudan kemik yüzeylere iletilmek yerine artiküler disk ve fibrokartilajın yapısı aracılığıyla dağıtılır. Bu yük paylaşımı, eklem yüzeylerinde aşırı stres birikimini önler ve eklem fonksiyonel bütünlüğünü korur. Ancak bu dengenin bozulması durumunda eklem içi yapılarda mikrotravmalar ve dejeneratif değişiklikler gelişebilir (Rees, 1954; Bell, 1982). Temporomandibular eklem; dişler, periodontal dokular, çiğneme kasları ve nöromusküler kontrol mekanizmaları ile birlikte stomatognatik sistemin bir parçası olarak çalışır. Bu sistem bileşenlerinden herhangi birinde meydana gelen bozukluklar, eklem biyomekaniğini etkileyerek klinik semptomlara yol açabilir. Bu nedenle temporomandibular eklem, izole bir yapıdan ziyade bütüncül bir sistem içerisinde değerlendirilmelidir (Schiffman ve ark., 2014).

3. Temporomandibular Eklem Anatomisi

Temporomandibular eklem (TME), fonksiyonel gereksinimlere uyum sağlayacak şekilde özelleşmiş kemik, fibrokartilajın ve yumuşak doku bileşenlerinden oluşur. Bu bileşenler arasındaki uyum, eklem stabilitesi ve fizyolojik hareket paternlerinin sürdürülmesi açısından kritiktir (Standring, 2016; Okeson, 2020).

3.1. Kemik Yapılar

TME'nin kemik bileşenleri mandibular kondil ve temporal kemiğin artiküler yüzeylerinden oluşur. Bu yapılar eklem yük taşıma kapasitesini, hareket yönünü ve biyomekaniğini belirleyen temel unsurlardır (Standring, 2016; Okeson, 2020).

3.1.1. Mandibular Kondil

Mandibular kondil, mandibula ramusunun süperior ucunda yer alan oval/elipsoid bir yapıdır ve eklem alt bileşenini oluşturur. Uzun eksen mediolateral yöndedir ve çoğu olguda anteriora doğru hafif açılanma gösterir. Kondil morfolojisi bireysel farklılıklar gösterebilir; fonksiyonel yüklenmeye bağlı olarak yaşam boyunca adaptif değişimler sergiler (Standring, 2016; Okeson, 2020). Kondilin artiküler yüzeyi hiyalin kıkırdak yerine fibrokartilaj ile örtülüdür. Fibrokartilaj, çiğneme sırasında ortaya çıkan basınç ve kayma kuvvetlerine karşı dayanıklılığı artırır; aşınmayı sınırlar ve remodelasyon kapasitesine katkı sağlar (Bell, 1982; Standring, 2016). Histolojik olarak kondil; fibröz tabaka, proliferatif tabaka, fibrokartilajinöz tabaka ve subkondral kemikten oluşur. Proliferatif tabaka, büyüme ve adaptasyonda belirgin rol oynadığı için kondili sekonder kıkırdak yapılar arasında özgün bir konuma taşır (Standring, 2016; Okeson, 2020). Kondilin medial ve lateral kutupları, stabilite ve hareket yönlendirilmesinde önemlidir. Medial kutup genellikle daha belirgindir ve translasyon sırasında artiküler eminens ile yakın ilişki içindedir; protrüzyon ve lateral hareketlerde yüklenme artar (Rees, 1954). Fonksiyonel olarak kondil, ağız açmanın erken fazında alt eklem boşluğunda rotasyon yapar; açmanın ilerleyen fazlarında superior eklem boşluğunda translasyon ile artiküler eminens boyunca anterior–inferior yönde ilerler. Bu çift fazlı patern TME biyomekaniğinin temelini oluşturur (Hylander, 1997). Kondilin morfolojisi ve pozisyonu ortognatik cerrahi, travma ve TME cerrahilerinde klinik açıdan kritiktir; pozisyon değişiklikleri postoperatif uyumsuzluklara ve semptomlara yol açabilir (Milorio ve ark., 2012).

3.1.2. Temporal Kemik (Glenoid Fossa ve Artiküler Eminens)

Temporal kemik, TME'nin üst bileşenidir ve kondil ile birlikte stabilite ile hareket yönünü belirler. Ekleme katılan yüzey, posterior glenoid fossa (mandibular fossa) ve anterior artiküler eminens olarak iki ana bölümden oluşur (Standring, 2016). Glenoid fossa, kondilin istirahat ve ağız kapalıyken yerleştiği konkav alandır. Posterior duvarı ince/kırılkan olup arkasındaki timpanik plak ve orta kulak komşuluğu nedeniyle cerrahi ve travma açısından hassastır (Milorio ve ark., 2012). Artiküler eminens, kondil-disk kompleksinin ağız açma sırasında anterior ve inferior yönde translasyon yaptığı konveks çıkıntıdır. Eminensin eğimi ve uzunluğu translasyon kapasitesini ve yük dağılımını etkiler (Hylander, 1997). Temporal kemiğin artiküler yüzeyleri de fibrokartilaj ile örtülüdür; tekrarlayan yüklenmelere

dayanıklılığı artırır ve dejeneratif değişiklikleri sınırlar (Standring, 2016). Eminens morfolojisindeki bireysel varyasyonlar hareket paterni ve predispozisyon açısından önem taşır; dik eğim yüklenmeyi artırabilir, daha düz yapı hareketi daha kontrollü kılabilir (Rees, 1954). Kondil–temporal kemik ilişkisi, artiküler disk aracılığıyla dinamik uyumla sürdürülür (Hylander, 1997). Cerrahi girişimlerde glenoid fossanın posterior sınırları ve eminensin komşulukları iatrojenik riskler açısından dikkatle değerlendirilmelidir (Miloró ve ark., 2012).

3.2. Artiküler Disk

Artiküler disk, kondil ile temporal kemiğin artiküler yüzeyleri arasında yer alan fibrokartilajinöz yapıdır; uyumu artırır, yük dağılımını düzenler ve stabil ilişkiyi destekler (Bell, 1982; Okeson, 2020). Disk bikonkavdır ve anterior bant, intermediate zon ve posterior banttandır. Posterior bant en kalın bölümdür; intermediate zon ise hareket sırasında en fazla yüklenmeye maruz kalan alandır (Wilkinson & Crowley, 2000). Diskin üst yüzeyi artiküler eminensin eğimine, alt yüzeyi kondilin konveksitesine uyumludur; bu çift yüzeyli uyum rotasyon ve translasyonun koordinasyonuna katkı sağlar (Wilkinson & Crowley, 2000). Histolojik olarak yoğun kollajen içerir; elastik lifler sınırlıdır. Santral bölge avasküler/aneural iken periferik bölge vasküler ve sinirsel açıdan zengindir; bu dağılım santral hasarlarda iyileşme potansiyelinin kısıtlılığını açıklar (Wilkinson & Crowley, 2000; Tanaka ve ark., 2008). Anterior bölgede disk, superior lateral pterygoid kas lifleri ile ilişkilidir ve açma/protrüzyon sırasında kondil ile birlikte anteriora taşınır. Posterior bölgede bilaminar zon (retrodiscal doku) yer alır; elastik lif, damar ve sinir içerikleri nedeniyle diskin fizyolojik pozisyona dönüşüne katkı sağlar (Wilkinson & Crowley, 2000). Disk, stresi geniş alana yayarak kemik yüzeylerdeki yoğunlaşmayı azaltır; disk pozisyon/yapı bozuklukları disk dislokasyonu, klik ve fonksiyon kısıtlılığı ile ilişkilidir (Wilkinson & Crowley, 2000). Cerrahide diskin anatomi ve fonksiyonunun bilinmesi; artroskopik girişimler ve açık eklem cerrahilerinde uzun dönem fonksiyonun korunması açısından önemlidir (Wilkinson & Crowley, 2000).

3.3. Eklem Kapsülü ve Sinovyal Membran

TME kapsülü, eklemi çevreleyen fibröz yapı olup stabiliteyi ve eklem içi yapıların korunmasını sağlar. Kondil boynundan temporal kemiğin artiküler yüzeylerine uzanarak eklem sınırlarını belirler (Standring, 2016; Okeson, 2020). Kapsül, dışta fibröz tabaka ve içte sinovyal membrandan oluşur. Fibröz tabaka kollajen açısından zengindir; lateral bölgede

kalınlaşarak temporomandibular (lateral) ligament ile bütünleşir ve aşırı hareketleri sınırlar (Bell, 1982; Okeson, 2020). Sinovyal membran vasküler bir dokudur; sinovyal sıvı üretimi ile lubrikasyon sağlar, sürtünmeyi azaltır ve disk/eklem yüzeylerinin beslenmesine katkıda bulunur. Üst ve alt eklem boşluklarını ayrı ayrı döşemesi biyomekanik açıdan önemlidir (Hylander, 1997). Kapsül anterior bölgede daha gevşek, posterior ve lateral bölgede daha kalındır; posterior kapsül retrodiscal dokularla yakın ilişkilidir (Wilkinson & Crowley, 2000). Sinovyal dokunun inflamasyona duyarlılığı, sinovit/kapsülit gibi patolojilerde ağrı ve kısıtlılığın temel kaynaklarından biridir (Tanaka ve ark., 2008).. Kapsülün elastik özellikleri translyasyon sırasında rehberlik eder; gevşeklik veya fibrozis hareket açıklığında artış ya da kısıtlılık oluşturabilir (Wilkinson & Crowley, 2000). Cerrahi uygulamalarda kapsüller anatomiye bilmek iatrojenik hasarı azaltır; özellikle lateral ve posterior bölgeler korunmalıdır (Tanaka ve ark., 2008).

3.4. Ligamentler

TME ligamentleri pasif stabilizatörlerdir; kondiler hareketleri fizyolojik sınırlar içinde tutarak aşırı/ kontrolsüz hareketleri önler. Başlıca ligamentler temporomandibular (lateral) ligament ile aksesuar sfenomandibular ve stilomandibular ligamentlerdir (Standring, 2016; Okeson, 2020).

3.4.1. Temporomandibular (Lateral) Ligament

Kapsülle bütünlük gösteren en güçlü ligamenttir. Zigomatik arkın inferiorundan başlayıp kondilin lateral-posterior yüzeyine uzanır; posterior ve inferior aşırı kondiler hareketleri sınırlar (Bell, 1982). Ağız açmada kondilin posterioara kaçmasını engelleyerek artiküler eminens boyunca kontrollü anterior translyasyona yön verir; retrodiscal dokuların aşırı gerilmesini azaltır ve travmaya karşı koruyucudur (Hylander, 1997).

3.4.2. Sfenomandibular Ligament

Sfenoid spina angularis'ten mandibula lingula'ya uzanır; Meckel kıkırdağı kalıntısı olarak kabul edilir. Gücü sınırlı olmakla birlikte mandibulanın aşırı depresyonunu sınırlar (Standring, 2016; Okeson, 2020). Klinik olarak inferior alveolar sinir bloğu ve mandibular cerrahide anatomik referans oluşturur (Milorio ve ark., 2012).

3.4.3. Stilomandibular Ligament

Stiloid çıkıntından mandibula angulus'a uzanan fibröz banttır; parotis bezinin derin servikal fasyasından türemiş olup aksesuar destek yapısı kabul edilir (Bell, 1982; Standring, 2016). Özellikle protrüzyonda mandibulanın aşırı anterior hareketini sınırlandırır; genel stabilizeye katkısı sınırlıdır (Okeson, 2020). Ligamentöz gevşeklik veya fibrozis, yük dağılımını ve hareket paternini bozarak instabilite ve fonksiyon bozukluğu ile sonuçlanabilir (Tanaka ve ark., 2008).

3.5. Temporomandibular Eklem Vasküler ve Sinirsel Yapıları

TME'nin vasküler ve sinirsel anatomisi, beslenme, duysal innervasyon ve cerrahi güvenlik açısından belirleyicidir (Standring, 2016; Okeson, 2020).

3.5.1. Vasküler Yapılar

Arteriyel beslenme esas olarak eksternal karotis arter dalları ile sağlanır; superficial temporal arter ve maxillary arter başlıca kaynaklardır. Bu damarların dalları kapsül, sinovyal membran ve periartiküler dokuları besler (Milorio ve ark., 2012). Kapsül ve sinovyal membran vasküler ağdan zengin, diskin santral bölgesi avaskülerdir; periferik bölge ise kapsül ve retrodiscal dokular üzerinden dolaylı beslenir (Wilkinson & Crowley, 2000). Venöz drenaj pterigoid venöz pleksus ve superficial temporal ven aracılığıyla gerçekleşir (Standring, 2016).

3.5.2. Sinirsel Yapılar

Duyusal innervasyon ağırlıklı olarak V3'ün dalı olan aurikulotemporal sinir ile sağlanır; kapsül, sinovyal membran ve periartiküler dokulardan duysal bilgi taşır. Yakın seyri, eklem ağrısının kulak ve temporal bölgeye yansımaları açıklar (Standring, 2016; Okeson, 2020). Masseterik ve derin temporal sinir dalları propriosepsiyona katkıda bulunarak çiğneme sırasında kas-eklem koordinasyonunu destekler (Hylander, 1997). Kapsül ve sinovyumdaki serbest sinir uçları inflamasyonda duyarlılığı artarak ağrı/hassasiyetin temelini oluşturur (Tanaka ve ark., 2008). Cerrahi girişimlerde özellikle aurikulotemporal sinirin korunması, postoperatif duyu bozukluklarını azaltmak açısından kritiktir (Milorio ve ark., 2012).

4. Temporomandibular Eklem Biyomekaniği

Temporomandibular eklem biyomekaniği, eklemi oluşturan anatomik bileşenlerin fonksiyonel hareketler sırasında birbiriyle kurduğu dinamik ilişkiyi ifade eder. TME, çiğneme sistemi içerisinde hem yüksek kuvvetlere maruz kalan hem de hassas koordinasyon gerektiren bir eklem olması nedeniyle, karmaşık bir biyomekanik düzenek şeklinde işlev görmektedir. Bu biyomekanik organizasyon, mandibulanın çok yönlü hareketlerini mümkün kılarken eklem içi yapıların korunmasına da katkı sağlar (Koolstra, 2018). TME biyomekaniğinin temelini, eklem boşlukları içerisinde gerçekleşen rotasyonel ve translasyonel hareketlerin uyumlu kombinasyonu oluşturmaktadır. Bu hareketlerin uygun zamanlama ve yönlendirme ile gerçekleşmesi, fizyolojik fonksiyonun sürdürülebilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Koriath & Hannam, 1994).

4.1. Eklem Hareket Tipleri

Temporomandibular eklemden meydana gelen hareketler temel olarak rotasyon ve translasyon olmak üzere iki ana grupta değerlendirilmektedir. Bu hareketler anatomik olarak farklı eklem boşluklarında gerçekleşmekte, fonksiyon sırasında ise birbiriyle koordineli şekilde çalışmaktadır (Hylander, 1997).

4.1.1. Rotasyon Hareketi

Rotasyon hareketi, mandibular kondilin inferior eklem boşluğu içerisinde gerçekleştirdiği menteşe tipi harekettir. Ağız açma hareketinin erken fazında baskın olan bu hareket sırasında kondil, sabit bir eksen etrafında döner. Rotasyon, ağız açıklığının genellikle ilk 20–25 mm’lik kısmından sorumlu kabul edilmektedir (Koolstra, 2018; Okeson, 2020). Bu fazda artiküler disk kondil ile birlikte hareket etmekte ve kondil–disk ilişkisi korunmaktadır. Rotasyonel hareketin fizyolojik sınırlar içerisinde ve düzgün biçimde gerçekleşmesi, özellikle erken ağız açma sırasında eklem içi yapıların aşırı gerilmesini önler. Bu mekanizmadaki bozulmalar klinik olarak ağız açma kısıtlılığı ve erken faz ağrısı ile ilişkilendirilmektedir (Koriath & Hannam, 1994).

4.1.2. Translasyon Hareketi

Translasyon hareketi, mandibular kondil ve artiküler diskin birlikte superior eklem boşluğu içerisinde artiküler eminens boyunca anterior ve inferior yönde kayması şeklinde gerçekleşir. Ağız açma hareketinin ilerleyen

safhalarında baskın hale gelen bu hareket, mandibulanın daha geniş bir açıklık kazanmasını sağlar (Hylander, 1997; Okeson, 2020). Translasyon sırasında kondil–disk kompleksi, artiküler eminensin eğimine uyum sağlayacak şekilde hareket eder. Eminensin morfolojisi ve eğim açısı, translasyon hareketinin yönünü ve eklem üzerine binen yük dağılımını doğrudan etkileyebilir. Bu nedenle artiküler eminensin anatomik varyasyonları, temporomandibular eklem biyomekaniklerinde belirleyici faktörler arasında değerlendirilmektedir (Rees, 1954; Koolstra, 2018).

4.1.3. Kombine Hareket Paterni

Fizyolojik ağız açma ve kapama hareketleri, saf rotasyon veya saf translasyon şeklinde değil; bu iki hareketin ardışık ve eş zamanlı kombinasyonu ile gerçekleşmektedir. Normal fonksiyon sırasında rotasyon ve translasyon arasında uyumlu bir geçiş söz konusudur. Bu biyomekanik uyum, eklem yüzeylerinde aşırı stres oluşmasını sınırlandırarak eklem uzun dönem fonksiyonel bütünlüğünün korunmasına katkıda bulunur (Korioth & Hannam, 1994; Murray ve ark., 2016). Bu kombine hareket paternindeki bozulmalar, kondil–disk ilişkisinde anormalliklere ve eklem içi yük dağılımında düzensizliklere yol açabilmektedir. Özellikle disk dislokasyonu ve dejeneratif eklem hastalıklarında, biyomekanik dengenin bozulduğu gösterilmiştir (Murray ve ark., 2016).

4.2. Ağız Açma ve Kapama Mekanizması

Ağız açma ve kapama hareketleri, temporomandibular eklem biyomekaniklerini en iyi yansıtan fonksiyonel hareketler arasında yer alır. Bu hareketler sırasında mandibular kondil, artiküler disk ve temporal kemik yüzeyleri arasında yüksek düzeyde koordinasyon gerekmektedir. Fizyolojik ağız açma–kapama süreci, alt ve üst eklem boşluklarında gerçekleşen rotasyonel ve translasyonel hareketlerin zamansal uyumu ile sağlanmaktadır (Hylander, 1997).

4.2.1. Ağız Açma Mekanizması

Ağız açma hareketinin erken fazında mandibular kondil, inferior eklem boşluğu içerisinde rotasyonel hareket gerçekleştirir. Bu süreçte kondil, artiküler disk ile birlikte sabit bir eksen etrafında döner ve ağız açıklığının ilk bölümü elde edilir. Rotasyonel hareketin eklem içi yapılarda minimal gerilme oluşturacak şekilde gerçekleşmesi, fizyolojik ağız açmanın temelini oluşturur (Koolstra, 2018). Ağız açmanın ilerleyen fazlarında rotasyonel harekete translasyonel hareket eşlik eder. Bu aşamada kondil–disk kompleksi, superior

eklem boşluğu içerisinde artiküler eminens boyunca anterior ve inferior yönde ilerler; böylece mandibula daha geniş bir açıklık kazanır. Artiküler eminens eğimi ve morfolojisi, bu hareketin yönünü ve eklem üzerine binen yük dağılımını doğrudan etkileyebilir (Hylander, 1997). Ağız açma sırasında artiküler disk kondil ile birlikte hareket ederek kondil–disk ilişkisinin korunmasını sağlar. Diskin posterior bağ dokuları (bilaminar zon), translasyon sırasında gerilerek diskin fizyolojik pozisyonunun sürdürülmesine katkıda bulunur. Bu yapıların elastik özellikleri, diskin kondil üzerinde stabil kalmasını desteklemektedir (Wilkinson & Crowley, 2000).

4.2.2. Ağız Kapama Mekanizması

Ağız kapama hareketi, ağız açmanın tersine işleyen ancak benzer düzeyde kontrollü bir süreçtir. Kapama sırasında kondil–disk kompleksi, artiküler eminens üzerinden posterior ve superior yönde geri hareket eder. Translasyonel hareketin ardından inferior eklem boşluğunda rotasyonel hareket gerçekleşir ve mandibula istirahat pozisyonuna döner (Hylander, 1997). Ağız kapama sırasında eklem içi yapıların uyumlu çalışması, kondil ve temporal kemik yüzeyleri arasında aşırı stres oluşmasını engeller. Artiküler diskin kondil ile senkronize hareket etmesi, eklem yüzeyleri arasındaki temasın fizyolojik sınırlar içerisinde kalmasını sağlar. Bu senkronizasyonun bozulması klinik olarak eklem sesi, takılma hissi ve ağrı gibi bulgularla ilişkilendirilmektedir (Tanaka ve ark., 2008).

4.2.3. Kas–Eklem İlişkisi

Ağız açma ve kapama mekanizmasında çiğneme kaslarının koordinasyonu belirleyici rol oynamaktadır. Ağız açma sırasında suprahoid kaslar ve lateral pterygoid kasın inferior başı aktif rol alırken; ağız kapama sırasında masseter, temporalis ve medial pterygoid kaslar devreye girer. Bu kas aktivitesi eklem biyomekaniği ile yakın ilişkilidir ve kas–eklem uyumunun bozulması temporomandibular eklem fonksiyonlarını olumsuz yönde etkileyebilir (Murray ve ark., 2016). Fonksiyonel açıdan değerlendirildiğinde, ağız açma ve kapama mekanizmasının fizyolojik biçimde işlemesi; kondil, disk, kapsül ve ligamentlerin bütünlüğüne bağlıdır. Bu bileşenler arasındaki biyomekanik dengenin korunması, temporomandibular eklemin uzun dönem sağlığı açısından temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir (Koolstra, 2018).

4.3. Protrüzyon ve Retrüzyon Hareketleri

Protrüzyon ve retrüzyon hareketleri, mandibulanın sagittal düzlemde öne ve arkaya doğru yer değiştirmesiyle karakterizedir. Bu hareketler sırasında temporomandibular eklemden her iki kondil senkronize biçimde translasyonel hareket gerçekleştirir ve eklem biyomekaniği ağırlıklı olarak superior eklem boşluğu düzeyinde şekillenir (Hylander, 1997).

4.3.1. Protrüzyon Hareketi

Protrüzyon, mandibulanın anterior yönde hareketi olup bu esnada her iki kondil ve artiküler disk birlikte artiküler eminens boyunca anterior ve inferior yönde translasyonel hareket gerçekleştirir. Protrüzyon sırasında rotasyonel hareket minimal düzeydedir; esas hareket translasyon karakterindedir. Bu nedenle protrüzyon, artiküler eminens morfolojisinin eklem biyomekaniği üzerindeki etkisini belirgin biçimde yansıtan hareketlerden biri olarak kabul edilmektedir (Koolstra, 2018). Protrüzyon sırasında kondil–disk kompleksinin eminens üzerindeki ilerleyişi, eklem içi yüklerin daha geniş bir yüzeye dağıtılmasına katkı sağlar. Diskin intermediate zonu, bu hareket sırasında kondil ile temporal kemik arasında temel temas bölgesi olarak görev yapar. Bu bölgedeki yapısal bozukluklar, protrüzyon sırasında ağrı ve fonksiyonel kısıtlılık ile ilişkilendirilmektedir (Tanaka ve ark., 2008). Kas aktivitesi açısından değerlendirildiğinde protrüzyon hareketinde bilateral lateral pterygoid kasların inferior başları primer rol oynar. Bu kasların simetrik ve dengeli aktivitesi kondillerin uyumlu translasyonunu desteklerken, asimetrik aktivite kondil–disk ilişkisinde bozulmalara neden olabilmektedir (Murray ve ark., 2016).

4.3.2. Retrüzyon Hareketi

Retrüzyon, mandibulanın istirahat veya protrüze pozisyonundan posterior yönde geri hareketidir. Bu hareket sırasında kondil–disk kompleksi, artiküler eminens üzerinden posterior ve superior yönde geri translasyon gerçekleştirir. Retrüzyon fizyolojik olarak sınırlı bir hareket olup posterior kapsüler ve ligamentöz yapılar tarafından kontrol altında tutulmaktadır (Bell, 1982). Retrüzyon sırasında temporomandibular ligament ve retrodiscal dokular önemli rol oynar. Bu yapılar, kondilin aşırı posterior yer değiştirmesini engelleyerek glenoid fossanın posterior duvarına yönelik aşırı basıncı sınırlar. Bu koruyucu mekanizmanın bozulması, özellikle travma veya ligamentöz gevşeklik durumlarında posterior eklem ağrısı ve fonksiyonel instabilite ile sonuçlanabilmektedir (Schiffman ve ark., 2014). Biyomekanik

açıdan protrüzyon ve retrüzyon hareketleri, temporomandibular eklemdeki adaptasyon kapasitesini yansıtır. Bu hareketler sırasında eklem içi yapıların uyumlu çalışması, kondil ve temporal kemik yüzeylerinde stres yoğunlaşmasının önlenmesi açısından önem taşır. Özellikle tekrarlayıcı protrüzif parafonksiyonlar, eklem biyomekaniğini olumsuz etkileyerek dejeneratif değişikliklerin gelişimine zemin hazırlayabilmektedir (Koolstra, 2018). Klinik ve cerrahi açıdan protrüzyon ve retrüzyon mekanizmasının doğru anlaşılması; oklüzal rehabilitasyon, ortognatik cerrahi planlama ve temporomandibular eklem cerrahilerinde kondil pozisyonunun korunması açısından önemlidir. Bu hareketlerin fizyolojik sınırlar içerisinde sürdürülmesi, uzun dönem eklem sağlığının korunmasına katkı sağlar (Milorio ve ark., 2012).

4.4. Lateral Hareketler

Lateral hareketler, mandibulanın frontal düzlemde sağa veya sola doğru gerçekleştirdiği fonksiyonel hareketler olup çiğneme fonksiyonunun temel bileşenleri arasında yer alır. Bu hareketler sırasında temporomandibular eklemde asimetrik ancak koordineli bir biyomekanik düzen söz konusudur. Lateral hareketler, çalışan taraf (working side) ve dengeleyen taraf (balancing side) olmak üzere iki farklı kondiler hareket paterni ile karakterizedir (Hylander, 1997).

4.4.1. Çalışan Taraf (Working Side)

Çalışan taraf, mandibulanın lateral hareket yönündeki tarafını ifade eder. Bu tarafta kondil esas olarak rotasyonel hareket gerçekleştirir ve minimal düzeyde lateral translasyon gösterebilir. Çalışan taraf kondili genellikle glenoid fossada daha stabil bir pozisyonda kalır ve bu durum çiğneme sırasında stabil bir destek noktası oluşturur (Koolstra, 2018). Çalışan tarafta rotasyonel hareket sırasında kondil-disk ilişkisi korunur ve eklem içi yükler nispeten daha sınırlı bir alanda yoğunlaşır. Bu stabilite, mandibulanın kontrollü lateral hareketini mümkün kılar. Çalışan taraf biyomekaniğinin bozulması eklem instabilitesi ve fonksiyonel rahatsızlıklarla ilişkilendirilmektedir (Hylander, 1997).

4.4.2. Dengeleyen Taraf (Balancing Side)

Dengeleyen taraf, mandibulanın lateral hareket yönünün karşı tarafını ifade eder. Bu tarafta kondil, artiküler eminens boyunca anterior, inferior ve medial yönde belirgin bir translasyonel hareket gerçekleştirir. Bu hareket paterni, dengeleyen taraf kondilinin daha geniş bir yol kat etmesine neden olur

ve biyomekanik açıdan daha fazla yüklenme ile ilişkilidir (Koolstra, 2018). Dengeleyen tarafta kondil–disk kompleksinin eminens üzerindeki hareketi sırasında disk intermediate zonu temel temas alanı olarak görev yapar. Bu bölgede meydana gelen yapısal veya fonksiyonel bozukluklar, lateral hareketler sırasında ağrı ve fonksiyonel kısıtlılık ile sonuçlanabilmektedir (Tanaka ve ark., 2008).

4.4.3. Bennett Hareketi

Bennett hareketi, lateral mandibular hareket sırasında çalışan taraf kondilinin gerçekleştirdiği lateral yer değiştirme olarak tanımlanmaktadır. Bu hareket, anlık (immediate) ya da kademeli (progressive) biçimde ortaya çıkabilmektedir. Bennett hareketinin miktarı ve yönü; temporomandibular eklem morfolojik özellikleri ile ligamentöz yapıların elastikiyetine bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup, bu parametrelerle yakın ilişki içerisinde (Korioth & Hannam, 1994). Lateral mandibular hareketler sırasında Bennett hareketi, oklüzal temasların düzenlenmesinde ve çiğneme fonksiyonunun etkinliğinin artırılmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Bununla birlikte, Bennett hareketinin aşırı düzeylerde olması, eklem içi yapılara binen yüklerin artmasına ve buna bağlı olarak biyomekanik dengenin bozulmasına yol açabilmektedir (Korioth & Hannam, 1994; Koolstra, 2018).

4.4.4. Klinik ve Biyomekanik Değerlendirme

Lateral mandibular hareketler esnasında çalışan ve dengeleyen taraf kondilleri arasında gözlenen biyomekanik farklılıklar, temporomandibular eklem adaptasyon kapasitesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bu adaptasyon mekanizmasının bozulması; özellikle parafonksiyonel alışkanlıkların ve oklüzal düzensizliklerin varlığında, eklem içi yük dağılımının asimetrik hale gelmesine neden olabilmektedir. Söz konusu durum, uzun dönemde temporomandibular eklem hastalıklarının gelişimi için predispozan bir zemin oluşturabilmektedir (Koolstra, 2018). Çene cerrahisi ve oklüzal rehabilitasyon uygulamalarında lateral mandibular hareketlerin doğru ve ayrıntılı biçimde değerlendirilmesi; kondil pozisyonunun korunması, cerrahi sonrası fonksiyonel uyumun sağlanması ve uzun dönem eklem stabilitesinin sürdürülebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Milorio ve ark., 2012; Okeson, 2020).

4.5. Çiğneme Sırasındaki Yük Dağılımı

Çiğneme fonksiyonu sırasında temporomandibular eklem; dişler ve çiğneme kasları tarafından oluşturulan yüksek kuvvetlerin iletimi ve

dağıtımında merkezi bir rol üstlenmektedir. Bu süreçte eklem üzerine etki eden yükler statik olmayıp, fonksiyonun farklı fazlarına ve mandibular hareket paternlerine bağlı olarak dinamik biçimde değişkenlik göstermektedir. Temporomandibular eklem biyomekaniği, bu yüklerin eklem yüzeyleri üzerinde dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlayacak biçimde organize olmuştur (Koolstra, 2018). Çiğneme sırasında ortaya çıkan kuvvetler öncelikle dişler aracılığıyla alveoler kemik ve mandibula gövdesine iletilmekte, ardından kondil–disk–temporal kemik kompleksi üzerinden kranial yapılarla paylaşılmaktadır. Artiküler disk, bu yük aktarım zincirinde kritik bir ara yapı olarak görev yapmakta; eklem yüzeyleri arasında doğrudan kemik temasını önleyerek stres yoğunlaşmasını sınırlamaktadır (Bell, 1982). Fonksiyonel yüklenme sırasında kondil üzerinde oluşan stres bölgeleri, çiğneme hareketinin yönüne ve tarafına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Çalışan tarafta kondil görece daha stabil bir konumda bulunurken, dengeleyen tarafta kondilin artiküler eminens boyunca translasyonel hareket gerçekleştirmesi nedeniyle daha yüksek yüklenmelere maruz kaldığı bildirilmektedir. Bu nedenle dengeleyen taraf kondili, biyomekanik açıdan daha hassas bir yapı olarak değerlendirilmektedir (Koolstra, 2018). Artiküler eminensin eğimi ve morfolojisi, çiğneme sırasında temporomandibular eklem üzerine binen yüklerin yönünü ve büyüklüğünü doğrudan etkilemektedir. Dik eğimli eminens yapılarında kondil üzerine etki eden kuvvetlerin daha konsantre hale geldiği, daha düz eğimli eminenslerde ise yüklerin daha geniş bir yüzeye yayıldığı belirtilmektedir. Bu anatomik varyasyonlar, bireyler arasında temporomandibular eklem hastalıklarına yatkınlığın farklılık göstermesini açıklayan faktörler arasında yer almaktadır (Rees, 1954; Okeson, 2020). Kas aktivitesi de çiğneme sırasında eklem yük dağılımında belirleyici bir rol oynamaktadır. Masseter, temporalis ve medial pterygoid kasların koordineli aktivitesi, kuvvetlerin fizyolojik sınırlar içerisinde iletilmesini sağlamaktadır. Buna karşın parafonksiyonel alışkanlıklar, özellikle brüksizm, eklem üzerine binen yüklerin artmasına ve fizyolojik adaptasyon sınırlarının aşılmasına neden olabilmektedir. Bu durum, eklem içi yapılarda mikrotravmaların oluşması ve uzun dönemde dejeneratif değişikliklerin gelişimi ile ilişkilendirilmektedir (Tanaka ve ark., 2008; Murray ve ark., 2016). Temporomandibular eklem, çiğneme sırasında ortaya çıkan tekrarlayıcı yüklenmelere karşı belirgin bir adaptasyon kapasitesine sahiptir. Kondil ve temporal kemik yüzeylerinde gözlenen remodelasyon süreçleri, bu yüklenmelere karşı gelişen fizyolojik yanıtlar olarak kabul edilmektedir. Ancak yüklerin büyüklüğü, yönü ya da süresi fizyolojik sınırların üzerine çıktığında, adaptasyon mekanizmaları yetersiz kalmakta ve patolojik süreçler

ortaya çıkmaktadır (Koolstra, 2018). Klinik ve cerrahi açıdan değerlendirildiğinde, çiğneme sırasındaki yük dağılımının doğru şekilde anlaşılması; oklüzal düzenlemeler, protetik rehabilitasyonlar, ortognatik cerrahi ve temporomandibular eklem cerrahileri sonrasında kondil pozisyonunun korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Uygun biyomekanik yüklenmenin sağlanması, temporomandibular eklem uzun dönem fonksiyonel başarısının temel belirleyicilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Miloró ve ark., 2012).

5. Temporomandibular Eklemde Adaptasyon ve Remodelasyon

Temporomandibular eklem (TME), fonksiyon sırasında maruz kaldığı değişken mekanik yüklenmelere karşı belirgin bir adaptasyon ve remodelasyon kapasitesine sahip dinamik bir eklem yapısıdır. Bu özellik, eklem çigneme, konuşma ve parafonksiyonel aktiviteler sırasında oluşan streslere uyum sağlamasını mümkün kılmaktadır. Adaptasyon sürecinin fizyolojik sınırlar içerisinde gerçekleşmesi eklem fonksiyonunun sürekliliğini desteklerken, bu sınırların aşılması durumunda patolojik remodelasyon ve dejeneratif değişiklikler ortaya çıkabilmektedir (Hansson ve ark., 1977). TME’de adaptasyon süreci başlıca kondiler kemik, artiküler disk ve temporal kemiğin artiküler yüzeylerinde meydana gelen yapısal değişiklikleri kapsamaktadır. Kondiler kemik, özellikle subkondral bölgede remodelasyona yatkın olup, fonksiyonel yüklenmeye yanıt olarak kemik yapım ve yıkım süreçleri arasında dinamik bir denge kurmaktadır. Bu süreç, Wolff kanunu doğrultusunda mekanik stresin yönü ve büyüklüğüne bağlı olarak şekillenmektedir (Hansson ve ark., 1977; Standring, 2016). Artiküler yüzeylerin fibrokartilajinöz yapısı, adaptasyon sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Fibrokartilaj dokunun, hiyalin kıkırdağa kıyasla daha yüksek yenilenme kapasitesine sahip olması ve tekrarlayıcı yüklenmelere karşı daha dirençli olması, temporomandibular eklem fonksiyonel sürekliliğini destekleyen temel faktörler arasında gösterilmektedir (Benjamin & Ralphs, 1998). Artiküler disk de adaptasyon sürecine aktif olarak katılmaktadır. Normal biyomekanik koşullar altında disk, yük dağılımını optimize ederek eklem yüzeylerini koruyucu bir işlev görmektedir. Ancak diskin pozisyonunda ya da yapısında meydana gelen bozukluklar, yüklerin kondil ve temporal kemik üzerine anormal biçimde aktarılmasına yol açmaktadır. Bu durum, özellikle disk dislokasyonu varlığında kondiler remodelasyonun patolojik yönde ilerlemesine zemin hazırlayabilmektedir (Mercuri &

Alstergren, 2020). Remodelasyon süreci; yaş, fonksiyonel alışkanlıklar ve sistemik faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Genç bireylerde adaptasyon kapasitesi daha yüksek olup fizyolojik remodelasyon daha etkin şekilde gerçekleşirken, ileri yaşlarda bu kapasite azalmakta ve dejeneratif değişikliklerin gelişme riski artmaktadır. Ayrıca bruksizm gibi parafonksiyonel alışkanlıklar, eklem üzerine binen yükleri artırarak adaptasyon sınırlarının aşılmasına neden olabilmektedir (Murray ve ark., 2016; Mercuri & Alstergren, 2020). Klinik açıdan değerlendirildiğinde, adaptasyon ve remodelasyon süreçlerinin doğru yorumlanması temporomandibular eklem hastalıklarının tanı ve tedavi planlamasında kritik öneme sahiptir. Görüntüleme yöntemleriyle saptanan kondiler şekil değişikliklerinin her zaman patolojik kabul edilmemesi, bu değişikliklerin fizyolojik adaptasyon mu yoksa dejeneratif remodelasyon mu olduğunun klinik bulgularla birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Kamelchuk & Major, 1995). Çene cerrahisi uygulamalarında adaptasyon ve remodelasyon bilgisi, özellikle ortognatik cerrahi sonrası kondil pozisyonunun korunması ve postoperatif stabilitenin sağlanması açısından önem taşımaktadır. Cerrahi sonrasında kondil üzerine etki eden yeni yük dağılımı, remodelasyon sürecini tetikleyerek uzun dönem eklem fonksiyonunu doğrudan etkileyebilmektedir (Mercuri & Alstergren, 2020).

Sonuç olarak temporomandibular eklem, fonksiyonel gereksinimlere uyum sağlayabilen yüksek adaptasyon kapasitesine sahip bir eklem olmakla birlikte, bu kapasitenin aşılması durumunda patolojik süreçler kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu nedenle fizyolojik adaptasyon ile patolojik remodelasyon arasındaki ayrımın doğru yapılması, temporomandibular eklem biyomekaniklerinin anlaşılmasında temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir (Kamelchuk & Major, 1995).

6. Klinik ve Cerrahi Açıdan Anatomik-Biyomekanik Değerlendirme

Temporomandibular eklemin anatomik ve biyomekanik özelliklerinin doğru şekilde anlaşılması, klinik tanı sürecinden cerrahi tedavi planlamasına kadar uzanan geniş bir yelpazede belirleyici rol oynamaktadır. Temporomandibular eklem (TME), fonksiyonel yüklenmelere karşı yüksek bir adaptasyon kapasitesine sahip olmakla birlikte, bu kapasitenin aşılması durumunda klinik semptomların ortaya çıkması ve yapısal bozuklukların gelişmesi kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu nedenle anatomik varyasyonlar ile biyomekanik prensiplerin birlikte değerlendirilmesi, temporomandibular

eklem hastalıklarının etkin yönetiminde temel bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Schiffman ve ark., 2014; Okeson, 2020). Klinik pratikte temporomandibular eklem değerlendirilmesi, yalnızca ağrı veya hareket kısıtlılığı gibi semptomlara odaklanmakla sınırlı tutulmamalı; kondil pozisyonu, disk-kondil ilişkisi ve eklem hareket paternleri bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmalıdır. Özellikle kondilin glenoid fossa içerisindeki konumu ve artiküler eminens ile olan ilişkisi, eklem biyomekaniğinin değerlendirilmesinde anahtar parametreler arasında yer almaktadır (Mercuri & Alstergren, 2020). Cerrahi açıdan değerlendirildiğinde, TME'ye yönelik girişimlerde anatomik detaylara hâkimiyet büyük önem taşımaktadır. Artrosentez ve artroskopi gibi minimal invaziv girişimlerde; eklem boşluklarının sınırları, kapsül kalınlığı ile vasküler ve sinirsel yapıların seyri bilinmeden gerçekleştirilen müdahaleler ciddi komplikasyonlara yol açabilmektedir. Özellikle aurikulotemporal sinirin anatomik seyri ve superficial temporal arterin dalları, cerrahi sırasında dikkatle korunması gereken kritik yapılar arasında yer almaktadır (Holmlund ve ark., 1989). Açık eklem cerrahilerinde (disk repozisyonu, disektomi ve artroplasti) biyomekanik prensipler cerrahi başarının temel belirleyicilerindendir. Artiküler diskin korunması ya da uygun şekilde yeniden konumlandırılması, kondil-disk-eminens uyumunun yeniden sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Aksi halde cerrahi sonrası dönemde eklem biyomekaniği bozulmakta ve fonksiyonel sonuçlar olumsuz yönde etkilenebilmektedir (Dimitroulis, 2018). Ortognatik cerrahi uygulamalarında da temporomandibular eklem biyomekaniği ayrı bir önem taşımaktadır. Cerrahi sonrasında mandibular pozisyonun değişmesi, kondil üzerine binen yüklerin yönünü ve büyüklüğünü doğrudan etkilemektedir. Kondil pozisyonunun intraoperatif ve postoperatif dönemde yeterince korunamaması, adaptasyon sınırlarının aşılmasına ve temporomandibular eklem semptomlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Wolford & Perez, 1989). Protetik ve oklüzal rehabilitasyon süreçlerinde de temporomandibular eklem biyomekaniği göz önünde bulundurulmalıdır. Oklüzal temasların yeniden düzenlenmesi sırasında, çalışan ve dengeleyen taraf kondilleri üzerindeki yük dağılımının dengelenmesi hedeflenmelidir. Aksi takdirde, özellikle dengeleyen taraf kondilinde artan yüklenmeler uzun dönemde dejeneratif değişikliklerin gelişimine zemin hazırlayabilmektedir (Koolstra, 2018).

Sonuç olarak klinik ve cerrahi uygulamalarda temporomandibular eklem anatomik ve biyomekanik özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi, tedavi başarısının artırılması ve uzun dönem fonksiyonel stabilitenin

sağlanması açısından vazgeçilmez bir unsurdur. Bu yaklaşım, semptom odaklı yaklaşımların ötesine geçerek mekanizma temelli bir tedavi anlayışının temelini oluşturmaktadır (Dimitroulis, 2018).

7. SONUÇ

Temporomandibular eklem, karmaşık anatomik yapısı ve biyomekanik işleyişi ile stomatognatik sistemin dinamik bir bileşenidir. Normal fonksiyon; hareket uyumu, dengeli yük dağılımı ve dokuların adaptasyon kapasitesine bağlıdır. Fizyolojik adaptasyon ile patolojik remodelasyonun doğru ayırt edilmesi, tanı ve tedavi başarısının temelini oluşturur. Klinik ve cerrahi uygulamalarda biyomekanik prensiplerin korunması, uzun dönem fonksiyonel stabilite açısından vazgeçilmezdir.

KAYNAKLAR

- Bell, W. E. (1982). *Clinical management of temporomandibular disorders*. Year Book Medical Publishers.
- Benjamin, M., & Ralphs, J. R. (1998). Fibrocartilage in tendons and ligaments—An adaptation to compressive load. *Journal of Anatomy*, 193(4), 481–494.
- Dimitroulis, G. (2018). TMJ surgery: Indications and outcomes. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*.
- Hansson, T., Solberg, W. K., Penn, M. K., & Oberg, T. (1977). Temporomandibular joint changes in young adults. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 38(4), 386–393.
- Holmlund, A., Axelsson, S., & Gynther, G. (1989). Arthroscopic findings in the temporomandibular joint correlated with tomography and clinical findings. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 47(10), 1045–1052.
- Hylander, W. L. (1997). Functional anatomy of the temporomandibular joint. In C. McNeill (Ed.), *Science and practice of occlusion* (pp. 55–82). Quintessence.
- Kamelchuk, L. S., & Major, P. W. (1995). Degenerative disease of the temporomandibular joint. *Journal of Orofacial Pain*, 9(2), 168–180.
- Koolstra, J. H. (2018). Biomechanics of the human mandible. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*.
- Korioth, T. W., & Hannam, A. G. (1994). Effect of bilateral asymmetric tooth clenching on load distribution at the temporomandibular joints. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 71(4), 397–402.

- Mercuri, L. G., & Alstergren, P. (2020). Osteoarthritis of the TMJ. *Journal of Oral Rehabilitation*.
- Miloro, M., Ghali, G. E., Larsen, P. E., & Waite, P. D. (2012). *Peterson's principles of oral and maxillofacial surgery* (3rd ed.). PMPH-USA.
- Murray, G. M., et al. (2016). Pain and motor control of the jaw muscles. *Journal of Oral Rehabilitation*.
- Okeson, J. P. (2020). *Management of temporomandibular disorders and occlusion* (8th ed.). Elsevier.
- Rees, L. A. (1954). The structure and function of the mandibular joint. *British Dental Journal*, 96, 125–133.
- Schiffman, E., et al. (2014). Diagnostic criteria for temporomandibular disorders (DC/TMD). *Journal of Oral & Facial Pain and Headache*, 28(1), 6–27.
- Standring, S. (Ed.). (2016). *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice* (41st ed.). Elsevier.
- Tanaka, E., Detamore, M. S., & Mercuri, L. G. (2008). Degenerative disorders of the temporomandibular joint. *Journal of Dental Research*, 87(4), 296–307.
- Wilkinson, T. M., & Crowley, C. M. (2000). Anatomy of the temporomandibular joint. In R. J. Fonseca (Ed.), *Oral and maxillofacial surgery* (pp. 17–35). Saunders.
- Wolford, L. M., & Perez, D. E. (1989). Surgical management of internal derangement of the temporomandibular joint. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 47(6), 598–610.

ORTODONTİDE FRAKTAL ANALİZ: TEORİK TEMELLER, GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ VE KLİNİK UYGULAMALAR

Mehmet Alper UZEL

- ❖ Kurum Bilgisi: Ortodonti, Diş Hekimliği Fakültesi, Batman Üniversitesi, Batman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-3872-0973
- ❖ Mail: dralperuzel@gmail.com

1.GİRİŞ

Dental ekstrüzyon, alveolar kemik içerisindeki bir dişin koronal yönde hareket ettirilmesi olarak tanımlanır ve özellikle klinik kronunun büyük bölümünü kaybetmiş, subgingival kırık veya çürük nedeniyle yapısal olarak ciddi şekilde hasar görmüş dişlerin rehabilitasyonunda başvurulacak önemli bir tedavi seçeneğidir. Bu yaklaşım, biyolojik genişliğin korunması ve yeterli ferrule etkisinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir (Cordaro ve ark., 2021).

Biyolojik genişlik kavramı, dişeti oluşu tabanı ile alveolar kemik krestleri arasındaki suprakrestal doku ataşmanını ifade eder ve restoratif başarımın temel belirleyicilerinden biridir. Bu alanın ihlali periodontal inflamasyona, ataşman kaybına ve kemik rezorpsiyonuna yol açabilmektedir. Güncel sınıflamalarda biyolojik genişlik, “suprakrestal doku ataşmanı” olarak tanımlanmaktadır (Jepsen ve ark., 2018).

Benzer şekilde ferrule etkisi, restoratif dayanıklılık açısından kritik bir faktördür ve en az 1.5–2 mm’lik sağlıklı dentin yapısının restorasyon sınırları üzerinde çevresel olarak bulunması kırılma direncini anlamlı şekilde artırmaktadır (Juloski ve ark., 2012).

Bu biyolojik ve restoratif gerekliliklerin sağlanmasında ortodontik ekstrüzyon ve cerrahi ekstrüzyon iki temel tedavi yaklaşımıdır (Gonzalez-Martin ve ark., 2020). Ortodontik ekstrüzyon kontrollü kuvvetlerle kademeli kemik adaptasyonu sağlarken, cerrahi ekstrüzyon daha hızlı ancak travmatik bir repositioning yaklaşımıdır (Cordaro ve ark., 2021).

Her iki yöntemde de alveolar kemikte remodelasyon ve trabeküler reorganizasyon meydana gelir. Bu mikromorfolojik değişimlerin nicel olarak değerlendirilmesi klinik iyileşme paterninin anlaşılması açısından önemlidir. Geleneksel radyografik değerlendirmeler kemik yoğunluğunu subjektif olarak yorumlamaya dayanırken, fraktal analiz (FA) trabeküler kemik mimarisini matematiksel olarak sayısallaştırabilen objektif bir yöntem sunmaktadır (Kato ve ark., 2020).

Bu bölümde fraktal analizin teorik temelleri açıklanacak ve ortodontideki klinik uygulamaları güncel literatür ışığında değerlendirilecektir.

2. Fraktal Analizin Teorik Temelleri

2.1. Fraktal Geometri ve Kemik Dokusu

Fraktal geometri, düzensiz ve karmaşık yapıların matematiksel olarak tanımlanmasını sağlayan bir yaklaşımdır. Trabeküler kemik, dallanmış ve çok ölçekli organizasyonu nedeniyle fraktal özellik gösteren biyolojik yapılardan biridir (Sanchez ve Uzcategui, 2011).

Trabeküler kemik yapısı farklı büyüme seviyelerinde benzer organizasyon paternleri sergileyerek “kendine benzerlik” özelliği gösterir. Bu özellik, kemik dokusunun fraktal analiz ile incelenmesini mümkün kılmaktadır (Kato ve ark., 2020).

2.2. Fraktal Boyut (Fractal Dimension – FD)

Fraktal analizde temel parametre fraktal boyuttur (FD). FD, incelenen yapının geometrik karmaşıklığını ve mekânsal organizasyon derecesini yansıtan sayısal bir değerdir. Dental radyografilerde trabeküler kemik için FD değeri genellikle 1 ile 2 arasında değişmektedir (White ve Rudolph, 1999).

FD değerinin artması trabeküler kompleksitenin ve organizasyon derecesinin artışı ile ilişkilendirilirken; azalması trabeküler kayıp veya rezorptif süreçleri düşündürülebilir (Soltani ve ark., 2021).

Ancak FD’nin doğrudan kemik mineral yoğunluğunu ölçmediği vurgulanmalıdır. FD, kemik dokusunun mikro-mimari düzenlenmesini yansıtan dolaylı bir göstergedir. Kemik dokusunun mekanik adaptasyon modeli, Weinans ve arkadaşlarının adaptif remodelasyon teorisi ile açıklanmakta olup, kemik yüklenmeye yanıt olarak yapısal reorganizasyon göstermektedir (Weinans ve ark., 1992).

2.3. Box-Counting Yöntemi ve Dijital Görüntü Analizi

Diş hekimliğinde fraktal analiz uygulamaları büyük ölçüde White ve Rudolph’un tanımladığı yöntem temel alınarak geliştirilmiştir (White ve Rudolph, 1999). Bu yöntemde:

- Seçilen ilgi alanı (ROI) belirlenir,
- Görüntü bulanıklaştırma ve çıkarma işlemleri uygulanır,
- İkili (binary) görüntü elde edilir,
- Kare ızgara (box-counting) yöntemi ile fraktal boyut hesaplanır.

Günümüzde bu analizler çoğunlukla ImageJ yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Schneider ve ark., 2012).

Dijital radyografi sistemleri yüksek çözünürlük ve veri kaybının önlenmesi açısından fraktal analiz için avantaj sağlamaktadır (Chen ve ark., 2005).

2.4. Wolff Yasası ve Ortodontik Kuvvetlere Yanıt

Kemik dokusunun mekanik yüklere verdiği adaptif yanıt Wolff Yasası ile açıklanır (Frost, 2004). Ortodontik kuvvet uygulamaları alveolar kemikte gerilim ve basınç alanları oluşturarak osteoblastik ve osteoklastik aktiviteyi tetikler.

Ortodontik ekstrüzyon sırasında periodontal ligament lifleri aracılığıyla alveolar kemikte kemik appozisyonu meydana gelir. Cerrahi ekstrüzyonda ise kan pıhtısı organizasyonu ve sekonder kemik oluşumu söz konusudur (Plotino ve ark., 2020).

Bu biyolojik süreçler trabeküler yapının organizasyonunda değişime yol açar ve bu değişimler fraktal analiz ile nicel olarak izlenebilir.

3.Diş Hekimliğinde Fraktal Analizin Gelişimi

Fraktal analiz, diş hekimliğinde ilk olarak trabeküler kemik yapısındaki değişimlerin radyografik olarak nicel değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. White ve Rudolph (1999), osteoporotik hastalarda çene kemiklerinin trabeküler yapısındaki değişiklikleri fraktal boyut ölçümü ile analiz ederek dental radyografilerde fraktal analiz kullanımının öncülüğünü yapmışlardır. Bu çalışma, fraktal boyutun kemik yapısındaki mikromorfolojik değişimleri yansıtabilen bir parametre olduğunu göstermiştir.

Takiben yapılan sistematik derlemeler, fraktal analizin dental görüntülerde kemik kalitesinin değerlendirilmesinde güvenilir ve tekrarlanabilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur (Kato ve ark., 2020). Özellikle panoramik ve periapikal radyografiler üzerinden yapılan analizlerin, invaziv olmayan ve düşük dozlu bir değerlendirme yöntemi sunması klinik uygulama açısından önemli avantaj sağlamaktadır.

3.1. Periodontolojide Fraktal Analiz

Periodontal hastalıklarda alveolar kemik kaybının erken evrede saptanması klinik açıdan kritik öneme sahiptir. Soltani ve ark. (2021), periapikal radyografiler üzerinde yaptıkları fraktal analiz çalışmasında, periodontitis hastalarında trabeküler kemik yapısında anlamlı değişiklikler olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, fraktal boyut analizinin rutin radyografiler üzerinden periodontal kemik değişimlerini erken dönemde saptamada yardımcı olabileceğini ortaya koymuştur.

Ayrıca biyolojik genişlik ihlali ve restoratif marjinlerin periodontal doku ile ilişkisi üzerine yapılan çalışmalar, kemik-dişeti etkileşiminin mikromimari düzeyde değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır (Jepsen ve ark., 2018). Bu bağlamda fraktal analiz, restoratif ve periodontal tedavilerin kemik üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde potansiyel bir araç olarak değerlendirilmektedir.

3.2. İmplantolojide Fraktal Analiz

İmplant tedavisinde osseointegrasyonun değerlendirilmesi ve implant başarısının öngörülmesi açısından kemik kalitesi önemli bir parametredir. Wilding ve ark. (1995), implant yerleştirilmesi sonrası alveolar kemikte meydana gelen remodelasyonun fraktal analiz ile gösterilebileceğini bildirmiştir. Daha yakın tarihli çalışmalarda ise fraktal boyutun implant stabilitesi ile korele olabileceği gösterilmiştir (Soylu ve ark., 2021)

Bu bulgular, fraktal analiz yönteminin implant sahasının değerlendirilmesinde ve primer stabilitenin dolaylı olarak öngörülmesinde kullanılabileceğini düşündürmektedir. Özellikle implant yerleştirme öncesinde kemik mikro-mimarisinin değerlendirilmesi, tedavi planlamasında önemli bir avantaj sağlayabilir.

3.3. Sistemik Hastalıklar ve Kemik Değişimleri

Fraktal analiz yalnızca lokal dental patolojilerde değil, sistemik hastalıklara bağlı kemik değişimlerinin değerlendirilmesinde de kullanılmıştır. Örneğin osteogenezis imperfekta hastalarında panoramik radyografiler üzerinde yapılan fraktal analiz çalışmaları, sistemik kemik metabolizmasının mandibular trabeküler yapı üzerine etkilerini ortaya koymuştur. Benzer şekilde diyabet gibi metabolik hastalıklarda mandibular kemik değişimlerinin fraktal analiz ile değerlendirildiği bildirilmektedir.

Bu çalışmalar, fraktal boyutun yalnızca lokal tedavi yanıtını değil, sistemik kemik metabolizmasının çene kemikleri üzerindeki etkisini de yansıtabileceğini göstermektedir.

4.Ortodontide Fraktal Analizin Klinik Uygulamaları

Ortodontik tedavi sürecinde alveolar kemikte sürekli bir remodelasyon meydana gelir. Mekanik kuvvet uygulamaları periodontal ligament üzerinden kemik dokusuna iletilerek rezorpsiyon ve appozisyon süreçlerini başlatır. Bu biyomekanik süreçlerin radyografik yansıması trabeküler organizasyondaki değişimlerdir.

4.1. Fonksiyonel Aparey Tedavileri

Fonksiyonel ortodontik tedaviler özellikle mandibular adaptasyon ve kemik remodelasyonu açısından önemli değişikliklere yol açmaktadır. Cesur ve ark. (2020), fonksiyonel ortodontik tedavi sonrası mandibular trabeküler yapıda fraktal boyut artışı olduğunu bildirmiştir. Bu artış, artmış osteoblastik aktivite ve kemik reorganizasyonu ile ilişkilendirilmiştir.

Benzer şekilde Arslan ve ark. (2022), reverse headgear tedavisi sonrası mandibular trabeküler yapıda anlamlı değişiklikler olduğunu göstermiştir. Bu çalışmalar, ortodontik kuvvetlerin yalnızca diş hareketine değil, aynı zamanda kemik mikro-mimarisine de etki ettiğini ortaya koymaktadır.

4.2. Midpalatal Sütür Maturasyonu

Hızlı maksiller genişletme (RME) tedavisinde midpalatal süturun maturasyon düzeyi tedavi başarısını doğrudan etkilemektedir. Darawsheh ve ark. (2023), fraktal analiz yönteminin midpalatal sütür maturasyonunun nicel değerlendirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu yaklaşım, özellikle cerrahi destekli genişletme endikasyonunun belirlenmesinde yardımcı olabilir.

4.3. Ortognatik Cerrahi Sonrası Kemik İyileşmesi

Ortognatik cerrahi sonrası kemik iyileşmesinin değerlendirilmesi, stabilite ve relaps riskinin öngörülmesi açısından önemlidir. Muftuoğlu ve Karasu (2024), ortognatik cerrahi sonrası mandibular kondil ve angulus bölgesindeki kemik iyileşmesini fraktal analiz ile incelemiş ve zamanla artan fraktal boyut değerleri bildirmiştir. Bu bulgular, kemik reorganizasyonunun fraktal analiz ile izlenebileceğini göstermektedir.

4.4. Dental Ekstrüzyon ve Kemik Remodelasyonu

Ortodontik ve cerrahi ekstrüzyon sonrası alveolar kemikte farklı biyolojik mekanizmalarla iyileşme gerçekleşmektedir (Cordaro ve ark., 2021). Ortodontik ekstrüzyon sırasında periodontal ligament lifleri aracılığıyla kemik appozisyonu gözlenirken, cerrahi ekstrüzyonda kan pıhtısının organizasyonu ve sekonder kemik oluşumu söz konusudur (Plotino ve ark., 2020).

Bu farklı iyileşme paternlerinin trabeküler mikro-mimari üzerindeki etkileri fraktal analiz ile nicel olarak değerlendirilebilir. Böylece restoratif rehabilitasyonun zamanlaması biyolojik iyileşme paternine göre planlanabilir.

5. Görüntüleme Yöntemleri ve Fraktal Analiz Protokolü

Fraktal analiz, radyografik görüntüler üzerinden trabeküler kemik mikro-mimarisinin nicel olarak değerlendirilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemin güvenilirliği, kullanılan görüntüleme tekniğinin kalitesine, standardizasyonuna ve görüntü işleme adımlarının doğru uygulanmasına bağlıdır.

5.1. Kullanılan Görüntüleme Yöntemleri

5.1.1. Periapikal Radyografiler

Periapikal radyografiler, yüksek çözünürlükleri ve detaylı trabeküler yapı gösterimleri nedeniyle fraktal analiz için en uygun iki boyutlu görüntüleme yöntemlerinden biridir (White ve Rudolph, 1999; Chen ve ark., 2005). Dijital sistemlerin kullanımı veri kaybını azaltmakta ve görüntü işleme sürecini kolaylaştırmaktadır.

Periapikal radyografilerin avantajları:

- Yüksek uzaysal çözünürlük
- Düşük radyasyon dozu
- ALARA prensibine uygunluk (Berkhout, 2015)
- Klinik rutinde zaten mevcut olmaları

Bu özellikler, fraktal analizi ek bir radyasyon yükü oluşturmada uygulanabilir hale getirmektedir.

5.1.2. Panoramik Radyografiler

Panoramik radyografiler geniş anatomik alanı göstermesi açısından avantajlıdır. Mandibular indeksler ve fraktal analiz birlikte kullanılarak sistemik kemik değişimleri değerlendirilebilmektedir.

Ancak panoramik görüntülerde distorsiyon ve daha düşük çözünürlük nedeniyle fraktal analiz sonuçlarının dikkatli yorumlanması gerekmektedir.

5.1.3. CBCT ve Üç Boyutlu Değerlendirme

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT), kemik yapısının üç boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak tanınması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Özellikle kortikal ve trabeküler kemik ayrımının daha net yapılabilmesi, kemik mikro-mimarisinin daha detaylı incelenmesine imkân vermektedir. Bununla birlikte CBCT'nin daha yüksek radyasyon dozu, artefakt oluşma riski ve artmış maliyeti gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenlerle fraktal analiz uygulamaları çoğunlukla rutin iki boyutlu radyografiler üzerinden gerçekleştirilmekte ve radyasyon güvenliği açısından ALARA ilkesi gözetilmektedir (Berkhout, 2015).

5.2. Fraktal Analiz Protokolü

Fraktal analiz uygulamaları büyük ölçüde White ve Rudolph (1999) tarafından tanımlanan temel prensiplere dayanır. Günümüzde bu analizler çoğunlukla ImageJ yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Schneider ve ark., 2012).

5.2.1. İlgi Alanı (ROI) Seçimi

İlk adım analiz edilecek bölgenin belirlenmesidir. ROI seçimi sırasında:

- Diş kökleri
- Lamina dura
- Periodontal ligament boşluğu gibi yapılar dışlanmalıdır (Soltani ve ark., 2021).

ROI seçiminin operatöre bağımlı olması metodolojik bir sınırlılık oluşturabilir. Bu nedenle intra- ve inter-observer güvenilirliği Cohen's Kappa katsayısı ile değerlendirilmelidir.

5.2.2. Görüntü İşleme Adımları

Fraktal analiz genellikle şu adımlarla gerçekleştirilir:

- Görüntünün çoğaltılması

- Gaussian blur uygulanması
- Orijinal görüntüden çıkarma (subtraction) işlemi
- Binary (ikili) görüntüye dönüştürme
- İskeletleştirme (skeletonization)
- Box-counting algoritması ile FD hesaplama
- Güncel çalışmalarda görüntü işleme protokollerinin standardizasyonuna yönelik revizyonlar önerilmiştir (da Silva ve ark., 2023). Ancak tam bir konsensüs henüz sağlanmamıştır.

5.2.3. Yazılımlar

En yaygın kullanılan yazılımlar:

- ImageJ (Schneider ve ark., 2012)
- Fiji (Schindelin ve ark., 2012)
- BoneJ eklentisi

Bu yazılımlar açık kaynaklıdır ve klinik araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

6. Avantajlar, Sınırlılıklar ve Gelecek Perspektifi

6.1. Avantajlar

Fraktal analiz:

- Non-invazivdir
- Düşük maliyetlidir
- Rutin radyografiler üzerinden uygulanabilir
- ALARA prensibine uygundur
- Kemik mikro-mimarisini sayısal olarak ifade eder.

Bu özellikler özellikle ortodontik tedavilerde kemik yanıtının longitudinal olarak izlenmesinde avantaj sağlamaktadır.

6.2. Sınırlılıklar

Bununla birlikte bazı metodolojik sınırlılıklar bulunmaktadır:

- ROI seçiminin operatöre bağımlı olması
- Görüntü işleme protokolünde tam standardizasyon olmaması
- 2D analizlerin 3D biyolojik yapıyı tam temsil edememesi
- FD'nin kemik mineral yoğunluğunu doğrudan ölçmemesi

Ayrıca ortodontik ekstrüzyon gibi klinik uygulamalarda farklı zaman noktalarında çekilen radyografilerin standardizasyonu önemlidir.

6.3. Gelecek Perspektifi

Fraktal analiz ile yapay zekâ algoritmalarının entegrasyonu gelecekte önemli bir araştırma alanı olabilir. Otomatik ROI seçimi, derin öğrenme temelli trabeküler analiz ve üç boyutlu voxel bazlı fraktal değerlendirmeler ortodontik araştırmalarda yeni bir boyut kazandırabilir.

Ayrıca guided orthodontic regeneration yaklaşımında implant sahası gelişiminin fraktal analiz ile izlenmesi klinik karar verme süreçlerini destekleyebilir.

Son yıllarda radyografik görüntülerin yapay zekâ destekli analizi ortodontide tanısal doğruluğu artıran önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Özellikle iskeletsel maturasyonun otomatik sınıflandırılmasına yönelik geliştirilen algoritmalar, dijital görüntü işleme temelli nicel değerlendirme yaklaşımlarının klinik uygulanabilirliğini göstermektedir (Çetin ve ark., 2026). Bu tür yapay zekâ destekli sistemlerin fraktal analiz ile entegre edilmesi, trabeküler kemik reorganizasyonunun daha objektif ve operatörden bağımsız biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayabilir.

7.SONUÇ

Fraktal analiz, ortodontide alveolar kemik mikro-mimarisinin değerlendirilmesinde objektif ve uygulanabilir bir yöntemdir. Ortodontik kuvvetler, fonksiyonel aparey tedavileri, ortognatik cerrahi ve dental ekstrüzyon gibi farklı klinik uygulamalarda kemik remodelasyonunun nicel olarak izlenmesini sağlar.

Bununla birlikte fraktal boyut değerleri dikkatli yorumlanmalı ve kemik mineral yoğunluğu ile doğrudan eşdeğer kabul edilmemelidir. Gelecekte standardize edilmiş protokoller ve yapay zekâ destekli analiz sistemleri ile fraktal analiz, ortodontik biyomekaniğin değerlendirilmesinde daha güçlü bir araç haline gelebilir.

KAYNAKLAR

- Arslan S, Korkmaz YN, Buyuk SK, Tekin B. Effects of reverse headgear therapy on mandibular trabecular structure: A fractal analysis study. *Orthod Craniofac Res.* 2022;25:562–8.
- Berkhout WE. The ALARA-principle. Backgrounds and enforcement in dental practices. *Ned Tijdschr Tandheelkd.* 2015;122:263–70.
- Cardaropoli G, Araujo M, Lindhe J. Dynamics of bone tissue formation in tooth extraction sites: An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol.* 2003;30:809–18.
- Cesur E, Bayrak S, Kursun-Cakmak ES, Arslan C, Koklu A, Orhan K. Evaluating the effects of functional orthodontic treatment on mandibular osseous structure using fractal dimension analysis of dental panoramic radiographs. *Angle Orthod.* 2020;90:783–93.
- Chen SK, Oviir T, Lin CH, Leu LJ, Cho BH, Hollender L. Digital imaging analysis with mathematical morphology and fractal dimension for evaluation of periapical lesions following endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005;100:467–72.
- Cordaro M, Staderini E, Torsello F, Grande NM, Turchi M, Cordaro M. Orthodontic extrusion vs. surgical extrusion to rehabilitate severely damaged teeth: A literature review. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:9530.
- Çetin SG, Ertuğrul ÖF, Kavasoglu N, Eratilla V. Artificial intelligence-based evaluation of permanent first molar extraction indications in children using panoramic radiographs. *Children (Basel).* 2026;13(2):277. doi:10.3390/children13020277.
- Darawshah AF, Kolarovszki B, Hong DH, Farkas N, Taheri S, Frank D. Applicability of fractal analysis for quantitative evaluation of midpalatal suture maturation. *J Clin Med.* 2023;12:4189.
- da Silva MEB, Dos Santos HS, Ruhland L, Rabelo GD, Badaro MM. Fractal analysis of dental periapical radiographs: A revised image processing method. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2023;135:669–77.
- Frost HM. A 2003 update of bone physiology and Wolff's Law for clinicians. *Angle Orthod.* 2004;74:3–15.
- Gonzalez-Martin O, Solano-Hernandez B, Torres Munoz A, Gonzalez-Martin S, Avila-Ortiz G. Orthodontic extrusion: Guidelines for contemporary clinical practice. *Int J Periodontics Restor Dent.* 2020;40:667–76.

- Jepsen S, Caton JG, Albandar JM, Bissada NF, Bouchard P, Cortellini P, et al. Periodontal manifestations of systemic diseases and developmental and acquired conditions. *J Periodontol*. 2018;89:S237–48.
- Juloski J, Radovic I, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Ferrule effect: A literature review. *J Endod*. 2012;38:11–9.
- Kato CN, Barra SG, Tavares NP, Amaral TM, Brasileiro CB, Mesquita RA, et al. Use of fractal analysis in dental images: A systematic review. *Dentomaxillofac Radiol*. 2020;49:20180457.
- Muftuoglu O, Karasu HA. Assessment of mandibular bony healing, mandibular condyle and angulus after orthognathic surgery using fractal dimension method. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2024;29:e620–5.
- Plotino G, Abella Sans F, Duggal MS, Grande NM, Krastl G, Nagendrababu V, et al. Clinical procedures and outcome of surgical extrusion, intentional replantation and tooth autotransplantation—A narrative review. *Int Endod J*. 2020;53:1636–52.
- Sanchez I, Uzcategui G. Fractals in dentistry. *J Dent*. 2011;39:273–92.
- Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods*. 2012;9:671–5.
- Schindelin J, Arganda-Carreras I, Frise E, Kaynig V, Longair M, Pietzsch T, et al. Fiji: An open-source platform for biological-image analysis. *Nat Methods*. 2012;9:676–82.
- Soltani P, Sami S, Yaghini J, Golkar E, Riccitiello F, Spagnuolo G. Application of fractal analysis in detecting trabecular bone changes in periapical radiograph of patients with periodontitis. *Int J Dent*. 2021;2021:3221448.
- Soylu E, Cosgunarslan A, Celebi S, Soydan D, Demirbas AE, Demir O. Fractal analysis as a useful predictor for determining osseointegration of dental implant? A retrospective study. *Int J Implant Dent*. 2021;7:14.
- Weinans H, Huiskes R, Grootenboer HJ. The behavior of adaptive bone-remodeling simulation models. *J Biomech*. 1992;25:1425–41.
- White SC, Rudolph DJ. Alterations of the trabecular pattern of the jaws in patients with osteoporosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1999;88:628–35.
- Wilding RJ, Slabbert JC, Kathree H, Owen CP, Crombie K, Delport P. The use of fractal analysis to reveal remodelling in human alveolar bone following the placement of dental implants. *Arch Oral Biol*. 1995;40:61–72.

PERİODONTOLOJİDE ORAL MUKOZAL OTOİMMÜN HASTALIKLAR

Bahar ANDAÇ URAL

- ❖ Kurum Bilgisi: Diyarbakır Ağız Ve Diş Sağlığı Hastanesi, Diyarbakır/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0003-2018-0419
- ❖ Mail: bahar__andac@hotmail.com

1. GİRİŞ

Otoimmün hastalıklar, immün sistemin vücudun kendi dokularına karşı gelişen tolerans mekanizmalarının bozulması sonucunda ortaya çıkan ve genellikle kronik seyir gösteren inflamatuvar hastalıklardır. Bu hastalık grubu deri ve mukozaları sık olarak etkileyebilmekte; oral mukoza tutulumu ise bazı durumlarda sistemik sürecin ilk ve en erken klinik göstergesi olabilmektedir (Scully ve Carrozzo, 2008).

Oral kavitede izlenen vezikül, bül ve inflamatuvar karakterli lezyonlar; epitel bütünlüğünün bozulmasına bağlı olarak ağrı, yanma hissi, spontan kanama ve yüzeysel epitel soyulması gibi klinik bulgularla seyreder (Neville ve ark., 2016). Bu tür mukozal değişiklikler hem hastanın konforunu azaltmakta hem de periodontal dokuların sağlıklı biçimde değerlendirilmesini zorlaştırarak tedavi planlamasında klinisyeni kısıtlayabilmektedir.

Özellikle deskuamatif gingivitis tablosu ile başvuran hastalarda altta yatan otoimmün bir sürecin varlığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu noktada periodontologlar, erken tanı konulması, uygun tanısal yönlendirmelerin yapılması ve multidisipliner yaklaşımın organize edilmesi açısından belirleyici bir sorumluluk taşımaktadır (Lo Russo ve ark., 2009).

2. Deskuamatif Gingivitis

Deskuamatif gingivitis, tek başına bir hastalığı ifade etmez; gingivada gözlenen belirli klinik değişiklikleri tanımlamak amacıyla kullanılan bir terimdir. Bu tablo, gingival epitelde belirgin eritem, epitel incilmesi (atrofi) ve yüzeysel deskuamasyon ile karakterizedir (Scully ve Porter, 1997).

Klinik olarak en sık aşağıdaki otoimmün veya immün aracılı hastalıklarla ilişkilidir:

- Oral liken planus
- Muköz membran pemfigoidi
- Pemfigus vulgaris

Deskuamatif gingivitis varlığında periodontal sondalama sırasında epitelin kolaylıkla ayrılabilirdiği gözlenebilir. Mekanik travma ile epitel bütünlüğünün bozulması sonucu oluşan bu bulgu Nikolsky belirtisi olarak tanımlanmaktadır (Femiano ve ark., 2002).

Gingival epitel bütünlüğünün bozulması, hastaların etkin plak kontrolünü sürdürmesini zorlaştırır. Bunun sonucunda gelişen sekonder plak birikimi ve inflamasyon mevcut klinik tabloyu daha da ağırlaştırabilir. Bu nedenle tedavi yaklaşımı yalnızca periodontal inflamasyonun kontrolü ile sınırlı kalmamalı; altta yatan mukozal hastalığın medikal tedavisi ile entegre biçimde planlanmalıdır (Lo Russo ve ark., 2009).

Otoimmün ve İmmün Aracılı Oral Mukozal Hastalıklar

1. Liken planus
2. Pemfigus vulgaris
3. Muköz membran pemfigoidi
4. Lineer IgA hastalığı
5. Epidermolizis bülloza
6. Eritema multiforme
7. Lupus eritematozus
8. Behçet sendromu
9. Skleroderma (Sistemik skleroz)
10. Rekürren aftöz stomatit
11. Sjögren sendromu
12. Graft-versus-host hastalığı

3. Oral Liken Planus

Tanım, Epidemiyoloji ve Etiyopatogenez

Oral liken planus (OLP), hücrel immün yanıtın aracılık ettiği kronik inflamatuvar bir mukokutanöz hastalıktır. Genel popülasyonda prevalansının %0,5–2,2 arasında değiştiği bildirilmektedir (Eisen, 2002; Carrozzo ve Thorpe, 2009). Hastalık kadınlarda erkeklere kıyasla daha sık görülmekte olup en sık 30–70 yaş aralığında ortaya çıkmaktadır (Sugerman ve ark., 2002).

Oral tutulum bazı hastalarda hastalığın tek klinik bulgusu olabilirken, birçok olguda kutanöz lezyonlar da tabloya eşlik edebilmektedir (Scully ve Carrozzo, 2008). Klinik görünüm değişkenlik göstermekle birlikte lezyonlar çoğunlukla bilateral olup en sık bukkal mukozada lokalizedir. Bununla birlikte dil, vestibül ve gingiva da tutulabilir. İzole gingival liken planus olguların yaklaşık %8,6'sına kadarında bildirilmektedir (Au ve ark., 2013). Periodontoloji açısından OLP'nin önemi, deskuamatif gingivitisin en sık nedenlerinden biri olmasıdır (Lo Russo ve ark., 2009).

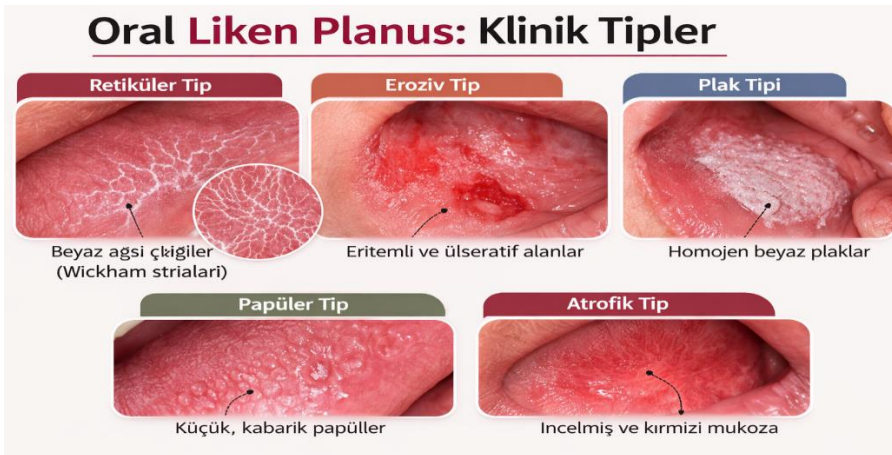
OLP patogeneğinde hücrel immün yanıt temel rol oynar. CD8⁺ sitotoksik T lenfositlerin bazal keratinositleri hedef alması sonucu epitel hasarı gelişir (Sugerman ve ark., 2002). Keratinosit apoptozu ve bazal tabakada likefaktif dejenerasyon hastalığın karakteristik histopatolojik bulgularındandır (Neville ve ark., 2016). Mast hücre degranülasyonu, tümör nekroz faktör- α salınımı ve matriks metalloproteinaz aktivasyonu da inflamatuvar sürece katkıda bulunarak epitel-bağ dokusu bağlantısında zayıflamaya yol açar (Zhou ve ark., 2002).

Klinik Özellikler

Oral liken planus farklı klinik formlarda ortaya çıkabilir. Bu formlar Tablo 1’de özetlenmiştir ve Resim 1’ de görsellenmiştir.

Tablo 1. Oral liken planus tipleri

Klinik Tip	Klinik Özellikler
Retiküler	En sık görülen formdur. Çoğunlukla asemptomatiktir. Eritematöz zemin üzerinde ağsı beyaz çizgilenmeler (Wickham striaları) ile karakterizedir ve en sık bukkal mukozada görülür.
Eroziv (Ülseratif)	Ağrılıdır ve yaşam kalitesini belirgin şekilde etkileyebilir. Eritem, ülserasyon ve keratotik beyaz strialar birlikte görülebilir. Gingival yerleşimde deskumatif gingivitis görünümünü oluşturabilir.
Atrofik (Eritematöz)	Mukozal atrofi ile seyreden diffüz eritemli alanlar şeklinde görülür ve genellikle semptomatiktir.
Plak benzeri	Hafif kabarık veya düz beyaz plaklar şeklindedir ve klinik olarak lökoplaki ile karışabilir. En sık dilde görülür.
Büllöz	Nadir görülen formdur. Oluşan büller kısa sürede rüptüre olarak eroziv lezyonlara dönüşür.



Resim 1. Oral liken planus klinik tipleri

Eroziv ve atrofik formlar genellikle semptomatiktir ve hastaların yaşam kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir (Carrozzo ve Thorpe, 2009). Gingival yerleşim gösterdiğinde deskuamatif gingivitis görünümü oluşabilir ve periodontal sondalama sırasında epitel ayrılması gözlenebilir (Lo Russo ve ark., 2009). Semptomlar hafif yanma hissinden şiddetli ağrıya kadar değişebilir ve konuşma, çiğneme veya yutma fonksiyonlarını etkileyebilir.

OLP'ye Benzer Likenoid Lezyonlar

Klinik ve histopatolojik olarak OLP'ye benzeyen ancak belirli bir nedene bağlı gelişen likenoid lezyonlar da tanımlanmıştır. Bu lezyonlar Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Oral liken planusa benzeyen likenoid lezyonlar

Likenoid Lezyon Tipi	Açıklama
Oral likenoid kontakt lezyonlar	Genellikle amalgam gibi dental restoratif materyallere temas sonucu gelişen ve tip IV gecikmiş tip hipersensitivite reaksiyonuna bağlı ortaya çıkan lezyonlardır.
Oral likenoid ilaç reaksiyonları	ACE inhibitörleri, oral hipoglisemik ajanlar ve nonsteroid antiinflamatuar ilaçlar başta olmak üzere bazı sistemik ilaçların kullanımına bağlı gelişebilen mukozal reaksiyonlardır.
GVHD ilişkili likenoid lezyonlar	Kemik iliği veya hematopoetik kök hücre transplantasyonu sonrası gelişen graft-versus-host hastalığının oral mukozada oluşturduğu likenoid özellikteki lezyonlardır.
Lupus ilişkili likenoid lezyonlar	Diskoid lupus eritematozus veya sistemik lupus eritematozus ile ilişkili olarak oral mukozada görülebilen likenoid karakterli lezyonlardır.

Histopatoloji, Tanı ve Malign Potansiyel

Histopatolojik incelemede bant şeklinde subepitelyal lenfositik infiltrasyon ve bazal hücre tabakasında lifefaktif dejenerasyon tipik bulgulardır (Neville ve ark., 2016). Civatte cisimcikleri sık gözlenen histopatolojik yapılarıdır (Sugerman ve ark., 2002). Ayrıca ortokeratotik hiperkeratoz, parakeratoz, akantoz, epitel atrofi ve testere dişi görünümünde rete çıkıntıları da görülebilir. Direkt immünfloresan incelemede bazal membran zonu boyunca fibrinojen birikimi saptanabilir (Scully ve Carrozzo, 2008). Kesin tanı klinik ve histopatolojik bulguların birlikte değerlendirilmesi ile konur.

OLP'nin malign transformasyon potansiyeli literatürde tartışmalı olmakla birlikte skuamöz hücreli karsinom gelişim oranı %0,4–1,5 arasında

bildirilmektedir (van der Meij ve ark., 2003). Dünya Sağlık Örgütü OLP'yi potansiyel olarak malign transformasyon gösterebilen oral mukozal durumlar arasında sınıflandırmaktadır (Warnakulasuriya, 2018). Bu nedenle hastaların düzenli klinik takipleri önemlidir.

Tedavi ve Periodontal Yaklaşım

OLP'nin kesin küratif tedavisi bulunmamaktadır. Mevcut tedavi yaklaşımları semptomların kontrol altına alınması ve olası malign dönüşüm riskinin azaltılmasına yöneliktir. Hastalığın alevlenmesinin stres, bazı besinler, dental işlemler, sistemik hastalıklar ve yetersiz ağız hijyeni ile tetiklenebileceği bildirilmiştir (Eisen, 2002). Tetikleyici faktörlerin ortadan kaldırılması lezyonlarda gerilemeye katkı sağlayabilir.

Asemptomatik retiküler form çoğu zaman tedavi gerektirmez (Eisen, 2002). Semptomatik olgularda yüksek potent topikal kortikosteroidler birinci basamak tedaviyi oluşturur (Scully ve Carrozzo, 2008). Topikal kortikosteroidlerin yan etkileri genellikle sınırlı olmakla birlikte kandidiyazis, mukozal atrofi ve nadiren adrenal supresyon görülebilir (Cawson, 1968; Lehner ve Lyne, 1969). Dirençli vakalarda takrolimus gibi immünmodülatör ajanlar kullanılabilir (Carrozzo ve Thorpe, 2009). Ayrıca bazı çalışmalar aloe vera preparatlarının topikal tedavide triamsinolon asetonide alternatif olabileceğini göstermiştir (Mansourian ve ark., 2011).

Periodontal açıdan travmatik işlemler Koebner fenomenini tetikleyebileceğinden tedaviler mümkün olduğunca atraumatik şekilde uygulanmalıdır. Profesyonel diş taşı temizliği dikkatli yapılmalı, sekonder kandidiyazis gelişimi açısından hastalar izlenmeli ve etkin plak kontrolü sağlanmalıdır. OLP'li hastalarda periodontal tedavi genellikle mukozal inflamasyon kontrol altına alındıktan sonra planlanmalıdır (Lo Russo ve ark., 2009).

4. Pemfigus Vulgaris

Tanım, Epidemiyoloji ve Etiyopatogenez

Pemfigus vulgaris (PV), epitel hücreleri arasındaki adezyonu sağlayan desmoglein proteinlerine karşı gelişen otoantikorlar sonucunda ortaya çıkan, potansiyel olarak yaşamı tehdit edebilen kronik otoimmün vezikülobüllöz bir hastalıktır (Neville ve ark., 2016). Pemfigus grubunun en sık görülen alt tipi olup tüm olguların yaklaşık %70'ini oluşturur (Bystryk ve Rudolph, 2005). Yıllık insidansının 1–5/milyon olduğu bildirilmektedir ve özellikle Akdeniz

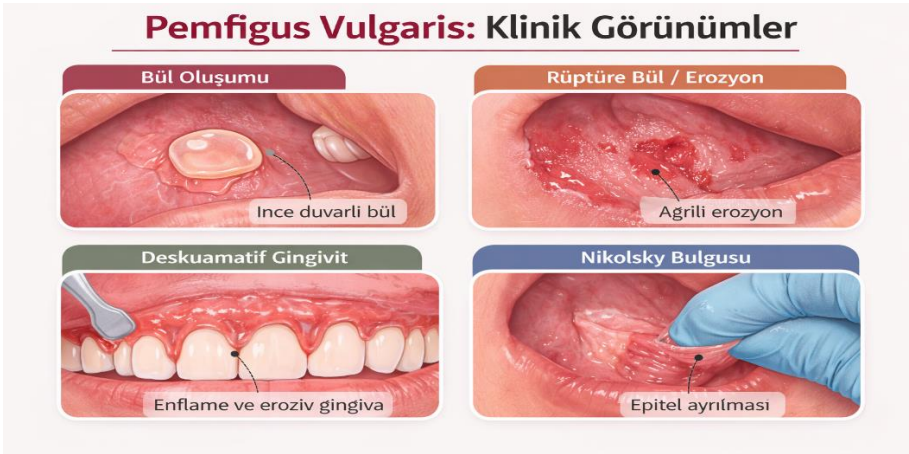
kökenli bireylerde daha yüksek sıklıkta görülmektedir (Scully ve Challacombe, 2002).

Hastalığın patogenezinde IgG sınıfı otoantikorlar, özellikle desmoglein-3 ve desmoglein-1 proteinlerini hedef alır (Amagai, 2003). Bu otoantikorlar epitel hücreleri arasındaki adezyonun kaybolmasına yol açarak akantolizis gelişmesine neden olur. Sonuçta epitel hücreleri birbirinden ayrılır ve intraepitelyal bül oluşur. Bu büller klinikte genellikle kolay rüptüre olan vezikül veya büller şeklinde ortaya çıkar (Neville ve ark., 2016).

Oral mukozal lezyonlar hastaların yaklaşık %50–90’ında hastalığın ilk klinik bulgusu olabilir (Eisen, 2003). Bu nedenle diş hekimleri ve özellikle periodontologlar erken tanı açısından önemli bir rol üstlenmektedir.

Klinik Bulgular

Oral mukozada en sık görülen bulgular ağrılı erozyonlar ve ülserasyonlardır (Scully ve Challacombe, 2002). Sağlam büller nadiren gözlenir çünkü ince epitel örtüsü nedeniyle kısa sürede rüptüre olurlar. Lezyonlar sıklıkla bukkal mukoza, damak ve gingivada görülür. Gingival tutulum oldukça yaygındır ve Resim 2’de görüldüğü üzere klinik olarak deskumatif gingivitis görünümü oluşturabilir (Lo Russo ve ark., 2009). Periodontal sondalama veya hafif mekanik travma ile epitelin kolaylıkla ayrılması Nikolsky belirtisi olarak tanımlanır (Femiano ve ark., 2002). Deri lezyonları çoğu zaman oral lezyonların ortaya çıkmasından haftalar veya aylar sonra gelişir (Bystryrn ve Rudolph, 2005).



Resim 2. Pemfigus vulgaris klinik görünümleri

Histopatoloji ve Tanı

Histopatolojik incelemede suprabazal akantolizis ve bazal hücrelerin bağ dokusu üzerinde sıralanmış şekilde görünmesiyle oluşan “row of tombstones” görünümü karakteristiktir (Neville ve ark., 2016).

Direkt immünfloresan incelemede epitel hücreleri arasında intersellüler IgG ve C3 birikimi izlenir (Amagai, 2003). Kesin tanı, klinik bulguların histopatolojik ve immünfloresan inceleme sonuçları ile birlikte değerlendirilmesi ile konur.

Tedavi ve Periodontal Yaklaşım

Pemfigus vulgaris sistemik tedavi gerektiren ciddi bir hastalıktır. Uzun yıllar boyunca sistemik kortikosteroidler temel tedavi yaklaşımını oluşturmuştur (Bystryń ve Rudolph, 2005). Günümüzde ise rituksimab gibi B-hücre hedefli biyolojik ajanlar tedavide önemli bir yer tutmaktadır (Scully ve Challacombe, 2002). Oral semptomların kontrolünde topikal kortikosteroidler yardımcı olabilir ancak tek başına yeterli değildir (Eisen, 2003).

Periodontal tedavi planlanırken mukozal dokuların kırılganlığı nedeniyle dikkatli olunmalıdır. Travmatik işlemlerden kaçınılmalı, ultrasonik cihazlar mümkün olduğunca dikkatli kullanılmalı ve hastalara yumuşak kıllı diş fırçaları ile travmasız oral hijyen yöntemleri önerilmelidir. Aktif büllöz fazda invaziv periodontal işlemler ertelenmelidir. Ayrıca sekonder enfeksiyon gelişimi açısından hastaların yakından izlenmesi önemlidir (Lo Russo ve ark., 2009).

Pemfigus vulgariste erken tanı ve uygun tedavi, hastalığın sistemik komplikasyonlarının önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

5. Muköz Membran Pemfigoidi

Tanım, Epidemiyoloji ve Etiyopatogenez

Muköz membran pemfigoidi (MMP), bazal membran zonuna karşı gelişen otoantikörler ile karakterize kronik otoimmün subepitelyal vezikülobüllöz bir hastalıktır (Neville ve ark., 2016). Literatürde sıklıkla sikatriyel pemfigoid olarak da adlandırılmaktadır. Hastalık genellikle orta ve ileri yaş grubunda görülür ve kadınlarda erkeklere göre daha sık ortaya çıkar (Scully ve Challacombe, 2002).

Olguların yaklaşık %80–90’ında oral mukoza tutulumu bulunur ve birçok hastada ilk klinik bulgu oral lezyonlar şeklinde ortaya çıkar (Carrozzo

ve Gandolfo, 1999). Periodontoloji açısından hastalığın önemi, desküamatif gingivitisin en sık nedenlerinden biri olmasıdır (Lo Russo ve ark., 2009).

Hastalığın patogeneğinde bazal membran zonunda bulunan hemidesmozomal proteinlere karşı gelişen otoantikorlar rol oynar. En sık hedeflenen antijenler **BP180** ve **BP230** olarak tanımlanmıştır (Scully ve Challacombe, 2002). Bu otoantikorlar epitel ile bağ dokusu arasındaki adezyonun bozulmasına yol açarak **subepitelyal bül oluşumuna** neden olur (Neville ve ark., 2016). Pemfigus vulgaristen farklı olarak akantolizis görülmez; ayrılma epitelin altında gerçekleşir.

Klinik Bulgular

Oral mukozada en sık görülen bulgular eritemli veya atrofik alanlar üzerinde gelişen büllerdir. Bu büller genellikle kısa sürede rüptüre olarak ağrılı erozyonlara dönüşür (Carrozzo ve Gandolfo, 1999). Lezyonlar sıklıkla gingiva, bukkal mukoza ve damakta görülür.

Gingival tutulum oldukça yaygındır ve klinik olarak **desküamatif gingivitis** görünümü oluşturabilir (Lo Russo ve ark., 2009). Klinik muayene sırasında hafif mekanik travma ile epitel ayrılması görülebilir ve **Nikolsky belirtisi** pozitif olabilir (Femiano ve ark., 2002).

Hastalığın en önemli özelliklerinden biri skar oluşumudur. Özellikle oküler tutulum ciddi komplikasyonlara yol açabilir ve ilerleyen olgularda görme kaybına kadar ilerleyebilen durumlar gelişebilir (Scully ve Challacombe, 2002). Bu nedenle erken tanı ve multidisipliner yaklaşım büyük önem taşır.

Histopatoloji ve Tanı

Histopatolojik incelemede epitel ile bağ dokusu arasında **subepitelyal ayrılma** ve inflamatuvar hücre infiltrasyonu görülür (Neville ve ark., 2016). Direkt immünfloresan incelemede bazal membran zonu boyunca **lineer IgG ve/veya C3 birikimi** karakteristik bir bulgudur (Scully ve Challacombe, 2002). Kesin tanı klinik bulguların histopatolojik ve immünfloresan inceleme sonuçları ile birlikte değerlendirilmesi ile konur.

Tedavi ve Periodontal Yaklaşım

Muköz membran pemfigoidinin tedavisi lezyonların yaygınlığına ve hastalığın şiddetine bağlı olarak değişir. Lokalize oral lezyonlarda **yüksek potent topikal kortikosteroidler** birinci basamak tedavi seçeneğidir

(Carrozzo ve Gandolfo, 1999). Yaygın veya dirençli olgularda ise **sistemik kortikosteroidler** ve immünsupresif ajanlar (azatioprin, mikofenolat mofetil) kullanılabilir (Scully ve Challacombe, 2002). Oküler tutulum varlığında hastaların mutlaka oftalmoloji ile birlikte izlenmesi gerekir.

Periodontal tedavi planlanırken mukozal dokuların hassasiyeti nedeniyle dikkatli bir yaklaşım benimsenmelidir. Aktif büllöz dönemde invaziv işlemler ertelenmeli, travmatik periodontal sondalamadan kaçınılmalı ve ultrasonik cihazlar dikkatli kullanılmalıdır. Hastalara yumuşak kıllı diş fırçaları önerilmeli ve plak kontrolü sağlanmalıdır. Gingival inflamasyonun sekonder olarak klinik tabloyu ağırlaştırabileceği göz önünde bulundurulmalı ve periodontal bakım destekleyici bir tedavi yaklaşımı olarak değerlendirilmelidir (Lo Russo ve ark., 2009).

6. Lineer IgA Hastalığı

Tanım, Epidemiyoloji ve Patogenezi

Lineer IgA hastalığı, bazal membran zonuna karşı gelişen IgA sınıfı otoantikorlarla karakterize nadir görülen otoimmün subepitelyal büllöz bir hastalıktır (Neville ve ark., 2016). Hem çocukluk hem de erişkin yaş grubunda ortaya çıkabilmektedir. Oral tutulum değişken oranlarda bildirilmiş olup özellikle gingival mukozada eritemli ve ülseratif alanlar şeklinde görülebilir (Scully ve Challacombe, 2002).

Hastalığın patogenezi bazal membran zonundaki yapısal proteinlere karşı gelişen IgA otoantikorları rol oynar. Bu otoantikorlar epitel ile bağ dokusu arasındaki adezyonun bozulmasına yol açarak **subepitelyal ayrılmaya** neden olur (Chan ve ark., 1995). Sonuç olarak vezikül ve büller oluşur; bu lezyonlar genellikle kısa sürede rüptüre olarak ağırlı erozyonlara dönüşür.

Gingival yerleşim varlığında klinik olarak **deskuamatif gingivitis** görünümü ortaya çıkabilir. Periodontal sondalama sırasında epitel ayrılması gözlenebilir ve mukozal dokuların hassasiyeti nedeniyle klinik muayene sırasında dikkatli olunması gerekir (Femiano ve ark., 2002).

Tanı, Tedavi ve Periodontal Yaklaşım

Histopatolojik incelemede epitel ile bağ dokusu arasında **subepitelyal ayrılma** izlenir. Direkt immünfloresan incelemede bazal membran zonu boyunca **lineer IgA birikimi** hastalığın karakteristik tanısal bulgusudur (Neville ve ark., 2016).

Tedavide en sık tercih edilen ajan **dapson**dur. Dirençli olgularda sistemik kortikosteroidler veya diğer immünsupresif ilaçlar kullanılabilir (Scully ve Challacombe, 2002).

Periodontal yaklaşım diğer subepitelyal büllöz hastalıklara benzer şekilde planlanmalıdır. Travmatik işlemlerden kaçınılmalı, invaziv işlemler aktif lezyon dönemlerinde ertelenmeli ve sekonder plak birikiminin kontrol altına alınmasına özen gösterilmelidir. Bu yaklaşım mukozal irritasyonun azaltılmasına ve semptomların hafifletilmesine katkı sağlar.

7. Epidermolizis Bülloza Akizita

Tanım, Epidemiyoloji ve Patogenez

Epidermolizis bülloza akizita (EBA), tip VII kollajene karşı gelişen otoantikorlarla karakterize nadir bir otoimmün subepidermal büllöz hastalıktır (Neville ve ark., 2016). Hastalık genellikle erişkin yaş grubunda ortaya çıkar ve kronik seyir gösterir (Scully ve Challacombe, 2002).

Tip VII kollajen, epitel ile bağ dokusu arasındaki bağlantı fibrillerinin temel bileşenidir. Bu proteine karşı gelişen otoantikorlar epitel ile bağ dokusu arasındaki adezyonun bozulmasına yol açarak **subepitelyal ayrılmaya** neden olur (Chan ve ark., 1995).

Oral mukozada travma sonrası bül oluşumu sık görülen bir bulgudur. Gingival tutulum varlığında klinik olarak **deskuamatif gingivitis** benzeri bir görünüm ortaya çıkabilir (Neville ve ark., 2016). Lezyonlar genellikle rüptüre olarak erozyonlara dönüşür ve kronik olgularda iyileşme sırasında **skar oluşumu** görülebilir.

Tanı, Tedavi ve Periodontal Yaklaşım

Histopatolojik incelemede epitel ile bağ dokusu arasında **subepitelyal ayrılma** izlenir. Direkt immünfloresan incelemede bazal membran zonunda immün kompleks birikimi saptanması tanıyı destekler (Scully ve Challacombe, 2002).

Tedavi genellikle **sistemik kortikosteroidler** ve çeşitli **immünsupresif ajanların** kullanımını içerir. Ancak tedaviye yanıt hastalar arasında değişkenlik gösterebilir ve çoğu olguda uzun süreli klinik takip gereklidir.

Periodontal tedavi planlanırken mukozal dokuların hassasiyeti göz önünde bulundurulmalıdır. Travmatik işlemlerden kaçınılmalı, invaziv

uygulamalar aktif lezyon dönemlerinde ertelenmeli ve mümkün olduğunca **minimal invaziv yaklaşımlar** tercih edilmelidir. Bu yaklaşım mukozal travmayı azaltarak semptomların kontrolüne katkı sağlar.

8. Eritema Multiforme

Tanım ve Etiyoloji

Eritema multiforme, deri ve mukozalarda görülebilen, akut başlangıçlı, sıklıkla kendini sınırlayan ve zaman zaman tekrarlayabilen mukokutanöz bir aşırı duyarlılık reaksiyonudur. İmmün aracılı bu reaksiyon genellikle enfeksiyonlar veya bazı ilaçların tetikleyici etkisiyle ortaya çıkar.

Etiyolojide en sık suçlanan faktörler şunlardır:

- Herpes simpleks virüsü
- Mantar enfeksiyonları
- Barbitüratlar
- Nonsteroid antiinflatuvar ilaçlar
- Penisilinler

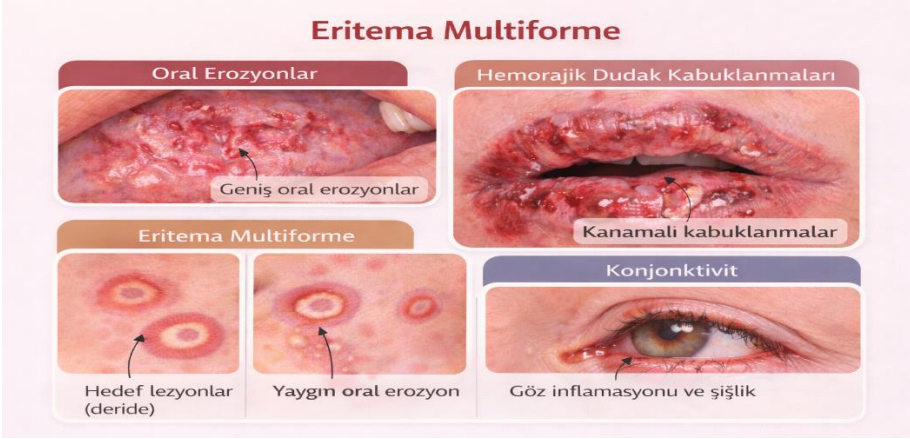
Hastalığın daha ağır bir formu olan **Stevens–Johnson sendromu**, başlangıçta hafif seyirli olabilmekle birlikte minimal oral tutulumdan hızla ilerleyen ve ciddi sistemik bulguların eşlik ettiği fulminan bir tabloya dönüşebilir.

Klinik Bulgular

Oral mukozada lezyonlar genellikle vezikül veya bül şeklinde başlar ve kısa sürede rüptüre olarak beyaz ya da sarımsı eksüda ile kaplı ağrılı erozyon ve ülserlere dönüşür.

Başlıca klinik bulgular şunlardır:

- Diffüz eritem
- Düzensiz yüzeyel ülserler
- Dudaklarda hemorajik krut oluşumu (Resim 3)
- Ağrılı erozyonlar



Resim 3. Eritema multiformenin klinik görünümüleri

Lezyonlar çoğu olguda **2–6 hafta içinde kendiliğinden iyileşir.**

Histopatolojik incelemede ise şu bulgular izlenebilir:

- Subepitelyal veya intraepitelyal ayrılma
- Nekrotik keratinositler (satellit hücreler)
- Bazal membran dejenerasyonu
- Karışık inflamatuvar hücre infiltrasyonu

Tedavi

Eritema multiforme tedavisinde öncelikle tetikleyici faktörün ortadan kaldırılması hedeflenir. Sorumlu olduğu düşünülen ilaçların kesilmesi önemlidir. Herpes simpleks virüsü ile ilişkili olgularda antiviral profilaksi uygulanabilir.

Tedavi genellikle destekleyici niteliktedir ve şu yaklaşımları içerir:

- Yeterli hidrasyonun sağlanması
- Analjezik tedavi
- Topikal anestezi uygulamaları

Sistemik kortikosteroidlerin etkinliği tartışmalı olup çoğu olguda belirgin bir fayda sağlamadığı bildirilmektedir.

9. Lupus Eritematozus

9.1. Sistemik Lupus Eritematozus

Sistemik lupus eritematozus (SLE), çoklu organ tutulumu ile seyreden kronik otoimmün bir bağ dokusu hastalığıdır. Hastalığın patogenezinde otoantikor üretimi ve immün komplekslerin dokularda birikmesi temel rol oynar (Neville ve ark., 2016). SLE özellikle genç kadınlarda daha sık görülür ve genellikle dalgalı bir klinik seyir gösterir (Rhodus ve Johnson, 1990). Kadınlarda erkeklere kıyasla yaklaşık sekiz kat daha sık görüldüğü bildirilmektedir (Albilal ve ark., 2007).

Deri tutulumu SLE'nin en karakteristik klinik bulgularından biridir ve olguların yaklaşık %85'inde görülür (Ibsen ve Phelan, 2009). Klinik tablo basit sirküler deri lezyonlarından multiorgan tutulumuna kadar değişebilen geniş bir spektrum gösterebilir ve bazı olgularda yaşamı tehdit eden komplikasyonlara yol açabilir. En sık görülen deri lezyonu, güneşe maruz kalan bölgelerde gelişen belirgin eritemdir. Burun ve yanakları kapsayan **“malar döküntü” (kelebek döküntüsü)** hastalığın tipik bulgularından biridir. Ayrıca parmak uçlarında eritem görülebilir. Bu lezyonlar iyileşme sürecinde santral skar oluşumu ile sonuçlanabilir ve rekürrens gösterebilir (Saccucci ve ark., 2018).

Oral mukozada eritemli, ülseratif veya likenoid benzeri lezyonlar görülebilir. En sık etkilenen bölgeler bukkal mukoza, sert damak ve gingivadır (Neville ve ark., 2016). Gingival tutulum klinik olarak **deskuamatif gingivitis**, kronik inflamasyon ve artmış periodontal yıkım eğilimi şeklinde ortaya çıkabilir (Rhodus ve Johnson, 1990). Ayrıca immünsüpresif tedavi alan hastalarda sekonder enfeksiyon gelişme riski artmaktadır.

Periodontal tedavi planlanırken hastalığın sistemik durumu dikkate alınmalıdır. Aktif hastalık dönemlerinde elektif işlemler ertelenmeli, kortikosteroid kullanan hastalarda yara iyileşmesi dikkatle izlenmeli ve etkin plak kontrolü sağlanmalıdır.

9.2. Diskoid Lupus Eritematozus

Diskoid lupus eritematozus (DLE), kollajen vasküler hastalıklar grubunda yer alan kronik seyirli bir dermatolojik tablodur ve sıklıkla skar oluşumu ile sonuçlanır. Oral lezyonlar en sık vermilyon sınırı, bukkal mukoza ve labial mukozada görülür. Klinik olarak periferde radyal uzanım gösteren

beyaz strialar, merkezde eritemli veya beyaz papüler alan ve çevresel telanjiektaziler ile karakterizedir.

Tedavide topikal kortikosteroid preparatları (örneğin flusinolon asetonid veya hidrokortizon bütirat) inflamasyonu ve ödemi azaltmada etkili olabilir. Ağrı ve inflamasyonun kontrolü için dapson veya düşük doz metotreksat gibi immünmodülatör ajanlar kullanılabilir. Sistemik tedavide ise çoğu zaman antimalaryal ilaçlar, özellikle **hidroksiklorokin**, birinci basamak tedavi seçeneğini oluşturur.

10. Behçet Hastalığı

Tanım, Patogenez ve Klinik Özellikler

Behçet hastalığı, küçük ve büyük damarları etkileyebilen kronik sistemik bir vaskülitir. Hastalığın etiolojisinde genetik yatkınlık ve immün sistemdeki düzensizliklerin rol oynadığı düşünülmektedir (Scully, Gorsky ve Lozada-Nur, 2008). Klinik olarak hastalık; tekrarlayan oral aftlar, genital ülserler ve oküler lezyonlardan oluşan “üçlü semptom kompleksi” ile karakterizedir. Türkiye, Behçet hastalığının en sık görüldüğü coğrafi bölgelerden biridir.

Oral lezyonlar genellikle hastalığın en erken ve en sık görülen bulgusudur. Tekrarlayan ağrılı aftöz ülserler çoğunlukla dudak mukozası, dil, bukkal mukoza ve yumuşak damakta görülür (Scully ve ark., 2008). Bu ülserler klinik olarak rekürren aftöz stomatit lezyonlarına benzeyebilir. Bazı çalışmalarda gingival inflamasyon ve periodontal yıkım eğiliminin artmış olabileceği bildirilmiştir.

Periodontal Yaklaşım

Behçet hastalarında periodontal tedavi planlanırken mukozal hassasiyet ve ülserlerin varlığı dikkate alınmalıdır. Aktif ülser dönemlerinde periodontal tedavi mümkün olduğunca sınırlı tutulmalı ve travmatik işlemlerden kaçınılmalıdır. Ayrıca sekonder plak birikiminin kontrol altına alınması ve etkin ağız hijyeninin sağlanması önem taşır.

11. Sistemik Skleroz (Skleroderma)

Tanım, Klinik Bulgular ve Periodontal Yaklaşım

Sistemik skleroz (skleroderma), fibroblast aktivasyonu ve bağ dokusunda artmış kollajen birikimi ile karakterize kronik otoimmün bir bağ

dokusu hastalığıdır (Neville ve ark., 2016). Hastalıkta gelişen fibrotik değişiklikler deri ve çeşitli organların yanı sıra oral dokuları da etkileyebilir.

Oral kavitede en sık görülen bulgular arasında mikrostomi, ağız açıklığında azalma, periodontal ligament aralığında genişleme ve gingival fibrozis yer alır (Neville ve ark., 2016). Mikrostomiye bağlı olarak ağız açıklığının azalması, hastaların etkin ağız hijyeni sağlamasını güçleştirir ve bu durum periodontal hastalık riskinin artmasına neden olabilir.

Periodontal tedavi planlanırken hastaların ağız açıklığındaki kısıtlılık ve mukozal dokuların hassasiyeti göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle ağız hijyeninin sağlanabilmesi için küçük başlı veya özel tasarlanmış diş fırçaları önerilebilir. Ayrıca ağız açıklığını artırmaya yönelik ağız açma egzersizleri faydalı olabilir. Periodontal tedavi mümkün olduğunca minimal invaziv yaklaşımlarla planlanmalıdır.

12. Rekürrent Aftöz Stomatit

Tanım, Klinik Özellikler ve Sınıflandırma

Rekürren aftöz stomatit (RAS), tekrarlayan oral ülserlerle karakterize yaygın bir mukozal hastalıktır. Literatürde rekürren oral ülserler, rekürren aftöz ülserler veya basit/komplike aftozis gibi farklı isimlerle de tanımlanmakta olup halk arasında genellikle “aft” olarak bilinmektedir (Mustafa ve ark., 2015).

RAS lezyonları küçük, ağrılı ve yüzeysel ülserler şeklinde ortaya çıkar. Genellikle yuvarlak veya oval şekillidir, çevrelerinde belirgin bir eritemli halo bulunur ve üzerleri gri-beyaz ya da sarımsı fibrinomembranöz bir tabaka ile kaplıdır. Lezyonlar çoğunlukla ağız boşluğunun non-keratinize mukozasında görülür; sert damak ile maksiller ve mandibular alveoler kreterlerin keratinize mukozası genellikle korunur (Mustafa ve ark., 2015). Bununla birlikte bazı ülserler non-keratinize mukozada başlayarak gingiva kenarlarına, dudak vermilyonuna, dil dorsumuna veya sert damak mukozasına yayılabilir (Vincent, 1994).

Resim 4’ te görüldüğü gibi RAS lezyonları genellikle kendini sınırlayıcıdır ve çoğu olguda 1–2 hafta içinde skar bırakarak ya da bırakmadan iyileşir. Ancak hastalık remisyon dönemleri ile seyreden tekrarlayıcı bir karakter gösterir



Resim 4. Rekürrent aftöz stomatit görseli

Klinik olarak rekürren aftöz stomatit üç ana tipe ayrılmaktadır:

- **Minör aftlar:** Çapı genellikle 1 cm'den küçüktür ve en sık görülen formdur. Çoğu olguda 7–10 gün içinde iyileşir.
- **Majör aftlar:** Çapı 1 cm'den büyük ülserlerdir. İyileşme süresi 2–4 hafta kadar sürebilir ve bazı olgularda submukozal skar oluşabilir. Bu tablo Sutton hastalığı veya *peradenitis mucosa necrotica recurrens* olarak da adlandırılır.
- **Herpetiform aftlar:** Genellikle 1–2 mm çapında çok sayıda küçük ülserle karakterizedir ve lezyon sayısı bazen 10 veya daha fazla olabilir.

Etiyoloji ve Tedavi

Rekürren aftöz stomatitin kesin etiyolojisi tam olarak bilinmemektedir. Günümüzde hastalığın multifaktöriyel bir etiyolojiye sahip olduğu ve çeşitli predispozan faktörlerin etkisi altında geliştiği kabul edilmektedir. Vitamin B12, folik asit ve demir eksiklikleri ile oral aft oluşumu arasında ilişki olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca bazı araştırmalar ince bağırsak mukozal anomalileri ile olası bir ilişki olabileceğini ileri sürmüştür. Bununla birlikte, diğer çalışmalarda şiddetli rekürren aftöz stomatitli hastalarda demir, vitamin B12 veya folat eksikliği, anemi ya da gastrointestinal hastalık sıklığının kontrol gruplarına göre anlamlı derecede artmadığı bildirilmiştir (Vincent, 1994).

RAS tedavisi çoğunlukla semptomatik olup günümüzde kullanılan yaklaşımlar büyük ölçüde ampirik ve nonspesifik niteliktedir. Tedavinin temel

amacı ağrının azaltılması, iyileşmenin hızlandırılması ve rekürrens sıklığının azaltılmasıdır.

Kullanılan başlıca tedavi seçenekleri şunlardır:

- Topikal anestezik ve analjezik preparatlar
- Antiseptik ve antiinflamatuvar ajanlar
- Krem, pomad veya jel formunda topikal kortikosteroidler
- Sukralfat gibi mukozayı koruyucu antiasit ajanlar
- Kimyasal olarak stabil tetrasiklin süspansiyonları
- Amiloglukozidaz ve glukoz oksidaz içeren medikal diş macunları
- Gümüş nitrat uygulamaları

13. Sjögren Sendromu

Tanım, Klinik Bulgular ve Tanı

Sjögren sendromu, tükürük ve lakrimal bezleri etkileyen, lenfositik infiltrasyon sonucunda ekzokrin bezlerde destrüksiyon ve sekresyon azalmasına yol açan kronik otoimmün bir hastalıktır (Ibsen ve Phelan, 2009). Tükürük sekresyonunun azalması hiposalivasyona ve buna bağlı olarak **kserostomiye**, gözyaşı sekresyonunun azalması ise **kseroftalmiye** neden olur.

Hastalığın prevalansının %0,5–3 arasında olduğu bildirilmektedir ve kadınlarda erkeklere kıyasla yaklaşık 9:1 oranında daha sık görülür. Tanı çoğunlukla 50 yaş civarında konur. Olguların yaklaşık %50'sinde romatoid artrit veya sistemik lupus eritematozus gibi başka otoimmün hastalıklar eşlik edebilir. İzole bez tutulumu primer Sjögren sendromu, başka bir otoimmün hastalıkla birlikte görülmesi ise sekonder Sjögren sendromu olarak tanımlanır (Bascones-Martínez ve ark., 2015; Margaix-Muñoz ve ark., 2009).

Oral bulgular hastalığın en belirgin klinik özellikleri arasındadır. Kserostomi, diş çürüğü riskinde artışa, plak birikimine, gingival inflamasyona ve fırsatçı enfeksiyonların gelişimine zemin hazırlar. Özellikle Candida enfeksiyonları sık görülmektedir. Ayrıca parotis bezlerinde bilateral ve simetrik büyüme olguların yaklaşık %50'sinde saptanabilir. Histopatolojik incelemede lenfositik infiltrasyon ve epimyoepitelyal adacıkların varlığı tipik bulgular arasındadır (Margaix-Muñoz ve ark., 2009).

Sjögren sendromunda sistemik bulgular da görülebilir. Hastaların yaklaşık %20'sinde Raynaud fenomeni gelişebilir ve buna artralji, miyalji veya asteni eşlik edebilir. Laboratuvar incelemelerinde romatoid faktör pozitifliği (%90), anti-Sjögren A (Ro) ve anti-Sjögren B (La) antikorlarının varlığı saptanabilir (Ibsen ve Phelan, 2009).

Tanı klinik bulguların yanı sıra laboratuvar ve histopatolojik değerlendirmeye dayanır. Tükürük akış hızının ölçülmesi ve minör tükürük bezi biyopsisi tanıda en sık kullanılan yöntemler arasındadır (Margaix-Muñoz ve ark., 2009).

Tedavi ve Periodontal Yaklaşım

Sjögren sendromunda tedavi çoğunlukla semptomatik yaklaşımlara dayanır. Artralji gibi sistemik semptomların kontrolünde nonsteroid antiinflatuvar ilaçlar kullanılabilir; gerekli durumlarda kortikosteroidler veya immünsupresif ajanlar tercih edilebilir.

Kserostomiye bağlı semptomların kontrolünde yapay tükürük preparatları, şekersiz sakız, pilokarpin ve yapay gözyaşı preparatları uygulanabilir. Oral hijyenin sağlanması büyük önem taşır çünkü azalmış tükürük akışı diş çürüğü, gingival inflamasyon ve oral enfeksiyon riskini artırmaktadır.

Periodontal açıdan hastaların düzenli takip edilmesi, plak kontrolünün sağlanması ve sekonder enfeksiyonların erken dönemde tedavi edilmesi önemlidir.

14. Graft-versus-Host Hastalığı (GVHD)

Tanım, Klinik Bulgular ve Histopatoloji

Graft-versus-host hastalığı (GVHD), allojenik hematopoetik kök hücre nakli sonrasında gelişebilen önemli bir komplikasyondur. Bu durumda donörden gelen immün hücreler alıcının dokularını yabancı olarak tanıyarak immün yanıt oluşturur ve çeşitli organlarda hasara yol açabilir. Oral tutulum özellikle kronik GVHD olgularında sık görülür ve genellikle nakilden sonraki ilk üç yıl içerisinde ortaya çıkar. Oral mukozada görülen lezyonlar klinik olarak sıklıkla oral liken planus benzeri özellikler gösterir.

Oral bulgular arasında:

- Liken planus benzeri beyaz retiküler çizgiler

- Hiperkeratotik plaklar
- Mukozal atrofi ve eritem
- Ülserasyonlar
- Yanma hissi
- Fibroze bağlı ağız açıklığında kısıtlılık
- Tükürük bezi tutulumu sonucu gelişen kserostomi yer alabilir.

Histopatolojik incelemede oral liken planusa benzer değişiklikler izlenebilir. Bu bulgular arasında hiperortokeratoz, testere dişi görünümünde rete çıkıntılar, bazal hücre dejenerasyonu ve minör tükürük bezlerinde periduktal inflamasyon yer alır. Hastalığın ileri dönemlerinde fibrotik değişiklikler gelişebilir.

Tedavi ve Prognoz

GVHD tedavisi hastalığın şiddetine bağlı olarak değişir. Hafif olgularda topikal kortikosteroidler kullanılabilirken daha şiddetli vakalarda sistemik immünsüpresif tedavi gerekebilir.

Hastalığın prognozu da klinik şiddet ile yakından ilişkilidir. Hafif seyreden GVHD olgularında altı yıllık sağkalım oranı yaklaşık %70 olarak bildirilirken, ağır GVHD vakalarında bu oran yaklaşık %15'e kadar düşebilmektedir.

SONUÇ

Otoimmün ve immün aracılı oral mukozal hastalıklar, ağız boşluğunda farklı klinik görünümle ortaya çıkabilen ve bazı durumlarda sistemik hastalıkların ilk bulgusu olabilen önemli patolojilerdir. Oral liken planus, pemfigus vulgaris, muköz membran pemfigoidi ve benzeri vezikülobüllöz hastalıklar ile lupus eritematozus, Behçet hastalığı, sistemik skleroz ve Sjögren sendromu gibi sistemik hastalıklar oral mukozada çeşitli lezyonlara yol açabilir.

Bu hastalıklarda oral bulguların erken dönemde tanınması büyük önem taşımaktadır. Özellikle deskuamatif gingivitis gibi klinik tablolar altta yatan otoimmün hastalıkların göstergesi olabilir. Bu nedenle diş hekimleri ve periodontologlar erken tanı ve uygun yönlendirme açısından önemli bir role sahiptir.

Tanı sürecinde klinik değerlendirme, histopatolojik inceleme ve immünolojik testlerin birlikte yorumlanması gereklidir. Periodontal yaklaşımda ise travmadan kaçınma, etkin plak kontrolü ve sekonder enfeksiyonların önlenmesi temel prensiplerdir. Bu hastalıkların yönetiminde multidisipliner yaklaşım ve düzenli klinik takip büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Albilia, J. B., Lam, D. K., Clokie, C. M., & Sándor, G. K. (2007). Systemic lupus erythematosus: A review for dentists. *Journal of the Canadian Dental Association*, 73, 823–828.
- Amagai, M. (2003). Desmoglein as a target in autoimmunity and infection. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 48(2), 244–252.
- Au, J., Patel, D., & Campbell, J. H. (2013). Oral lichen planus. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 25(1), 93–100.
- Bascones-Martínez, A., García-García, V., Meurman, J. H., & Requena-Caballero, L. (2015). Immune-mediated diseases: What can be found in the oral cavity? *International Journal of Dermatology*, 54(3), 258–270.
- Bystryń, J. C., & Rudolph, J. L. (2005). Pemphigus. *The Lancet*, 366(9479), 61–73.
- Carrozzo, M., & Gandolfo, S. (1999). The management of oral mucous membrane pemphigoid. *Oral Diseases*, 5(3), 196–205.
- Carrozzo, M., & Thorpe, R. (2009). Oral lichen planus: A review. *Minerva Stomatologica*, 58(10), 519–537.
- Cawson, R. A. (1968). Treatment of oral lichen planus with betamethasone. *British Medical Journal*, 1(5584), 86–89.
- Chan, L. S., Ahmed, A. R., Anhalt, G. J., Bernauer, W., Cooper, K. D., Elder, M. J., ... Woodley, D. T. (1995). The first international consensus on mucous membrane pemphigoid. *Archives of Dermatology*, 131(10), 1165–1171.
- Eisen, D. (2002). The clinical features, malignant potential, and systemic associations of oral lichen planus. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 93(4), 431–437.
- Eisen, D. (2003). Pemphigus vulgaris: Clinical features and management. *Oral Diseases*, 9(4), 165–175.
- Femiano, F., Lanza, A., Buonaiuto, C., et al. (2002). Guidelines for diagnosis and management of desquamative gingivitis. *Journal of Periodontology*, 73(11), 1272–1278.

- Ibsen, O. A. C., & Phelan, J. A. (2009). *Oral pathology for the dental hygienist* (5th ed.). Saunders.
- Lehner, T., & Lyne, C. (1969). Adrenal function during topical oral corticosteroid treatment. *British Medical Journal*, 4(5676), 138–141.
- Lo Russo, L., Fierro, G., Guiglia, R., et al. (2009). Epidemiology of desquamative gingivitis in patients with oral lichen planus. *Journal of Clinical Periodontology*, 36(8), 677–682.
- Mansourian, A., Momen-Heravi, F., Saheb-Jamee, M., et al. (2011). Comparison of aloe vera mouthwash with triamcinolone acetonide for oral lichen planus. *American Journal of the Medical Sciences*, 342(6), 447–451.
- Margaix-Muñoz, M., Bagán, J. V., Poveda, R., Jiménez, Y., & Sarrión, G. (2009). Sjögren's syndrome of the oral cavity: Review and update. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 14(7), E325–E330.
- Mustafa, M. B., Porter, S. R., Smoller, B. R., & Sitaru, C. (2015). Oral mucosal manifestations of autoimmune skin diseases. *Autoimmunity Reviews*, 14(10), 930–951.
- Neville, B. W., Damm, D. D., Allen, C. M., & Chi, A. C. (2016). *Oral and maxillofacial pathology* (4th ed.). Elsevier.
- Rhodus, N. L., & Johnson, D. K. (1990). The prevalence of oral manifestations of systemic lupus erythematosus. *Quintessence International*, 21(6), 461–465.
- Saccucci, M., Di Carlo, G., Bossù, M., Giovarruscio, F., Salucci, A., & Polimeni, A. (2018). Autoimmune diseases and their manifestations in the oral cavity. *Journal of Immunology Research*, 2018, 6061825.
- Scully, C., & Carrozzo, M. (2008). Oral mucosal disease: Lichen planus. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 46(1), 15–21.
- Scully, C., & Challacombe, S. J. (2002). Pemphigus vulgaris: Update on etiopathogenesis, oral manifestations and management. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 13(5), 397–408.
- Scully, C., Gorsky, M., & Lozada-Nur, F. (2008). The diagnosis and management of recurrent aphthous stomatitis. *Journal of the American Dental Association*, 139(7), 897–905.
- Scully, C., & Porter, S. R. (1997). The clinical spectrum of desquamative gingivitis. *Journal of Periodontology*, 68(3), 224–229.
- Sugerman, P. B., Savage, N. W., Walsh, L. J., et al. (2002). The pathogenesis of oral lichen planus. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 13(4), 350–365.

- Van der Meij, E. H., Schepman, K. P., Smeele, L. E., et al. (2003). A review of the recent literature regarding malignant transformation of oral lichen planus. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 96(2), 164–171.
- Vincent, S. D. (1994). Clinical management of idiopathic and autoimmune disease involving oral mucous membrane. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 6(3), 465–477.
- Warnakulasuriya, S. (2018). Oral potentially malignant disorders: A comprehensive review. *Oral Oncology*, 86, 82–90.

PERİODONTAL VE PERİ-İMLANT DOKULARDA BİYOMEKANİK STABİLİTENİN KLİNİK ÖNEMİ

Halil İbrahim AYGÜN

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-2617-7088
- ❖ Mail: iaygun@outlook.com.tr

GİRİŞ

Diş eksikliklerinin tedavisinde dental implantların kullanımı, günümüz diş hekimliğinde oldukça öngörülebilir ve güvenilir bir yöntemdir (Tallarico ve ark., 2025). İmplant destekli restorasyonların uzun dönem klinik başarısı yalnızca başarılı bir cerrahi prosedür ve kemik entegrasyonuna (osseointegrasyon) değil, aynı zamanda implantı çevreleyen dokuların biyomekanik stabilitesinin yaşam boyu korunmasına bağlıdır (Ríos-Orsorio ve ark., 2025). Doğal dişleri çevreleyen periodontal dokular ile implantları çevreleyen peri-implant dokuların oklüzal kuvvetlere verdikleri biyomekanik, hücresel ve immünolojik yanıtlar birbirinden tamamen farklıdır (Chang ve ark., 2021). Bu temel farklılıkların anlaşılabilmesi ve biyomekanik prensiplere uygun olmayan protetik veya cerrahi tasarımların yapılması; vida gevşemesi ve restorasyon kırıkları gibi mekanik komplikasyonların yanı sıra, marjinal kemik kaybı ve peri-implantitis gibi geriye dönüşü olmayan ciddi biyolojik komplikasyonlara neden olabilmektedir (Tallarico ve ark., 2025). Geleneksel yaklaşımlar genellikle sadece mikroorganizmalara odaklansa da, güncel bilimsel kanıtlar mekanik aşırı yüklemenin (*overload*) enflamatuvar süreçleri doğrudan hızlandırdığını kanıtlamaktadır (Ng ve ark., 2024; Tallarico ve ark., 2025).

Bu bölümün amacı, oklüzal kuvvetlerin periodontal ve peri-implant dokuları nasıl etkilediğini hücresel, anatomik ve biyomekanik düzeyde derinlemesine incelemek ve uzun dönem klinik başarıyı artıracak kanıta dayalı stratejileri sunmaktır.

1. Periodontal ve Peri-İmplant Dokuların Yapısal ve Histolojik Temelleri

1.1. Suprakrestal Doku Ataşmanı ve Biyolojik Mühür

Oklüzal kuvvetlerin doğal dişler ve dental implantlar üzerindeki etkilerindeki temel farklılık, bu iki yapının çevre dokularla kurduğu anatomik ve histolojik bağlantının doğasından kaynaklanmaktadır. Periodontal dokularda geçmişte "biyolojik genişlik" olarak bilinen yapı, güncel terminolojide suprakrestal doku ataşmanı (*Supracrestal Tissue Attachment*-STA) olarak yeniden tanımlanmıştır (Ríos-Orsorio ve ark., 2025). STA; koronalde yer alan birleşim epiteli ile apikalde yer alan suprakrestal bağ dokusunun toplam dikey boyutunu ifade eder. Doğal dişlerde bu boyutun ortalama 1,7 mm ile 2,7 mm arasında değiştiği bildirilmiştir (Ríos-Orsorio ve

ark., 2025). Dental implantlarda ise bu fizyolojik bariyer çok daha geniş bir adaptasyona ihtiyaç duyar ve STA boyutları genellikle 3,0 mm ile 4,0 mm gibi daha geniş bir alanı kapsamaktadır (Ríos-Osorio ve ark., 2025).

Doğal dişler alveol kemiğine periodontal ligament (PDL) aracılığıyla bağlanır. PDL, içerdiği zengin kollajen lif ağı, hücresel elemanlar ve interstisyel sıvı sayesinde çigneme kuvvetlerini hidrolik bir mekanizmayla sönümleyen viskoelastik bir sönümleyici mekanizma görevi görür (Chang ve ark., 2021; Kosewski ve ark., 2025). Doğal dişlerdeki bağ dokusu lifleri (Sharpey lifleri) kök sementine dik bir açıyla uzanıp dokunun içine gömülerek çok güçlü bir mekanik tutunma sağlarken, peri-implant bağ dokusu lifleri implant yüzeyine yalnızca paralel seyretmekte ve titanyum yüzeye doğrudan yapısal bir atışman oluşturmamaktadır (Chang ve ark., 2021; Ríos-Osorio ve ark., 2025).

Epitelyal bağlantı incelendiğinde; peri-implant epiteli, histolojik olarak doğal dişteki birleşim epiteline benzese de, hücreler arası bağlantı kompleksleri, mekanik direnç ve hermetik mühür kapasitesi açısından oldukça zayıftır. Doğal dişlerde epitelin dişe tutunmasını sağlayan hemidesmozomlar tüm arayüz boyunca izlenirken, implantlarda bu güçlü bağlantılar genellikle sadece epitelin krestal kemiğe komşu olan en apikal bölgesi ile sınırlı kalmaktadır. Dokusal vaskülarizasyon açısından da peri-implant dokular, PDL'nin sunduğu zengin kan desteğinden mahrumdur ve yalnızca terminal kan damarları ile beslenirler. Tüm bu anatomik, yapısal ve vasküler farklılıklar, peri-implant biyolojik mührün mekanik travmalara ve mikrobiyal sızıntıya karşı doğal dişe kıyasla çok daha savunmasız kalmasına yol açar (Ríos-Osorio ve ark., 2025). Doğal dişleri çevreleyen periodontal dokular ile dental implantları çevreleyen peri-implant dokular arasındaki temel yapısal ve biyomekanik farklılıklar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Doğal diş ve dental implantı çevreleyen dokuların yapısal ve biyomekanik karşılaştırması

Yapısal ve biyomekanik özellikler	Periodontal doku	Peri-implant doku
Kemiğe atışman biçimi	Periodontal ligament (PDL)	Fonksiyonel ankiloz (Osseointegrasyon)
Bağ dokusu lif oryantasyonu	Kök yüzeyine dik ve gömülü (Sharpey lifleri)	İmplant yüzeyine paralel ve atışmansız
Biyolojik bariyer (STA) boyutu	Yaklaşık 1,7 ile 2,7 mm	Genellikle 3,0 ile 4,0 mm
Dokusal vaskülarizasyon	Zengin kan desteği (PDL pleksusu mevcut)	Zayıf kan desteği (Sadece terminal damarlar)

Kuvvet iletimi ve sönümleme	Yüksek sönümleme (Viskoelastik yanıt)	Sönümleme yok (Rijit yük aktarımı)
Fizyolojik mobilité (Aksiyel)	25 ile 100 µm	3 ile 5 µm

1.2. Keratinize Mukoza ve Yumuşak Doku Fenotipinin Rolü

Biyomekanik stabilitenin sürdürülmesinde ve alttaki krestal kemiğin korunmasında keratinize mukoza genişliği ve yumuşak doku kalınlığının (fenotip) koruyucu bir bariyer olarak taşıdığı klinik önem tartışılmazdır (Gunpinar ve ark., 2020). Peri-implant fenotipin en önemli parçası olan keratinize mukoza, mekanik strese ve çiğneme kaslarının çekme kuvvetlerine karşı implant çevresi dokuları koruyan temel yapıdır. Yapılan geniş çaplı klinik çalışmalarda, keratinize mukoza genişliğinin 2,0 mm'den az olmasının; plak birikiminin artması, fırçalama sırasında rahatsızlık ve ağrı hissi, mukozal çekilme ve krestal kemik kaybı riski ile doğrudan ve istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ilişkili olduğu kanıtlanmıştır (Gunpinar ve ark., 2020).

Mukoza kalınlığı açısından değerlendirildiğinde ise, 2,0 mm ve üzerindeki kalınlığın peri-implant sağlığı ideal şekilde koruduğu saptanmıştır. İnce fenotipe sahip bireylerde (< 2,0 mm kalınlık), oklüzal yüklerin oluşturduğu stres ve protetik parçaların baskısı kemik yüzeyine çok daha kolay iletilmekte ve bu durum krestal kemik rezorpsiyonunu hızla tetikleyebilmektedir (Ríos-Orsorio ve ark., 2025). Bu biyolojik veriler ışığında; yetersiz yumuşak doku boyutlarına sahip bölgelerde, implant cerrahisi sırasında veya protez aşamasına geçilmeden önce bağ dokusu veya serbest diş eti greftleme işlemlerinin uygulanması, uzun dönem biyomekanik ve biyolojik stabilitenin sağlanması için vazgeçilmez bir stratejidir (Ríos-Orsorio ve ark., 2025).

1.3. Geçiş Zonu ve Subkrestal Zon Kavramları

Geleneksel iki boyutlu STA modelleri, özellikle krestal kemik seviyesinin altına (subkrestal) yerleştirilen implantlarda yumuşak dokunun üç boyutlu adaptasyonunu ve biyomekanik doğasını tam olarak açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Bu eksikliği gidermek ve klinik yaklaşımları modernize etmek amacıyla, subkrestal yerleştirilmiş implantların çevresindeki doku yapısını tanımlayan geçiş zonu (*Transitional Zone-TZ*) ve subkrestal zon (*Subcrestal Zone-SZ*) kavramları geliştirilmiştir (Won, 2025).

TZ, peri-implant mukozanın implant üstü restorasyonun çıkış profiline yatay ve dikey boyutta boyun eğerek adapte olduğu bölgedir. SZ ise, krestal kemik seviyesinin doğrudan altında kalan ve implant gövdesi ile temas eden mikroskobik yumuşak doku bölgesidir (Won, 2025). Subkrestal yerleşim, geçiş zonunun yüzey alanını artırarak alveolar kemikten gelen kan akışının daha geniş bir alana yayılmasını sağlar. Bu iki bölgenin kusursuz entegrasyonu, epitelin apikale göçünü fiziksel olarak durduran, kendi kendini idame ettiren ve stabilizasyonu sağlayan bir yapı oluşturarak peri-implant stabilitenin biyomekanik sınırlarını çizer (Won, 2025).

2. Biyomekanik Kuvvetlerin İletimi ve Doku Yanıtı

2.1. PDL'nin Sönümleyici Etkisi ve İmplantların Rijit Yük Aktarımı

Doğal dişler, çiğneme ve parafonksiyon sırasında oluşan oklüzal kuvvetleri, kök yüzeyi ile alveol kemiği arasında yer alan ve kalınlığı 0,15 ile 0,38 mm arasında değişen son derece özelleşmiş PDL aracılığıyla kemiğe iletirler. PDL, içerdiği kollajen lifler ve sıvı dinamikleri sayesinde biyolojik bir viskoelastik yapıya sahiptir. Bu yapı, ani ve yüksek çiğneme kuvvetleri karşısında mikrosaniyeler içinde esneyerek kuvvetleri sönümleyen ve kemiğe yumuşatılmış bir şekilde aktaran mükemmel bir sönümleyici mekanizma görevi görür (Chang ve ark., 2021; Kosewski ve ark., 2025).

Buna karşın, dental implantlar kemik ile doğrudan hücresel ve yapısal bir temas kurarlar ve bu durum fonksiyonel ankiloz olarak adlandırılır. İmplant ile kemik arasında herhangi bir viskoelastik veya sıvı bazlı tamponlayıcı mekanizma bulunmaz. Kemiğe doğrudan bağlanan bu rijit bağlantı, implantların yük aktarımında tamamen katı bir davranış sergilemesine neden olur (Gao ve ark., 2019). Doğal dişler fizyolojik kuvvetler altında aksiyal yönde 25 ile 100 µm, horizontal yönde ise 56 ile 108 µm esneyerek yer değiştirebilirken; dental implantların kısıtlı esneme kapasitesi aksiyal yönde sadece 3 ile 5 µm, yatay yönde ise 10 ile 50 µm ile sınırlıdır. Bu dramatik fark, uygulanan tüm oklüzal stresin implant-kemik arayüzünde filtre edilmeden doğrudan toplanmasına ve yıkıcı etkilere yol açmasına neden olur (Chang ve ark., 2021).

2.2. Sonlu Elemanlar Analizi Işığında Stres Dağılım Profilleri ve Kemik Yoğunluğu

Biyomekanik kuvvetlerin doğal dişler ve implantlar üzerindeki dağılım farklılıkları, üç boyutlu bilgisayar destekli sonlu elemanlar analizi (*Finite Element Analysis*-FEA) çalışmalarıyla sayısal olarak net bir şekilde kanıtlanmıştır. Doğal dişlerde oklüzal kuvvetler kök yüzeyi boyunca apikale doğru eşit ve homojen bir şekilde yayılırken; dental implantlarda oklüzal yüklerin tümü ağırlıklı olarak implantın boyun bölgesini çevreleyen krestal kemikte (özellikle kortikal kemik tabakasında) yoğunlaşmaktadır (Aguilar ve ark., 2019).

Bu stres birikiminin şiddeti, hastanın kemik kalitesi ve implantın makro-geometrisi ile doğrudan ilişkilidir. Düşük yoğunluklu trabeküler kemikte, titanyumun elastikiyet modülünün (yaklaşık 110 GPa) spongioz kemiğin elastikiyet modülünden (1 ile 3 GPa) katbekat yüksek olması, kuvvet iletimi sırasında arayüzde devasa biyomekanik uyumsuzluklara neden olur (Mehboob ve ark., 2025). FEA çalışmaları, oklüzal tablanın merkezine yönlendirilmeyen eksen dışı (*off-axial*) ve lateral kuvvetlerin varlığında, krestal kemik üzerindeki *von Mises* stres değerlerinin kortikal kemiğin fizyolojik tolerans sınırlarını aşarak patolojik düzeylere ulaşabildiğini doğrulamıştır (Kriswanto ve ark., 2025). Ayrıca, implant yiv tasarımlarının analizi; V şekilli ve ters destek (*reverse buttress*) yivlerin, kare veya standart yivlere kıyasla stresi daha iyi dağıttığını ve krestal bölgedeki yük konsantrasyonunu azalttığını ortaya koymuştur (Kriswanto ve ark., 2025). Dental implantlarda sıkça kullanılan farklı yiv tasarımlarının kuvvet iletim karakteristikleri ve biyomekanik etkileri Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Dental implantlarda kullanılan temel yiv tasarımlarının biyomekanik özellikleri ve stres dağılım profilleri

Yiv tasarımı	Geometrik özellik	Biyomekanik etki ve stres dağılım profili
V-şekilli yiv (<i>V-thread</i>)	Yiv açıları dar, yiv yüzeyleri birbirine simetrik eğimli.	- Kemiğe kesme (<i>shear</i>) kuvvetleri iletir. - Yerleştirme sırasında yüksek sürtünme yaratarak primer stabiliteyi artırır ancak oklüzal yük altında krestal stresi yükseltir
Kare yiv (<i>Square thread</i>)	Yiv yüzeyleri implantın uzun aksına dik.	Kesme kuvvetlerini elimine ederek doğrudan kompresif (baskı) kuvvetleri oluşturur.

		Düşük yoğunluklu (Tip III, Tip IV) kemikte stresi en homojen dağıtan tasarımlardan biridir
Destek yiv (<i>Buttress</i>)	Apikal yüzeyi düz, koronal yüzeyi eğimli.	- Kompresif ve kesme kuvvetlerini bir arada iletir. - Çiğneme kuvvetlerini implant gövdesine doğru yönlendirerek kemik-implant arayüzündeki mikro-hasarı azaltır
Ters destek yiv (<i>Reverse buttress</i>)	Koronal yüzeyi düz, apikal yüzeyi eğimli.	- Oklüzal yükleri çekme (<i>tensile</i>) kuvvetlerine dönüştürerek kemiğe aktarır. - Krestal kemik üzerindeki patolojik gerinimi anlamlı ölçüde azaltarak kemik yıkımını engeller

2.3. Mikromobilité, Wolff Kanunu ve Stres Kalkanlaması

Kemik dokusu, statik bir yapı değil; üzerine etki eden mekanik yüklere göre yapısını, yoğunluğunu ve trabeküler oryantasyonunu sürekli olarak yeniden düzenleyen dinamik bir organdır. Bu fizyolojik adaptasyon mekanizması ortopedide ve diş hekimliğinde Wolff Kanunu ile açıklanmaktadır (Gao ve ark., 2019).

Bu kanuna göre alveol kemiği, fonksiyonel uyarıların yönüne ve büyüklüğüne adapte olarak yeniden şekillenme (*remodelling*) geçirir ve güçlü oklüzal kuvvetler altında osteositlerin aktivasyonu ile kemik yoğunluğunu artırır. Ancak, dental implantların aşırı rijitliği ve yüksek elastisite modülü nedeniyle kemiğin beklenen fizyolojik mekanik uyarıdan mahrum kalması, stres kalkanlaması (*stress shielding*) adı verilen bir fenomene yol açar. Bu fenomen, kemiğin kullanılmadığı yanılışına düşmesine ve buna bağlı kullanıma atrofisine (*disuse atrophy*) girmesine neden olabilir (Mehboob ve ark., 2025). Titanyum ile kemik arasındaki bu elastisite modülü uyumsuzluğunu (stres kalkanlamasını) aşmak amacıyla, günümüzde spongiöz kemiğin trabeküler yapısını taklit eden üç boyutlu yazıcı tabanlı poröz (gözenekli) titanyum implantlar veya kemiğe çok daha yakın bir esneme kapasitesine (3 ile 4 GPa) sahip polietilen eter keton (PEEK) bazlı implant tasarımları geliştirilmektedir. Bu yeni nesil biyomateryaller, oklüzal yüklerin kemiğe çok daha fizyolojik bir limitte iletilmesini sağlayarak biyomekanik uyumu maksimize etmeyi hedeflemektedir (Mehboob ve ark., 2025).

Öte yandan, implantın kemik içindeki mekanik stabilitesinin henüz tam oluşmadığı iyileşme fazında maruz kaldığı hareketlilik son derece kritiktir. Yükleme sırasında oluşan 50 ile 150 µm arasındaki mikroskobik hareketlerin (mikromobilité), osteoblastik aktiviteyi bozarak kemik rezorpsiyonuna zemin hazırladığı ve implant yüzeyinde başarılı bir osseointegrasyon yerine başarısız bir fibröz doku enkapsülasyonu ile sonuçlanabileceği bildirilmektedir (Gao ve ark., 2019). Bu eşiğin aşılmaması, erken veya hemen yükleme protokollerinin başarısı için en temel kuraldır.

3. Protetik ve Cerrahi Tasarımın Biyomekanik Stabiliteye Etkisi

3.1. Çıkış Profili ve Çıkış Açısı

İmplant platformundan başlayarak protetik restorasyonun kuron kısmına kadar uzanan ve yumuşak doku içinden geçen bölgeyi tanımlayan çıkış profili (*emergence profile*), peri-implant dokuların sağlığını hem biyolojik hem de mekanik olarak doğrudan etkiler (Izzetti ve ark., 2025). Çıkış profilleri genel olarak konkav, konveks ve düz profiller olarak sınıflandırılmaktadır.

Konkav profiller, implantın boyun bölgesinde yumuşak doku adaptasyonu için daha fazla biyolojik hacim sağlayarak bağ dokusu kalınlığını desteklerken; konveks profiller yumuşak dokular üzerinde apikal yönde şiddetli bir mekanik baskı oluşturur. Literatürdeki güncel klinik çalışmalar, subgingival bölgedeki subkritik konturda oluşturulan konveks tasarımların ve implantın uzun aksına göre 30 dereceden büyük çıkış açılarına (*emergence angle*) sahip restorasyonların, krestal kemiğe uygulanan baskıyı patolojik seviyelere taşıdığını göstermektedir. Bu durum, doku iskemisine yol açarak marjinal kemik rezorpsiyonu ve peri-implantitis riskini doğrudan ve istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yükseltmektedir (Izzetti ve ark., 2025; Tallarico ve ark., 2025). İmplant destekli restorasyonlarda kullanılan farklı çıkış profili tasarımlarının peri-implant dokular üzerindeki biyomekanik ve biyolojik etkileri Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. İmplant destekli restorasyonlarda çıkış profili tasarımlarının biyomekanik ve klinik karşılaştırması

Çıkış profili tasarımı	Biyomekanik ve biyolojik etki	Klinik kullanım alanı ve uyarılar
Konkav (İçbükey)	Yumuşak doku adaptasyonu için biyolojik hacim sağlar, krestal kemiğe mekanik baskı yapmaz	Özellikle estetik bölgelerde, kalın bağ dokusu oluşturmak ve kemiği korumak için ilk tercihtir
Düz (Doğrusal)	İmplant platformundan kurona nötr bir geçiş sağlar, doku baskısı minimal düzeydedir	Estetiğin çok kritik olmadığı posterior bölgelerde, kolay temizlenebilirlik amacıyla tercih edilir
Konveks (Dışbükey)	Yumuşak dokular üzerinde apikal yönde şiddetli bir baskı (iskemi) ve mekanik stres yaratır	Subkritik (subgingival) alanda ve özellikle $> 30^\circ$ açılarla kullanımından kesinlikle kaçınılmalıdır

3.2. İmplant Açılanması, Derinliği ve Çap Seçimi

Cerrahi yerleşim sırasında implantın üç boyutlu açılanması, oklüzal yüklerin kemiğe iletim dinamiğini değiştiren temel faktörlerden biridir. Biyomekanik kurallara göre, çiğneme kuvvetlerinin implantın uzun aksına paralel (aksiyal) olarak iletilmesi ideal olmalıdır. İmplant açısı arttıkça, oklüzal kuvvetler eksen dışı bir karakter kazanır. FEA çalışmaları, implant açılanması 0° 'den 5° ve 10° 'ye çıkarıldığında bile hem implant gövdesinde hem de destekleyici kortikal kemikteki gerinim ve stres seviyelerinin katlanarak arttığını doğrulamaktadır (Bandela, 2025). *In vitro* mekanik analizler de, 0° açıyla yerleştirilen implantların, 15° ve 30° açılı yerleştirilenlere göre istatistiksel olarak daha yüksek primer stabilite ve düşük mikromobilite sergilediğini göstermiştir (Javiya ve ark., 2025).

Hatalı konumlandırılmış (malpoze) implantlar, oklüzal kuvvetlerin eksen dışı ve yıkıcı makaslama (shear) kuvvetleri olarak iletilmesine neden olarak implant kırığı ve peri-implantitis riskini dramatik şekilde artıran en önemli iatrojenik faktörlerden biridir (Tallarico ve ark., 2025). Bu biyomekanik handikabı önlemek ve kuvvetlerin uzun aks boyunca iletimini garanti altına almak için, protetik olarak yönlendirilen (prosthetically driven) implant planlamasının üç boyutlu radyografik verilerle entegre edildiği bilgisayar destekli kılavuzlu cerrahi (computer-guided surgery) sistemlerinin kullanımı günümüzde 'altın standart' olarak kabul edilmektedir (Al-Zahrani ve

ark., 2025; Tallarico ve ark., 2025). Kılavuzlu cerrahi, implantın komşu dişlere (minimum 1,5 mm) ve diğer implantlara (minimum 3,0 mm) olan ideal yatay mesafesini koruyarak biyomekanik yük dağılımını optimize eder ve uzun dönem stabiliteyi güvence altına alır.

Boyutsal olarak incelendiğinde, implant çapının artırılması, oklüzal streslerin kemiğe yayıldığı yüzey alanını genişleterek biyomekanik avantaj sağlar. Özellikle molar bölgelerde oklüzal kuvvetlerin 500 ile 800 Newton seviyelerine çıkabilmesi nedeniyle, kemik hacmi elverdiği ölçüde en az 4,5 mm veya daha geniş çaplı implantların kullanımı, implant kırığı riskini minimize etmek için bir klinik gerekliliktir (Kriswanto ve ark., 2025; Tallarico ve ark., 2025).

3.3. Kantilever Uzunlukları ve Biyomekanik Momentler

İmplant destekli sabit protezlerde doku desteği olmayan boşluklara uzanan kantileverler, biyomekanik olarak birinci sınıf bir kaldıraç kolu görevi görerek terminal destekte aşırı eğilme momentleri (*bending moments*) oluştururlar. Çiğneme kuvveti ile kantilever uzunluğunun çarpılmasıyla elde edilen bu momentler; vida gevşemesi, dayanak (*abutment*) kırığı, porselen kırığı (*chipping*), implant gövdesi kırığı ve marjinal kemik kaybı gibi sayısız komplikasyona zemin hazırlar (Ceresuela & Montero, 2024).

Klinik çalışmalar, kantilever boyu arttıkça peri-implant krestal kemik üzerindeki oklüzal stresin eksponansiyel olarak arttığını ortaya koymuştur (Ceresuela & Montero, 2024). Biyomekanik stabilitenin sürdürülebilir olması için antero-posterior (A-P) mesafenin (ark üzerindeki en anterior implantın merkezi ile bilateral en posterior implantların distal sınırlarını birleştiren hat arasındaki antero-posterior yöndeki dik mesafe) titizlikle hesaplanması gerekir. Genel kural olarak, üst çenede kemik yoğunluğunun düşük olması sebebiyle 12,0 mm'den, alt çenede ise 15,0 mm'den daha kısa kantilever uzunluklarının tercih edilmesi tavsiye edilmektedir (Berzaghi ve ark., 2025).

4. Oklüzyon Yönetimi: İmplant Koruyuculu Oklüzyon

4.1. Aksiyel Yükleme ve Oklüzal Tablanın Tasarımı

Doğal dişler ve dental implantlar arasındaki biyomekanik farklılıklar, oklüzal yüklerin karşılanmasında özel restoratif stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu gereksinimden yola çıkarak, implant üstü protezlerde

aşırı oklüzal yükleri sönmölemeyi, stresi azaltmayı ve implant-kemik arayüzünü korumayı amaçlayan implant koruyuculu oklüzyon (*Implant Protected Occlusion-IPO*) konsepti öne sürölmüştür. Bu yaklaşımın temel amacı, gelen kuvvetlerin ağırlıklı olarak implant gövdesinin uzun eksenı boyunca yönlendirilmesi ve yıkıcı horizontal kuvvetlerin en aza indirilmesi (Berzaghi ve ark., 2025). Bunu sağlamak için oklüzal anatomi modifiye edilmelidir.

Literatürde, oklüzal tüberkül eğimindeki her 10 derecelik artışın, implant gövdesi üzerinde yaklaşık %30 oranında ekstra bir tork kuvvetine sebep olduğu bildirilmiştir (Yıldırım ve ark., 2022). Bu nedenle özellikle posterior restorasyonlarda tüberkül eğimleri düzleştirilmiş ve merkeze yönlendirilmiş, 1,0 ile 1,5 mm'lik düz yüzeye sahip kontak alanlarının oluşturulması tavsiye edilmektedir. Ek olarak, restorasyonun bukkolingual genişliğinin daraltılarak oklüzal tablanın küçültölmesi, oklüzal kuvvetlerin eksen dışına kaymasını engelleyen kritik bir biyomekanik stratejidir (Berzaghi ve ark., 2025).

4.2. Oklüzal Şemalar, Prematür Temaslar ve Parafonksiyonel Alışkanlıklar

İmplant restorasyonlarında seçilecek oklüzal şema, karşıt arkın durumuna göre belirlenmelidir. Eğer karşıt arkta tam protez mevcutsa, yükün tüm dokulara eşit dağılması için bilateral balanslı oklüzyon; karşıt ark doğal dişli ise, kuvvetleri implanttan uzaklaştırmak amacıyla anterior koruyuculu veya grup fonksiyonlu oklüzyon tercih edilmelidir (Berzaghi ve ark., 2025).

Karşıt arkın durumuna ve klinik senaryoya göre implant restorasyonlarında tercih edilmesi önerilen oklüzal şemalar Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Klinik senaryolara ve karşıt arkın durumuna göre implant restorasyonlarında önerilen oklüzal şemalar

Klinik senaryo / Restorasyon tipi	Karşıt arkın durumu	Önerilen oklüzal şema	Biyomekanik amaç
İmplant destekli hareketli protez (Overdenture)	Tam protez	Bilateral balanslı oklüzyon	Yükün tüm mukozaya ve dokulara eşit şekilde dağıtılması
İmplant destekli sabit protez	Doğal dentisyon	Anterior koruyuculu oklüzyon	Yıkıcı horizontal kuvvetlerin posterior implantlardan uzaklaştırılması

Posterior implant destekli sabit protez (Kanin eksikliği/hasarı)	Doğal dentisyon	Grup fonksiyonlu oklüzyon	Yanal kuvvetlerin mevcut doğal dişler ve implantlar arasında paylaşılması
Diş - İmplant splintli restorasyon	Doğal dentisyon	Temas başlangıcında 30 ile 50 µm disklüzyon	Doğal dişin (PDL) fizyolojik esneme payına imkan tanınması
Bruksizm varlığında restorasyon	Doğal dentisyon / Protez	Posterior disklüzyon + Oklüzal splint	Gece oluşan kontrolsüz parafonksiyonel kuvvetlerin sönümlenmesi

Oklüzal uyumlamadaki milimetrik hatalar bile rijit yapıdaki dental implantlarda yıkıcı etkiler yaratabilir. Mandibulayı normal kapanma yolundan saptıran prematür temaslar, implantları oklüzal aşırı yüklenmeye son derece yatkın hale getirir. FEA çalışmalarında, implant destekli kronlara uygulanan 100 µm'nin üzerindeki prematür temasların bile krestal kemikte aşırı patolojik stres birikimine yol açtığı kanıtlanmıştır (Berzaghi ve ark., 2025).

Bruksizm gibi parafonksiyonel alışkanlıklar ise implant sağkalımını tehdit eden en temel risk faktörlerinden biridir. Sağlıklı bireylerde 200 ile 300 N civarında olan çiğneme kuvvetleri, bruksist bireylerde 800 ile 1000 N seviyelerine çıkabilmektedir. Bu durum; vida gevşemesi, porselen kırığı ve implant gövdesinin yorulmaya bağlı kırılması gibi mekanik komplikasyonlar için birincil tehlikedir (Tallarico ve ark., 2025). Bu yüksek riskli hastalarda monolitik zirkonya gibi yüksek eğilme dayanımına (*flexural strength*) sahip restoratif materyallerin seçilmesi, posterior disklüzyonun titizlikle sağlanması ve gece oluşan kontrolsüz parafonksiyonu sönümlemek amacıyla sert stabilizasyon splintlerinin kullanılması mutlak klinik gereklilikler arasındadır (Berzaghi ve ark., 2025; Tallarico ve ark., 2025).

4.3. Diş-İmplant Bağlantılı Restorasyonlarda Biyomekanik Stratejiler

Kısmi diş eksikliklerinde her ne kadar ilk tercih olmasa da, anatomik veya finansal kısıtlılıklar nedeniyle doğal dişler ile dental implantların aynı sabit protez altında splintlendiği durumlar klinik pratikte yer almaktadır (Yıldırım ve ark., 2022). Ancak bu durum biyomekanik olarak oldukça karmaşık bir yapı oluşturur. Viskoelastik PDL'ye sahip doğal dişin intrüzyon miktarı (25 ile 100 µm) ile kemiğe fonksiyonel ankiloz yoluyla (osseointegrasyon) doğrudan yapısal bağ kuran dental implantın esneme miktarı (3 ile 5 µm) arasındaki uçurum sebebiyle, yükleme sırasında esneyemeyen rijit implant tüm yükü tek başına üstlenmek zorunda kalarak

başarısızlığa uğrayabilir (Chang ve ark., 2021). Bu vakalarda biyomekanik uyumu sağlamak ve stresi dağıtmak adına; hafif oklüzal temas başlangıcında implantın oklüzal yüzeyi ile karşıt ark arasında 30 ile 50 µm'lik mikroskobik bir açıklık bırakılarak, doğal dişin fizyolojik esneme payına imkan tanınması önerilmektedir (Berzaghi ve ark., 2025). Ağır kapanışta ise her iki yapı da eşit temasa gelmelidir. Ayrıca, diş-implant bağlantılı restorasyonlarda doğal dişin veya implantın ortada *pier* destek (iki dişsiz boşluk arasında kalan tekil orta destek) olarak kullanılmasından kesinlikle kaçınılmalıdır; zira bu tasarım bir tahterevalli etkisi yaratarak uçlardaki dayanaklarda yıkıcı çekme ve eğilme kuvvetleri oluşturur (Yıldırım ve ark., 2022).

5. Biyomekanik Faktörlerin Peri-İmplant Hastalıklar Üzerindeki Etkisi

5.1. İmplant-Dayanak Arayüzü: Mikrogap, Mikrosızıntı ve Pompalama Etkisi

İmplant gövdesi ve ayrı bir protetik dayanaktan (*abutment*) oluşan iki parçalı dental implant sistemleri arasındaki fiziksel bağlantı bölgesinde oluşan mikroskobik boşluklar (*microgap*), biyomekanik ve biyolojik komplikasyonların temel odaklarından biridir. Oklüzal fonksiyon sırasında eksen dışı çiğneme kuvvetleri implant-dayanak (*abutment*) kompleksine etki ettiğinde, bu arayüzde mikromobiliteler ve eğilmeler meydana gelir. Bu hareketlilik, arayüzdeki boşluğun dönüşümlü olarak açılıp kapanmasıyla bir pompalama etkisi (*pumping effect*) yaratır (Mariam ve ark., 2024; Tallarico ve ark., 2025). Bu etki, ağız ortamındaki bakterilerin, bakteriyel toksinlerin ve enflamatuar sıvıların implantın iç kısımlarına sızmasına ve ardından oklüzal baskıyla tekrar dışarıya, peri-implant dokulara pompalanmasına yol açar (Mariam ve ark., 2024; Tallarico ve ark., 2025). Sürekli devam eden bu mikrobiyal sızıntı, peri-implant bağ dokusunda kronik bir enflamasyon başlatarak krestal kemik kaybını tetikler. Geleneksel eksternal hegzagonal (*external hex*) bağlantılara kıyasla, soğuk kaynak (*cold-weld*) prensibiyle çalışan derin konik bağlantıların (*Morse taper*) bu mikrosızıntıyı ve pompalama etkisini biyomekanik olarak çok daha başarılı bir şekilde engellediği kanıtlanmıştır (Mariam ve ark., 2024; Tallarico ve ark., 2025).

Bu arayüz problemlerini biyomekanik olarak ekarte etmek amacıyla geliştirilen platform kaydırma (platform switching) konsepti, günümüz implantolojisinde kritik bir standart haline gelmiştir. İmplant-dayanak bağlantı çapının, implant platform çapından daha dar tutulduğu bu tasarım, arayüzdeki mikroskobik boşluğu ve buna bağlı mikrobiyal sızıntı alanını

krestal kemikten implantın merkezine doğru uzaklaştırır. Sonlu elemanlar analizi (FEA) çalışmaları, platform kaydırma tasarımlarının krestal kortikal kemik üzerinde oluşan von Mises streslerini anlamlı ölçüde azalttığını ve oklüzal yüklerin daha homojen bir gerinim dağılımıyla iletilmesini sağlayarak marjinal kemik rezorpsiyonunu engellediğini kanıtlamıştır (Oliveira ve ark., 2020; Won, 2025).

5.2. Biyofilm Aracılı İnflamasyon ve Kemik Disregülasyonu Hipotezi

Geleneksel olarak peri-implantitis, doğal dişlerde izlenen periodontitise benzer şekilde yalnızca bakteriyel plağa bağlı gelişen enfeksiyöz bir hastalık olarak ele alınmıştır (Ng ve ark., 2024). Ancak, güncel kanıtlar hastalığın çok faktörlü doğasını ve biyomekanığın bu süreçteki yıkıcı etkisini ortaya koymaktadır. Peri-implantitisin patogenezi moleküler düzeyde açıklamak amacıyla öne sürülen biyofilm aracılı inflamasyon ve kemik disregülasyonu (*Biofilm-mediated Inflammation and Bone Dysregulation*-BIND) hipotezi, hastalığı; biyofilm, inflamasyon ve kemik biyolojisi arasındaki karmaşık ve sinerjik etkileşimlerin bir sonucu olarak tanımlar (Ng ve ark., 2024). Bu hipoteze göre, implant çevresinde sağlıklı hastalığa geçiş aniden değil, kademeli bir süreçtir. Bakteriyel plak varlığında tek başına tolere edilebilen hafif bir inflamasyon; biyomekanik aşırı yüklenme, hatalı ve dışbükey çıkış profilleri, artık siman varlığı veya yanlış konumlandırılmış implantlar gibi iatrojenik biyomekanik stres faktörleriyle birleştiğinde, lokal doku direncini hızla bozar. Bu durum, süreci klinik hastalığın ve hızlı kemik rezorpsiyonunun ortaya çıktığı bir kırılma noktasına (*tipping point*) taşır. Biyomekanik dengesizlik, immün sistemi aşırı uyatarak osteoklastların kontrolsüz aktivasyonuna yol açar ve kemik yıkım döngüsünü hızlandırır (Ng ve ark., 2024; Tallarico ve ark., 2025).

5.3. Tribokorozyon, Metal Salınımı ve İmmünolojik Yanıt

Biyomekanik aşırı yüklerin implant sistemlerinde yarattığı bir diğer biyolojik olarak yıkıcı komplikasyon, tribokorozyon fenomenidir. Çiğneme kuvvetlerinin, özellikle mikro-hareketliliğe izin veren bağlantı bölgelerinde yol açtığı tribolojik (sürtünmeye bağlı) aşınma ve ağız ortamının korozyon özellikleri bir araya geldiğinde, titanyum implantın yüzeyini koruyan pasif titanyum oksit tabakası parçalanır. Bu mikroskobik aşınma sonucunda, peri-implant dokulara ve krestal kemik çevresine çözünmüş titanyum iyonları ile mikro/nano boyutlu titanyum parçacıkları salınır (Mariam ve ark., 2024).

Çevre dokulara yayılan bu yabancı metalik partiküller, doğal bağışıklık sisteminin temel fagositik hücreleri olan makrofajlar tarafından fagositoz yoluyla yutulur. Fagozite ettikleri titanyum partiküllerini degrade edemeyen makrofajlar, pro-enflamatuar karakterdeki M1 fenotipine polarize olarak mikroçevreye yüksek düzeyde interlökin-1 β (IL-1 β), interlökin-6 (IL-6) ve tümör nekroz faktörü-alfa (TNF- α) gibi pro-enflamatuar sitokinler salgırlar. Bu aşırı sitokin salınımı, RANKL yolağını aktive edip osteoklast farklılaşmasını şiddetlendirerek bakteriyel biyofilmden tamamen bağımsız veya biyofilme eşlik eden çok şiddetli bir osteolize zemin hazırlar (Ng ve ark., 2024; Zhou ve ark., 2026).

6. Biyomekanik Stabilitenin Klinik Ölçümü

İmplant stabilitesinin klinik olarak objektif bir şekilde değerlendirilmesi, yükleme protokollerine güvenle karar verilmesi, hastaya özgü tedavi planlamasının yapılması ve uzun dönem osseointegrasyon başarısının izlenmesi açısından büyük önem taşır. Manuel tork anahtarları yalnızca yerleştirme anındaki sürtünme direncini (primer stabilite) ölçerken, kemiğin fizyolojik yeniden şekillenme (*remodelling*) ve osseointegrasyon sürecindeki sekonder stabiliteyi ölçmek için invaziv olmayan ileri teknoloji cihazlara ihtiyaç duyulur. Günümüzde bu ölçümler temel olarak rezonans frekans analizi ve sönümleme kapasitesi analizi olmak üzere iki farklı biyofiziksel teknolojiye dayanmaktadır (Dhahi & Bede, 2024). Bu biyofiziksel ölçüm yöntemleri ve yükleme protokolleri için güvenli kabul edilen klinik referans değerleri Tablo 5'te sunulmuştur.

6.1. Rezonans Frekans Analizi Yöntemi

Rezonans frekans analizi (*Resonance Frequency Analysis-RFA*) teknolojisini kullanan cihazlar (Örn. Osstell®, Osstell AB, Göteborg, İsveç), implanta veya dayanağa (*abutment*) vidalanan manyetik bir alüminyum ölçüm çubuğuna (SmartPeg™) elektromanyetik dalgalar göndererek çalışır. Çubuğun cihaz tarafından uyarılmasıyla oluşan mikroskobik titreşimlerin rezonans frekansı ölçülür. Elde edilen frekans değeri, bilgisayar algoritması ile 1 ile 100 arasında değişen klinik bir birim olan implant stabilite katsayısı (*Implant Stability Quotient-ISQ*) değerine dönüştürülür. Yüksek ISQ değeri, implantın kemik içindeki mikromobilitesinin düşük olduğunu, kemik-implant temas yüzeyinin (*Bone-to-Implant Contact-BIC*) geniş olduğunu ve biyomekanik stabilitenin yüksek olduğunu kesin olarak gösterir (Al-Jetaily & Al-dosari, 2011). Klinik uygulamalarda ve konsensüs raporlarında genel kural olarak; ISQ değerinin 70'in üzerinde olması hemen yükleme için güvenli bir

uygunluk olarak değerlendirilirken, 60'ın altındaki değerler düşük stabiliteye işaret ederek iyileşme sürecinin uzatılmasını ve risk alınmadan konvansiyonel yükleme protokolüne (3 ile 6 ay bekleme) geçilmesini gerektirir (Satwalekar ve ark., 2015).

6.2. Sönümlleme Kapasitesi Analizi Yöntemi

Sönümlleme kapasitesi analizi (*Damping Capacity Analysis-DCA*) teknolojisi, titreşimden ziyade implantı çevreleyen dokuların mekanik rijitliğini ve darbeyi sönümlleme yeteneğini ölçer. Bu prensiple çalışan ilk cihazlardan biri olan Periotest® (Medizintechnik Gulden, Bensheim, Almanya), sistemin ucunda bulunan elektronik bir çubuğun implanta saniyede 4 kez vurmasıyla, çubuğun geri sekme hızını ve dokuyla temas süresini değerlendirir. Sonuçlar - 8 ile + 50 arasında değişen Periotest değeri (*Periotest Value-PTV*) olarak verilir. PTV değerinin düşük olması (negatif değerlere yaklaşması) stabilitenin yüksek olduğunu gösterir; özellikle - 8 ile 0 arasındaki değerler başarılı ve rijit bir osseointegrasyona işaret ederken, 0 ile + 9 arası değerler sınırda bir stabiliteyi, + 10 ve üzeri değerler ise implant kaybı riskini veya başarısızlığı ifade eder (Al-Jetaily & Al-dosari, 2011; Satwalekar ve ark., 2015).

Son yıllarda bu teknolojiyi daha minimal invaziv bir yaklaşımla güncelleyen AnyCheck® (Neobiotech Co. Ltd., Seul, Güney Kore) cihazı ise; ölçüm için implanta SmartPeg™ gibi ilave bir parça vidalanmasını gerektiren RFA sistemlerinden veya doğrudan implant gövdesine/dayanağına (*abutment*) temas gerektirebilen geleneksel DCA cihazlarından farklı olarak, herhangi bir parçayı sökmeye gerek kalmadan doğrudan iyileşme başlığına (*healing abutment*) dokundurarak daha hafif vurma kuvvetleriyle ölçüm yapar. Bu cihaz, 1 ile 99 arasında değişen bir implant stabilite testi (*Implant Stability Test-IST*) değeri verir. IST değerinin 65'ten büyük olması, protetik yükleme için güvenli bir biyomekanik stabiliteye ulaşıldığını doğrular (Dhahi & Bede, 2024).

Tablo 5. Dental implant stabilitesini ölçen biyofiziksel yöntemler ve klinik referans değerleri

Ölçüm teknolojisi	Çalışma prensibi	Kullanılan cihaz örnekleri	Yükleme için güvenli kabul edilen klinik referans değeri
Rezonans frekans analizi (RFA)	Elektromanyetik dalgalarla mikroskobik titreşim ölçümü	Ostell®	ISQ değeri > 70

Sönümleme kapasitesi analizi (DCA)	Vurma hızına karşı dokuların mekanik rijitliğini ölçme	Periotest®	PTV değeri < 0 (- 8 ile 0 arası)
Modifiye DCA	Doğrudan iyileşme başlığı üzerinden hafif vurma ile ölçüm	AnyCheck®	IST değeri > 65

SONUÇ

Diş eksikliklerinin protetik rehabilitasyonunda kullanılan dental implantların uzun dönem klinik başarısı, sadece osseointegrasyonun sağlanmasının çok ötesinde, implantı çevreleyen sert ve yumuşak dokulardaki biyomekanik ve biyolojik faktörlerin kusursuz uyumuna bağlıdır. Doğal dişleri çevreleyen ve çiğneme yüklerini viskoelastik doğası sayesinde sönümleyen PDL'nin aksine, dental implantlar kemik ile ankilotik ve katı bir bağlantı kurarlar. Bu rijit yapı, implantları eksen dışı oklüzal kuvvetler, eğilme momentleri ve yıkıcı mikromobilitelere karşı doğal dişlerden çok daha savunmasız hale getirir.

Klinik başarı ve yaşam boyu biyomekanik stabilitenin sağlanması; cerrahi aşamada yeterli kemik desteğinin ve kalın (> 2,0 mm) keratinize yumuşak doku fenotipinin oluşturulması, protetik aşamada ise çıkış profilinin subkrestal bölgede krestal dokuyu mekanik olarak sıkıştırmayan konkav formlarda tasarlanması ile başlar. Buna ek olarak; uygun çap ve uzunlukta implant seçimi, kantilever uzunluklarının alveoler ark morfolojisine ve antero-posterior (A-P) mesafeye uygun limitlerde tutulması, mikrosızıntıyı önleyen konik dayanak (*abutment*) bağlantılarının kullanımı ve oklüzal temasların implantın uzun eksenini boyunca yönlendirildiği implant koruyuculu oklüzyon prensiplerinin uygulanması şarttır.

Biyomekanik aşırı yüklemelerin kontrol altına alınamaması durumunda meydana gelen mekanik yorulmalar, parça kırıkları ve metal yüzey aşınmalarının (tribokorozyon), makrofajları tetikleyerek peri-implantitis gibi immüno-enflamatuar ve osteolitik komplikasyonlara doğrudan zemin hazırladığı unutulmamalıdır. Sonuç olarak; temel biyolojik prensiplere dayalı, FEA analizleri gibi modern verilerle desteklenmiş, oklüzal yük dağılımını optimize eden hastaya özgü multidisipliner bir yaklaşım, implant destekli protezlerin uzun dönem klinik sağkalımını ve stabilitesini sürdürmesini sağlayacak temel unsurdur.

KAYNAKLAR

- Aguilar, L., Gatti, A., Abduo, J., Lee, P. V. S., & Ackland, D. (2019). Load response of the natural tooth and dental implant: A comparative biomechanics study. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 11(3), 167-175.
- Al-Jetaily, S., & Al-dosari, A. A. (2011). Assessment of Osstell™ and Periotest® systems in measuring dental implant stability (in vitro study). *The Saudi Dental Journal*, 23(1), 17-21.
- Al-Zahrani, A. A., Alshehri, M. M., Al-Khatib, A. A., & Wazzan, A. (2025). Optimizing dental implant success: Biomechanical insights, computer-guided precision and the role of open guide systems. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 17(1), 14-19.
- Bandela, V. (2025). Biomechanical analysis of stress distribution and force dynamics in Nobel Active implants at varying angulations: A finite element study. *Acta Stomatologica Croatica*, 59(3), 236-246.
- Berzaghi, A., Testori, T., Scaini, R., & Bortolini, S. (2025). Occlusion and biomechanical risk factors in implant-supported full-arch fixed dental prostheses—Narrative review. *Journal of Personalized Medicine*, 15(2), 65.
- Ceresuela, P., & Montero, J. (2024). Biomechanical factors in the prognosis of implants: A clinical study. *Prosthesis*, 6(4), 896-912.
- Chang, H. H., Yeh, C. L., Wang, Y. L., Huang, Y. C., Tsai, S. J., Li, Y. T., Yang, J. H., & Lin, C. P. (2021). Differences in the biomechanical behaviors of natural teeth and dental implants. *Dental Materials*, 37(4), 682-689.
- Dhahi, A. Y., & Bede, S. Y. (2024). Evaluating dental implant stability using three devices Osstell®, Periotest®, and AnyCheck®: A clinical study. *Journal of Oral Medicine and Oral Surgery*, 30, 20.
- Gao, X., Fraulob, M., & Haïat, G. (2019). Biomechanical behaviours of the bone–implant interface: A review. *Journal of the Royal Society Interface*, 16(156), 20190259.
- Gunpinar, S., Meraci, B., & Karas, M. (2020). Analysis of risk indicators for prevalence of peri-implant diseases in Turkish population. *International Journal of Implant Dentistry*, 6, 19.
- Izzetti, R., Cinquini, C., Nisi, M., Covelli, M., Alfonsi, F., & Barone, A. (2025). Influence of prosthetic emergence profile on peri-implant marginal bone stability: A comprehensive review. *Medicina*, 61(3), 517.

- Javiya, P., Sawhney, A., Gandhi, R., Mansuri, A. H., Patel, S., Mohanty, R., & Patadiya, H. H. (2025). The influence of implant placement angulation on biomechanical stability in vitro study. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 17(Suppl 2), S1226-S1228.
- Kosewski, P., Kosewski, J., & Mielczarek, A. (2025). Simulation of the periodontal ligament in dental materials research: A CAD/CAM-based method for PDL modeling. *Journal of Functional Biomaterials*, 16(12), 429.
- Kriswanto, K., Jamari, J., Andika, R., Bayuseno, A. P., Yusuf, A. A., & Ammarullah, M. I. (2025). Fixture design effects on posterior dental implant stability using finite element analysis (FEA): A systematic review. *Head & Face Medicine*, 22(1), 2.
- Mariam, S., Kshirsagar, R., Hasan, S., Khadtare, Y., Rajpurohit, K. S., Rai, H., Newaskar, D., & Deo, P. (2024). Implant mechanics, biological milieu, and peri-implantitis: A narrative review. *Cureus*, 16(8), e67173.
- Mehboob, H., Ouldierou, A., Al-Tamimi, A. A., Mehboob, A., & Barsoum, I. (2025). Biomechanical analysis of porous and dense dental implant-supported bridges in healthy and osteoporotic bones. *PLoS One*, 20(9), e0329558.
- Ng, E., Tay, J. R. H., Mattheos, N., Bostanci, N., Belibasakis, G. N., & Seneviratne, C. J. (2024). A mapping review of the pathogenesis of peri-implantitis: The biofilm-mediated inflammation and bone dysregulation (BIND) hypothesis. *Cells*, 13(4), 315.
- Oliveira, H., Velasco, A. B., Ríos-Santos, J. V., Lasheras, F. S., Lemos, B. F., Gil, F. J., Carvalho, A., & Herrero-Climent, M. (2020). Effect of different implant designs on strain and stress distribution under non-axial loading: a three-dimensional finite element analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4738.
- Ríos-Osorio, N., Ladino, L. G., & Guerrero-Torres, M. (2025). Structure, biology, and function of peri-implant soft tissues in health and disease: A comprehensive review of the literature. *Journal of Periodontal & Implant Science*, 55(5), 323-348.
- Satwalekar, P., Nalla, S., Reddy, R., & Chowdary, S. G. (2015). Clinical evaluation of osseointegration using resonance frequency analysis. *The Journal of the Indian Prosthodontic Society*, 15(3), 192-199.
- Tallarico, M., Lee, S. Y., Cho, Y. J., Noh, K. T., Ohkubo, C., Aguirre, F., Uzgur, R., Noè, G., Cervino, G., & Cicciù, M. (2025). Prosthetic guidelines to prevent implant fracture and peri-implantitis: A consensus statement from the Osstem implant community. *Prosthesis*, 7(3), 65.

- Won, C. (2025). A novel framework for optimizing peri-implant soft tissue in subcrestally placed implants in single molar cases: Integrating transitional and subcrestal zones for biological stability. *Journal of Clinical Medicine*, 14(7), 2435.
- Yıldırım, A. Z., Oral, F., & Demir Sevinç, E. H. (2022). İmplant destekli protezlerin başarısında oklüzyonun yeri. *Selcuk Dental Journal*, 9(3), 927-933.
- Zhou, Z., Gu, C., Guo, L., Shi, A., Jing, J., & Cheng, W. (2026). Preventing peri-implantitis: Strategies, mechanisms, and clinical perspectives for inhibiting biofilm formation on implant surface. *Frontiers in Materials*, 12, 1739290.

PERİODONTOLOJİDE MOBİL DİŞLERDE SPLİNTLEME ÇEŞİTLERİ

Bahar ANDAÇ URAL

- ❖ Kurum Bilgisi: Diyarbakır Ağız Ve Diş Sağlığı Hastanesi
Diyarbakır/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0003-2018-0419
- ❖ Mail: bahar__andac@hotmail.com

1. GİRİŞ

Diş mobilitesi, periodontal hastalıkların ilerlemesi sırasında sık karşılaşılan klinik bulgulardan biridir ve periodontal destek dokularının fonksiyonel durumunu değerlendirmede önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Periodontal ligament ve alveoler kemikte meydana gelen yapısal değişiklikler dişin alveol içindeki stabilitesinin azalmasına ve mobilitenin artmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle diş mobilitesinin değerlendirilmesi periodontal hastalıkların tanı ve tedavi planlamasında önemli bir klinik göstergedir (Lindhe, 2003; Carranza ve Newman, 2002). Periodontal tedavi sonrasında mobilitede meydana gelen değişiklikler tedavinin başarısını değerlendirmede de klinik açıdan değerli bilgiler sağlamaktadır. Özellikle diş taşı uzaklaştırılması ve etkin plak kontrolünün sağlanmasının ardından mobilitenin azalması, periodontal inflamasyonun kontrol altına alındığını ve periodontal dokuların stabilitesinin arttığını gösterebilmektedir (Fehr ve Mühlemann, 1956; Wüst ve ark., 1960).

Bununla birlikte periodontal destek dokularında ileri düzeyde kayıp bulunan dişlerde mobilite devam edebilmekte ve bu durum hastalarda çiğneme sırasında rahatsızlık, fonksiyonel instabilite ve estetik sorunlara yol açabilmektedir. Bu tür klinik durumlarda mobil dişlerin stabilizasyonu amacıyla splintleme uygulamaları periodontal tedavinin destekleyici bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Splintleme, mobil dişlerin komşu dişlere bağlanarak göreceli hareketlerinin azaltılması ve oklüzal kuvvetlerin daha geniş bir alana dağıtılması prensibine dayanmaktadır (Sekhar ve ark., 2011; Kathariya ve ark., 2016).

Splintleme uygulamasının periodontal olarak zayıflamış dişlerde fonksiyonel stabiliteyi artırabildiği ve oklüzal kuvvetlerin daha dengeli dağılımına katkıda bulunabildiği bildirilmiştir (Jepsen ve ark., 2018). Ayrıca uzun dönem klinik çalışmalarda splintlenen dişlerin destekleyici periodontal tedavi sürecinde yüksek sağ kalım oranı gösterebildiği ve periodontal stabilitenin korunabildiği rapor edilmiştir (Sonnenschein ve ark., 2017; Graetz ve ark., 2019).

Bu bölümde periodontolojide mobil dişlerin splintlenmesine ilişkin temel biyomekanik prensipler, splintleme endikasyonları ve klinik uygulamalarda kullanılan farklı splint türleri güncel literatür doğrultusunda ele alınacaktır.

2. Diş Mobilitesi

Diş mobilitesi, bir dişin alveol soketi içerisinde periodontal dokuların izin verdiği sınırlar dahilinde gösterdiği yatay veya dikey yöndeki hareket olarak tanımlanmaktadır. Bu hareket çoğunlukla horizontal yönde gerçekleşmekle birlikte bazı durumlarda rotasyonel veya vertikal karakter de gösterebilmektedir. Sağlıklı bireylerde periodontal ligamentin elastik yapısı nedeniyle tüm dişlerde belirli düzeyde fizyolojik mobilite bulunur. Bu fizyolojik mobilite periodontal ligament liflerinin elastikiyeti ve alveoler kemiğin viskoelastik özellikleri ile ilişkilidir (Lindhe, 2003; Carranza ve Newman, 2002; Mühlemann, 1994).

Periodonsiyum belirli büyüklükteki oklüzal kuvvetleri tolere edebilecek biyomekanik özelliklere sahiptir. Dişe uygulanan orta şiddetteki kuvvetler periodontal ligament liflerinde gerilme oluşturarak dişin alveol içinde sınırlı hareket göstermesine neden olur. Bu durum fizyolojik mobilite olarak tanımlanmakta ve periodontal dokuların normal fonksiyonel adaptasyonunun bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Mühlemann, 1951). Ayrıca fizyolojik mobilitenin günün farklı saatlerinde değişiklik gösterebildiği, sabah saatlerinde daha düşük seviyelerde olduğu ve günün ilerleyen saatlerinde artabildiği bildirilmiştir (Mühlemann, 1960).

3. Patolojik Diş Mobilitesinin Etiyolojisi

Diş mobilitesi periodontal destek dokularını etkileyen çeşitli lokal ve sistemik faktörlere bağlı olarak gelişebilen multifaktöriyel bir durumdur (Lindhe, 2003; Carranza ve Newman, 2002).

Diş mobilitesine yol açabilen başlıca faktörler şunlardır:

- **Periodontal hastalık:** Alveoler kemik ve periodontal ligament kaybı sonucu diş stabilitesinin azalması mobilitenin en yaygın nedenidir (Meyle ve Chapple, 2015; Persson ve Svensson, 1980).

- **Oklüzal travma:** Periodontal dokuların tolere edebileceğinden fazla oklüzal kuvvet uygulanması periodontal ligamentte genişleme ve mobilite artışına yol açabilir (Ramfjord ve Ash, 1981; Lindhe ve Nyman, 1989).

- **Parafonksiyonel alışkanlıklar:** Bruksizm ve diş sıkma gibi alışkanlıklar periodontal dokular üzerinde aşırı yük oluşturarak mobilitenin artmasına katkıda bulunabilir (Fan ve Caton, 2018).

• **Ortodontik tedavi:** Ortodontik kuvvetlere bağlı olarak periodontal ligamentte meydana gelen yeniden yapılanma sürecinde geçici mobilite artışı gözlemlenebilir (Lindhe, 2003).

• **Dental travmalar:** Lüksasyon, subluksasyon ve alveoler kemik yaralanmaları periodontal ligament hasarı oluşturarak diş stabilitesini azaltabilir (Andreasen ve Andreasen, 2000).

• **Periodontal tedavi sonrası geçici mobilite:** Cerrahi periodontal işlemler veya derin küretaj sonrasında periodontal ligamentte meydana gelen inflamatuvar değişiklikler mobilitede geçici artışa neden olabilir.

4. Diş Mobilitésinin Değerlendirilmesi

Diş mobilitésinin doğru şekilde değerlendirilmesi periodontal hastalıkların tanı ve prognozunun belirlenmesinde önemli bir klinik parametredir. Mobilite değerlendirmesi periodontal destek dokularının fonksiyonel durumunun belirlenmesine yardımcı olmakta ve tedavi planlamasında yol gösterici olmaktadır (Cirelli ve ark., 2006).

Mobilite değerlendirmesi klinik (manuel) yöntemler veya objektif ölçüm sistemleri kullanılarak yapılabilmektedir.

4.1. Klinik Mobilite Değerlendirmesi

Klinik uygulamada en yaygın kullanılan yöntem manuel mobilite testidir. Bu yöntemde periodontal alet sapı veya ayna sapı kullanılarak diş bukkal-lingual yönde hafif kuvvet uygulanır ve dişin hareket miktarı değerlendirilir. Ancak bu yöntem subjektif değerlendirmeye dayandığı için farklı klinisyenler arasında ölçüm farklılıkları oluşabilmektedir (Lemmerman, 1976).

Diş Mobilitési Sınıflaması

Derece	Tanım
0	Fizyolojik mobilite
1	1 mm'den az horizontal mobilite
2	1–2 mm horizontal mobilite
3	2 mm'den fazla horizontal mobilite veya vertikal mobilite

Bu sınıflama klinikte mobilitenin standardize edilmesine yardımcı olmakta ve periodontal hastalıkların takibinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ramfjord, 1967; Mühlemann, 1951).

4.2. Objektif Mobilite Ölçüm Yöntemleri

Manuel yöntemlerin subjektif olması nedeniyle diş mobilitesini daha objektif şekilde değerlendirmek amacıyla çeşitli ölçüm cihazları geliştirilmiştir. Bu cihazlardan en yaygın kullanılanlardan biri Periotest sistemidir (Cirelli ve ark., 2006).

Periotest cihazı elektromekanik bir ölçüm sistemi olup dişe uygulanan kısa süreli mekanik vuruşlara karşı oluşan tepkiyi ölçerek diş stabilitesini değerlendirmektedir. Ölçüm sonuçları genellikle -8 ile +50 arasında değişmekte olup düşük değerler daha stabil dişleri, yüksek değerler ise artmış mobiliteyi göstermektedir (Berthold ve ark., 2010).

5. Oklüzal Travma ve Diş Mobilitesi

Travmatik oklüzyon, periodontal dokuların tolere edebileceğinden daha fazla oklüzal kuvvet uygulanması sonucunda ortaya çıkan patolojik değişiklikleri ifade eder. Bu durum periodontal ligamentte genişleme, alveoler kemikte adaptif değişiklikler ve diş mobilitesinde artış ile ilişkilidir (Lindhe ve Nyman, 1989; Jin ve Cao, 1992).

Oklüzal travma sonucunda dişlerde iki farklı mobilite tipi gözlenebilir:

- **Pasif mobilite:** Dişe dışarıdan uygulanan kuvvetler sonucunda ortaya çıkan hareket.

- **Fonksiyonel mobilite:** Çiğneme gibi fizyolojik fonksiyonlar sırasında meydana gelen hareket.

Travmatik oklüzyon varlığında görülebilecek başlıca klinik bulgular şunlardır:

- Artmış diş mobilitesi
- Oklüzal aşınma fasetleri
- Periodontal ligament aralığında genişleme
- Alveoler kemikte adaptif değişiklikler

Bazı klinik çalışmalarda oklüzal interferenslerin selektif aşındırma ile ortadan kaldırılmasının mobilitenin azalmasına katkıda bulunabildiği bildirilmiştir (Vollmer ve Rateitschak, 1975).

Güncel literatürde oklüzal travmanın tek başına periodontal hastalığı başlatan bir faktör olmadığı, ancak mevcut periodontal hastalığın ilerlemesini modifiye edebileceği kabul edilmektedir. Periodontal inflamasyonun varlığı

oklüzal kuvvetlerin periodontal dokular üzerindeki etkisini artırarak mobilitenin daha belirgin hale gelmesine neden olabilir (Lindhe ve Nyman, 1989).

Bu nedenle periodontal tedavi planlamasında oklüzal ilişkilerin değerlendirilmesi ve gerekli durumlarda oklüzal düzenleme yapılması önemli bir tedavi yaklaşımı olarak kabul edilmektedir (American Academy of Periodontology, 2001).

6. Diş Mobilitesi ve Periodontal İyileşme

Periodontal tedavi sonrasında gerçekleşen iyileşme süreci periodontal dokuların yeniden organizasyonu ve stabilizasyonu ile karakterizedir. Tedavi sonrası periodontal cep bölgelerinde oluşan kan pıhtısı, kök yüzeyi ile periodontal dokular arasında iyileşme için gerekli biyolojik ortamı sağlayarak bağ dokusu ataşmanının yeniden oluşmasına katkıda bulunur (Hinckfuss ve Messer, 2009).

Artmış diş mobilitesi bu iyileşme sürecini olumsuz etkileyebilecek faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Mobil dişlerde meydana gelen mikro hareketler fibrin pıhtısının kök yüzeyine stabil şekilde tutunmasını zorlaştırabilir ve periodontal dokuların yeniden organizasyonunu etkileyebilir. Bu nedenle özellikle cerrahi periodontal tedaviler veya rejeneratif işlemler sonrasında diş stabilitesinin korunması önem taşımaktadır (Hinckfuss ve Messer, 2009).

Splintleme uygulaması mobil dişlerin stabilizasyonunu sağlayarak oklüzal kuvvetlerin daha dengeli dağıtılmasına yardımcı olabilir ve periodontal dokular üzerindeki aşırı yüklenmeyi azaltabilir (Foek ve ark., 2009). Ayrıca stabilizasyon sağlanan dişlerde çiğneme fonksiyonunun ve hasta konforunun arttığı bildirilmektedir (Strassler ve ark., 1999).

Fiber destekli kompozit splintlerin değerlendirildiği klinik çalışmalarda bu materyallerin periodontal olarak zayıflamış dişlerin stabilizasyonunda başarılı sonuçlar verdiği ve uzun dönem klinik stabilite sağlayabildiği gösterilmiştir (Kumbuloglu ve ark., 2011; Strassler ve Serio, 2007).

6.1. Mobil Dişlerin Klinik Yönetimi

Mobil dişlerin tedavisinde farklı klinik yaklaşımlar uygulanabilir:

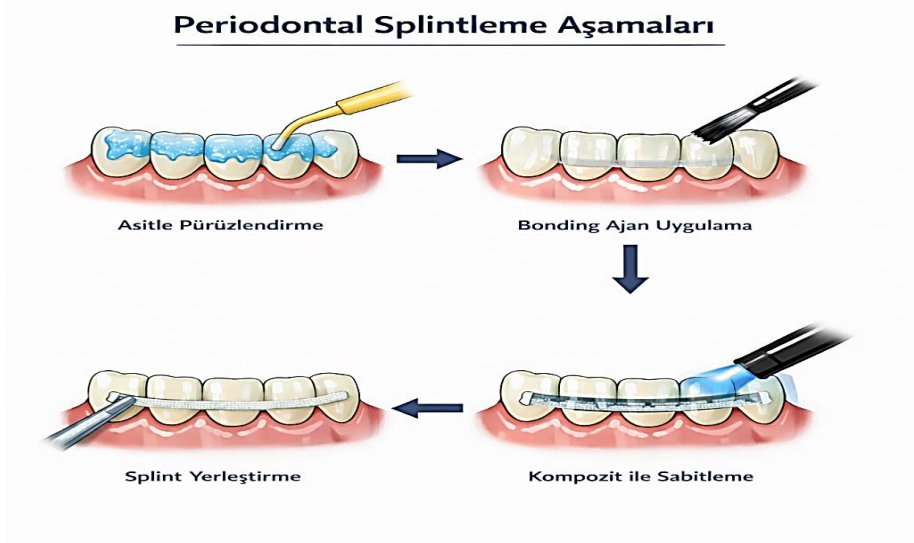
- Düzenli klinik takip
- Oklüzal düzenleme (selektif aşındırma)

- Splintleme uygulamaları
- Diş çekimi

Tedavi planı mobilitenin derecesine, periodontal destek miktarına ve etiyolojik faktörlere bağlı olarak belirlenmektedir. Periodontal hastalığa bağlı mobilite durumlarında öncelikle periodontal inflamasyonun kontrol altına alınması ve plak kontrolünün sağlanması gerekmektedir (American Academy of Periodontology, 2001).

7. Periodontal Splintleme

Dental splintleme, iki veya daha fazla dişin kronlarının belirli bir rijidite derecesi ile birbirine bağlanması işlemidir. Şekil 1 görselinde de görüldüğü üzere bu uygulama mobil dişlerin göreceli hareketini azaltarakoklüzal kuvvetlerin splinte dahil olan dişler arasında dağıtılmasına yardımcı olur ve periodontal olarak zayıflamış dişlerde fonksiyonel stabilitenin artırılmasına katkıda bulunabilir (Kathariya ve ark., 2016).



Şekil 1. Periodontal splintleme aşamaları görseli

7.1. Splintlemenin Tarihsel Gelişimi

Mobil dişlerin stabilizasyonu amacıyla farklı materyallerin kullanımı oldukça eski dönemlere kadar uzanmaktadır. Arkeolojik bulgular, antik Mısır'da dişlerin metal ligatürlerle birbirine bağlandığını göstermektedir. Daha sonraki dönemlerde ipek, altın ve gümüş ligatürler mobil dişlerin stabilizasyonu amacıyla kullanılmıştır. 20. yüzyıl boyunca splintleme

periodontal tedavinin destekleyici yaklaşımlarından biri olarak kabul edilmiş ve farklı materyallerle geliştirilmeye devam etmiştir (Baruch ve ark., 2001).

7.2. Splintlemenin Biyomekanığı

Splintleme uygulamasının temel biyomekanik prensibi oklüzal kuvvetlerin mobil dişlerden daha stabil dişlere aktarılması ve kuvvetlerin geniş bir alana dağıtılmasıdır. Bu sayede periodontal dokular üzerindeki stres azalmakta ve diş stabilitesi artabilmektedir (Kathariya ve ark., 2016).

7.3. Splintleme Endikasyonları

Splintleme aşağıdaki klinik durumlarda uygulanabilmektedir:

- Artmış diş mobilitesinin stabilizasyonu
- Diş migrasyonunun önlenmesi
- Çiğneme fonksiyonunun iyileştirilmesi
- Periodontal tedavi sonrası stabilitenin korunması
- Travmatik dental yaralanmalar sonrası diş stabilizasyonu
- Ortodontik tedavi sonrası retansiyon

8. Splintleme Prensipleri, Avantajları ve Dezavantajları

Periodontal splintleme uygulamasının başarılı olabilmesi için belirli biyomekanik ve klinik prensiplerin dikkate alınması gerekmektedir. Splintlemenin temel amacı mobil dişlerin stabilizasyonunu sağlamak ve oklüzal kuvvetlerin daha dengeli dağılımına katkıda bulunmaktır (Andreasen ve Andreasen, 2000).

8.1. Splintleme Prensipleri

- Oklüzal kuvvetler mümkün olduğunca fazla sayıda diş üzerine dağıtılmalıdır.
- Dişlerin migrasyonu ve devrilmesi önlenmelidir.
- Diş dokusundan minimum madde kaldırılması hedeflenmelidir.
- Splint materyali yumuşak dokularla uyumlu olmalı ve irritasyona neden olmamalıdır.
- Tasarım hastanın etkin plak kontrolü yapabilmesine izin vermelidir.
- Estetik açıdan kabul edilebilir olmalıdır.

- Uygulama klinik olarak pratik ve ekonomik olmalıdır.

8.2. Splintlemenin Avantajları

- Mobil dişlerin stabilizasyonunu sağlar.
- Oklüzal kuvvetlerin daha dengeli dağılımına yardımcı olur.
- Periodontal dokular üzerindeki aşırı yüklenmeyi azaltabilir.
- Proksimal kontakların yeniden oluşturulmasına katkıda bulunabilir.
- Çiğneme fonksiyonunu ve hasta konforunu artırabilir.
- Diş arkının bütünlüğünün korunmasına yardımcı olabilir.

8.3. Splintlemenin Dezavantajları

- İnterdental temizlik zorlaşabilir ve plak birikimi artabilir.
- Yetersiz ağız hijyeni durumunda periodontal hastalığın ilerleme riski artabilir.
- Sabit splintler mobilite değişikliklerinin klinik olarak fark edilmesini zorlaştırabilir.
- Sekonder çürük oluşumu riski artabilir.
- Splint materyallerinde kırılma veya ayrılma görülebilir (Kathariya ve ark., 2016).

9. Periodontal Splintlerin Sınıflandırılması

Periodontal splintler kullanım süresi, uygulama şekli ve biyomekanik özelliklerine göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Klinik uygulamada en yaygın kullanılan sınıflama, splintlerin kullanım süresine göre yapılan sınıflamadır. Buna göre periodontal splintler genel olarak geçici, yarı daimi ve daimi splintler olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir (Andreasen ve Andreasen, 2000; Baruch ve ark., 2001).

9.1. Geçici Splintler

Geçici splintler dişlerin kısa süreli stabilizasyonunun sağlanması amacıyla kullanılan splintlerdir. Bu splintler özellikle periodontal tedavinin erken dönemlerinde veya travma sonrası stabilizasyon amacıyla uygulanmaktadır. Amaç dişleri travmatik kuvvetlerden korumak ve periodontal dokuların iyileşmesi için uygun bir ortam sağlamaktır.

“Geçici splintleme amacıyla kullanılan başlıca yöntemler şunlardır:

- Tel ligatür splintler
- Misina–kompozit splintler
- Kompozit rezin splintler
- Hareketli akrilik splintler

9.2. Yarı Daimi Splintler

Yarı daimi splintler geçici splintlere göre daha uzun süre kullanılabilen ve genellikle periodontal olarak zayıflamış dişlerde fonksiyonel stabilitenin artırılması amacıyla uygulanan splintlerdir. Bu splintler özellikle ileri mobilite gösteren dişlerde çiğneme konforunun artırılmasına yardımcı olabilir.

Bu grupta yer alan başlıca splintler şunlardır:

- Kompozit rezin splintler
- Fiber destekli kompozit splintler
- Döküm kroşeli hareketli protezler

9.3. Daimi Splintler

Daimi splintler periodontal desteği ciddi derecede azalmış ve uzun dönem stabilizasyon gerektiren dişlerde kullanılan splintlerdir. Bu splintler genellikle protetik restorasyonların bir parçası olarak uygulanmakta ve uzun süreli fonksiyonel stabilite sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu amaçla kullanılan restoratif yaklaşımlar şunlardır:

- Adeziv köprüler
- Splintlenmiş kron ve köprü restorasyonları
- Metal destekli akrilik restorasyonlar

10. Periodontolojide Kullanılan Splint Çeşitleri

Periodontal splintleme uygulamalarında farklı materyaller ve teknikler kullanılabilir. Splint materyalinin seçimi diş mobilitesinin derecesi, periodontal destek miktarı, oklüzal ilişkiler, estetik gereksinimler ve hastanın ağız hijyeni alışkanlıklarına bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde periodontal splintleme amacıyla kullanılan sistemler genel olarak tel splintler, kompozit rezin splintler ve fiber destekli kompozit splintler şeklinde sınıflandırılabilir. Bu materyaller farklı biyomekanik özelliklere sahip

olup mobil dişlerin stabilizasyonunda çeşitli avantajlar sağlayabilmektedir (Kathariya ve ark., 2016).

10.1. Paslanmaz Çelik Tel Splintler

Paslanmaz çelik tel splintler mobil dişlerin stabilizasyonunda uzun yıllardır kullanılan yöntemlerden biridir. Bu teknikte ince ortodontik teller dişlerin lingual veya palatinal yüzeylerine adapte edilerek kompozit rezin yardımıyla dişlere sabitlenmektedir. Tel splintler dayanıklı olmalarına rağmen rijit yapıları ve estetik açıdan sınırlı olmaları nedeniyle günümüzde yerlerini daha estetik fiber destekli sistemlere bırakmıştır (Bearn ve ark., 1997; Foek ve ark., 2013).

10.2. Kompozit Rezin Splintler

Kompozit rezin splintler dişlerin lingual yüzeylerinde doğrudan uygulanan restoratif materyaller ile gerçekleştirilen splintleme yöntemleridir. Uygulama kolaylığı ve ekonomik olmaları önemli avantajları arasında yer almakla birlikte tek başına kullanılan kompozit materyaller yüksek oklüzal kuvvetlere karşı sınırlı dayanıklılık gösterebilmektedir (Cirelli ve ark., 2006).

10.3. Polyethylene Fiber Splintler

Polyethylene fiber splintler kompozit rezin ile birlikte kullanılan örgü yapıları polietilen liflerden oluşmaktadır. Klinik uygulamalarda en yaygın kullanılan sistemlerden biri Ribbond fiber sistemidir. Bu materyaller yüksek mekanik dayanıklılık, estetik avantaj ve periodontal dokuların fizyolojik hareketlerine izin verebilme özellikleri nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir (Foek ve ark., 2009; Nathanson, 1981).

10.4. Fiber Reinforced Composite (FRC) Splintler

Fiber reinforced composite splintler cam fiberlerle güçlendirilmiş kompozit materyallerden oluşmaktadır. Elastik modüllerinin dentine benzer olması sayesinde oklüzal kuvvetlerin daha fizyolojik şekilde dağıtılmasına yardımcı olabilmektedir. Ayrıca fiber ile kompozit arasında güçlü adezyon oluşması splintin dayanıklılığını artırmaktadır (Strassler ve ark., 1999; Strassler ve Serio, 2007).

10.5. Çok Tabakalı Fiber Splintler

Çok tabakalı fiber splintler birden fazla fiber şeridin birlikte kullanılmasıyla oluşturulan splint sistemleridir. Çok katlı fiber yapısı sayesinde hem elastikiyet hem de mekanik dayanıklılık artmakta ve

periodontal dokular üzerindeki stres azaltılabilmektedir (Kumbuloglu ve ark., 2011).

10.6. E-Glass Fiber Splintler

E-glass fiber splintler cam fiberlerden oluşan modern splint materyalleri arasında yer almaktadır. Bu materyaller yüksek mekanik dayanıklılık, iyi estetik özellikler ve kompozit rezin ile güçlü adezyon sağlayabilmeleri nedeniyle özellikle travma sonrası hiper mobil dişlerin stabilizasyonunda kullanılabilmektedir.

10.7. Tel Ligatür Splintler

Tel ligatür splintler mobil dişlerin stabilizasyonunda kullanılan geleneksel yöntemlerden biridir. Bu teknikte ince ligatür telleri kullanılarak dişler birbirine bağlanır. Ancak rijit yapıları ve yumuşak dokular üzerinde irritasyon oluşturabilme riskleri nedeniyle günümüzde daha esnek fiber sistemleri tercih edilmektedir.

10.8. Misina-Kompozit Splintler

Misina-kompozit splintleme yöntemi monofilament yapıda misina materyalinin kompozit rezin yardımıyla dişlere sabitlenmesi prensibine dayanır. Bu yöntem estetik avantajları, uygulama kolaylığı ve diş arkına kolay uyum sağlayabilmesi nedeniyle klinik uygulamalarda tercih edilebilmektedir.

10.9. Braket Splintler

Braket splintleme yöntemi ortodontik braketlerin dişlere yapıştırılması ve braketler arasından geçirilen ortodontik tel yardımıyla stabilizasyon sağlanması esasına dayanır. Bu yöntem özellikle travma sonrası mobilitenin geçici olarak kontrol altına alınmasında kullanılabilmektedir.

10.10. Ark Bar Splintler

Ark bar splintler metal barın dental ark boyunca adapte edilmesi ve ligatür telleri ile dişlere sabitlenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu sistem özellikle dentoalveolar travmalar ve çene kırıklarının stabilizasyonunda kullanılmaktadır.

10.11. Akrilik Splintler

Akrilik splintler genellikle travmatik dental yaralanmaların tedavisinde kullanılan splint türleridir. Bu splintlerin hazırlanabilmesi için hastadan ölçü alınarak laboratuvar ortamında akrilik plak hazırlanması gerekmektedir.

10.12. Titanyum Travma Splinti

Titanyum travma splinti Von Arx tarafından geliştirilen esnek splint sistemlerinden biridir. Yaklaşık 2.8 mm genişliğinde ve 0.2 mm kalınlığında titanyumdan üretilmiş olup örgülü yapısı sayesinde hem dayanıklılık hem de esneklik sağlayabilmektedir.

Klinik uygulamalarda splint türünün seçimi mobilitenin derecesi, periodontal destek miktarı, estetik gereksinimler ve travma varlığı gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar fiber destekli splint sistemlerinin estetik ve biyomekanik açıdan geleneksel splint materyallerine göre önemli avantajlar sağlayabildiğini göstermektedir.

11. Splintleme ve Oral Sağlıkla İlişkili Yaşam Kalitesi

Diş mobilitesi hastalarda çiğneme güclüğü, fonksiyonel instabilite ve estetik kaygılar gibi sorunlara yol açarak oral sağlıkla ilişkili yaşam kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Mobil dişlerin splintlenmesi fonksiyonel stabilitenin artırılmasına, çiğneme konforunun iyileştirilmesine ve hastaların günlük yaşam aktivitelerinin daha rahat gerçekleştirilmesine katkıda bulunabilir. Oral Health Impact Profile (OHIP) gibi ölçekler kullanılarak yapılan klinik çalışmalarda splintleme uygulamalarının bazı hastalarda özellikle fonksiyonel konfor ve fiziksel ağrı alt boyutlarında iyileşme sağlayabildiği bildirilmiştir (Locker ve Allen, 2007; Sonnenschein ve ark., 2021).

SONUÇ

Diş mobilitesi periodontal hastalıkların ilerlemesi sırasında sık karşılaşılan klinik bulgulardan biridir ve periodontal destek dokularının fonksiyonel durumu hakkında önemli bilgiler sağlar. Mobil dişlerin tedavisinde öncelikle periodontal inflamasyonun kontrol altına alınması ve etiyolojik faktörlerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Periodontal splintleme, uygun hasta seçimi ve doğru materyal tercih edildiğinde mobil dişlerin stabilizasyonunu sağlayarak oklüzal kuvvetlerin daha dengeli dağıtılmasına katkıda bulunabilir. Günümüzde fiber destekli kompozit splint sistemleri estetik ve biyomekanik özellikleri nedeniyle klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle periodontal splintleme mobil dişlerin tedavisinde önemli bir destekleyici tedavi yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- American Academy of Periodontology. (2001). *Glossary of periodontal terms*. Chicago: American Academy of Periodontology.
- Andreasen, J. O., ve Andreasen, F. M. (2000). *Essentials of traumatic injuries to the teeth* (2nd ed.). Copenhagen: Munksgaard.
- Armitage, G. C. (1999). Development of a classification system for periodontal diseases and conditions. *Annals of Periodontology*, 4(1), 1–6.
- Baruch, H., Ehrlich, J., ve Yaffe, A. (2001). Splinting – A review of the literature. *Refuat Hapeh Vehashinayim*, 18, 29–40.
- Bearn, D. R., McCabe, J. F., Gordon, P. H., ve Aird, J. C. (1997). Bonded orthodontic retainers: The wire–composite interface. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 111, 67–77.
- Berthold, C., Auer, F. J., Potapov, S., ve Petschelt, A. (2011). In vitro splint rigidity evaluation: Comparison of a dynamic and a static measuring method. *Dental Traumatology*, 27, 414–421.
- Berthold, C., Holst, S., Schmitt, J., Goellner, M., ve Petschelt, A. (2010). An evaluation of the Periotest method as a tool for monitoring tooth mobility in dental traumatology. *Dental Traumatology*, 26, 120–126.
- Carranza, F. A., ve Newman, M. G. (2002). *Clinical periodontology* (9th ed.). Philadelphia: WB Saunders.
- Cirelli, J. A., Cirelli, C. C., Holzhausen, M., Martins, L. P., ve Brandão, C. H. (2006). Combined periodontal, orthodontic, and restorative treatment of pathologic migration of anterior teeth: A case report. *International Journal of Periodontics ve Restorative Dentistry*, 26, 501–506.
- Ericsson, I., ve Lindhe, J. (1984). Lack of significance of increased tooth mobility in experimental periodontitis. *Journal of Periodontology*, 55, 447–452.
- Fan, J., ve Caton, J. G. (2018). Occlusal trauma and excessive occlusal forces: Narrative review and diagnostic considerations. *Journal of Periodontology*, 89(Suppl 1), S214–S222.
- Fehr, F. R., ve Mühlemann, H. R. (1956). Tooth mobility changes after scaling and plaque control. *Journal of Periodontology*.
- Foek, D. L., Özcan, M., Krebs, E., ve Sandham, A. (2009). Adhesive properties of bonded orthodontic retainers to enamel: Stainless steel wire vs fiber-reinforced composites. *Journal of Adhesive Dentistry*, 11, 381–390.

- Foek, D. L., Yetkiner, E., ve Özcan, M. (2013). Fatigue resistance and debonding force of polyethylene fiber-reinforced composite retainers. *Korean Journal of Orthodontics*, 43(4), 186–192.
- Giargia, M., ve Lindhe, J. (1997). Tooth mobility and periodontal disease. *Journal of Clinical Periodontology*, 24, 785–795.
- Graetz, C., Ostermann, F., Woeste, S., Salzer, S., Dörfer, C. E., ve Schwendicke, F. (2019). Long-term survival and maintenance efforts of splinted teeth in periodontitis patients. *Journal of Dentistry*, 80, 49–54.
- Hinckfuss, S. E., ve Messer, L. B. (2009). Splinting duration and periodontal outcomes for replanted avulsed teeth: A systematic review. *Dental Traumatology*, 25, 150–157.
- Jepsen, S., Caton, J. G., Albandar, J. M., ve ark. (2018). Periodontal manifestations of systemic diseases and developmental and acquired conditions. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(Suppl 20), S219–S229.
- Jin, L. J., ve Cao, C. F. (1992). Clinical diagnosis of trauma from occlusion and its relation with severity of periodontitis. *Journal of Clinical Periodontology*, 19, 92–97.
- Kathariya, R., Devanoorkar, A., Golani, R., Shetty, N., Vallakatla, V., ve Bhat, M. Y. (2016). To splint or not to splint: The current status of periodontal splinting. *International Academy of Periodontology*, 18(2), 45–56.
- Kumbuloglu, O., Saracoglu, A., ve Ozcan, M. (2011). Pilot study of unidirectional E-glass fibre-reinforced composite resin splints: Up to 4.5-year clinical follow-up. *Journal of Dentistry*, 39, 871–877.
- Lemmerman, K. (1976). Rationale for stabilization. *Journal of Periodontology*, 47, 405–411.
- Lindhe, J. (2003). *Clinical periodontology and implant dentistry* (4th ed.). Oxford: Blackwell Munksgaard.
- Lindhe, J., ve Nyman, S. (1989). Occlusal therapy. In J. Lindhe (Ed.), *Textbook of clinical periodontology* (2nd ed.). Copenhagen: Munksgaard.
- Locker, D., ve Allen, F. (2007). What do measures of oral health-related quality of life measure? *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 35(6), 401–411.
- Meyle, J., ve Chapple, I. (2015). Molecular aspects of the pathogenesis of periodontitis. *Periodontology 2000*, 69(1), 7–17.
- Mühlemann, H. R. (1951). Periodontometry: A method for measuring tooth mobility. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 4, 1220–1233.

- Mühlemann, H. R. (1960). Ten years of tooth mobility measurements. *Journal of Periodontology*, 31, 110–122.
- Mühlemann, H. R. (1994). Tooth mobility: The measuring method, initial and secondary mobility. *Journal of Periodontology*, 25, 22–29.
- Nathanson, D. (1981). Posterior splinting with composite and wire. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 2, 71–74.
- Persson, R., ve Svensson, A. (1980). Assessment of tooth mobility using small loads. *Journal of Clinical Periodontology*, 7, 259–275.
- Ramfjord, S. P. (1967). The periodontal disease index (PDI). *Journal of Periodontology*, 38, 602–610.
- Ramfjord, S. P., ve Ash, M. M. (1981). Significance of occlusion in the etiology and treatment of periodontal disease. *Journal of Periodontology*, 52, 511–517.
- Sekhar, L. C., Koganti, V. P., Shankar, B. R., ve Gopinath, A. (2011). A comparative study of temporary splints in the treatment of chronic periodontitis. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 12(5), 343–349.
- Soares, P. B., Fernandes Neto, A. J., Magalhães, D., Versluis, A., ve Soares, C. J. (2011). Effect of bone loss simulation and periodontal splinting on bone strain. *Archives of Oral Biology*, 56, 1373–1381.
- Sonnenschein, S. K., Betzler, C., Rutters, M. A., Krisam, J., Saure, D., ve Kim, T. S. (2017). Long-term stability of splinted anterior mandibular teeth during supportive periodontal therapy. *Acta Odontologica Scandinavica*, 75(7), 475–482.
- Sonnenschein, S. K., Ziegler, P., Ciardo, A., Ruetters, M., Krisam, J., ve Kim, T. S. (2021). The impact of splinting mobile mandibular incisors on oral health-related quality of life—Preliminary observations from a randomized clinical trial. *Journal of Clinical Periodontology*, 48(6), 816–825.
- Strassler, H. E., ve Serio, C. L. (2007). Esthetic considerations when splinting with fiber-reinforced composites. *Dental Clinics of North America*, 51, 507–524.
- Strassler, H. E., Haeri, A., ve Gultz, J. P. (1999). New generation bonded reinforcing materials for anterior periodontal tooth stabilization and splinting. *Dental Clinics of North America*, 43, 105–126.
- Vollmer, W. H., ve Rateitschak, K. H. (1975). Influence of occlusal adjustment on gingivitis and mobility of traumatized teeth. *Journal of Clinical Periodontology*, 2, 113–125.
- Wüst, J., ve ark. (1960). Changes in tooth mobility following periodontal therapy. *Journal of Periodontology*.

PERİODONTAL UYGULAMALARDA AKILCI LAZER KULLANIMI

Tuğçe YAPIŞOĞLU

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji, Diş Hekimliği Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat/TÜRKİYE
- ❖ ORCID:0009-0005-5895-1209
- ❖ Mail: tugceyapisoglu@gmail.com

Özkan KARATAŞ

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji, Diş Hekimliği Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0001-9891-7172
- ❖ Mail: dtokaratas@hotmail.com

1. Lazerlerin Tarihçesi ve Çalışma Prensipleri

1917 yılında Albert Einstein tarafından ortaya konulan uyarılmış emisyon teorisi, lazer teknolojisinin bilimsel temelini oluşturmuştur. “Lazer” terimi ise uyarılmış radyasyon emisyonu yoluyla ışığın güçlendirilmesini ifade eden bir kısaltma olup ilk kez 1959 yılında Gordon Gould tarafından kullanılmıştır. Theodore Maiman’ın ilk çalışan lazeri geliştirmesini takiben Nd:YAG, argon ve CO₂ lazerler geliştirilmiş; günümüzde ise diyot lazerler diş hekimliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Verma ve ark., 2012).

Lazer oluşumu, uyarılmış bir atomun foton yayması ve bu fotonun diğer atomları da uyatarak yeni fotonların salınmasına yol açmasıyla gerçekleşir. Bu zincirleme uyarılmış emisyon mekanizması sonucunda koherent, monokromatik ve paralel ışınlardan oluşan bir ışık elde edilir. Lazer ışığının dalga boyu, foton salınırken elektronun enerji düzeyine bağlıdır ve lazerin biyolojik dokularla etkileşimini büyük ölçüde belirler. Lazer enerjisi sürekli dalga veya darbeleri modda iletilebilir; sürekli dalgada ışın kesintisiz olarak yayılırken, darbeleri modda enerji kısa aralıklarla salınır. (Aoki ve ark., 2004).

Lazer ışığı dokuya ulaştığında yansıma, saçılma, emilim veya iletim şeklinde farklı etkileşimler gösterebilir (Niemz, 2007). İletim, ışığın dokuda belirgin bir etki oluşturmadan ilerlemesini; yansıma, ışığın doku yüzeyinden geri dönmesini; saçılma ise ışığın doku içinde farklı yönlerde yayılmasını ifade eder. Klinik lazer uygulamalarında istenen temel etki, ışığın hedef doku tarafından absorbe edilmesidir. Grothus–Draper yasasına göre biyolojik etkinin ortaya çıkabilmesi için ışığın doku tarafından emilmesi gerekir. Bu nedenle lazerin klinik etkisi, yalnızca enerji düzeyiyle değil, aynı zamanda kullanılan dalga boyunun su, hemoglobin, melanin ve hidroksiapatit gibi hedef doku bileşenleriyle uyumuyla belirlenir (Carroll & Humphreys, 2006).

Bu temel prensipler, periodontolojide lazerlerin akılcı kullanımının da dayanağını oluşturur. Klinik uygulamada uygun lazerin seçimi; dalga boyu, enerji iletim biçimi ve hedef dokunun optik özellikleri arasındaki uyuma bağlıdır.

2.Periodontal Uygulamalar Açısından Başlıca Lazer Tipleri

Lazerler; aktif ortamları, dalga boyları, emisyon biçimleri, dokulardaki emilim özellikleri ve klinik kullanım alanlarına göre sınıflandırılmaktadır. Periodontolojide lazer seçimi, esas olarak kullanılan dalga boyunun hedef

doku ile etkileşimine bağlıdır. Bu nedenle her lazer tipi aynı klinik amaç için uygun değildir; bazıları yumuşak doku cerrahisinde öne çıkarken, bazıları mineralize dokular ve kök yüzeyi işlemlerinde daha avantajlıdır (Coluzzi, 2004; Cobb, 2006).

2.1.Argon Lazer

Argon lazer, aktif ortamı argon gazı olan ve görünür spektrumda ışık yayan bir lazer türüdür. Diş hekimliğinde 488 nm ve 514 nm olmak üzere iki temel emisyon dalga boyu kullanılmaktadır. 488 nm dalga boyu ışıkla aktive edilen bazı dental materyallerin polimerizasyonunda rol oynarken, 514 nm dalga boyu hemoglobinin ve melanin tarafından yüksek oranda absorbe edildiği için hemostatik özellik gösterir ve yumuşak doku uygulamalarında kullanılabilir. Bununla birlikte periodontolojide güncel klinik uygulamalarda argon lazerlerin yeri, diyet, Nd:YAG, CO₂ ve erbiyum lazerlere kıyasla daha sınırlıdır (Coluzzi, 2004; Ishikawa ve ark., 2009).

2.2.Diyot Lazer

Diyot lazerler, yaklaşık 800–980 nm dalga boyu aralığında çalışan yarı iletken lazerlerdir ve yakın kızılötesi spektrumda yer alırlar. Enerjileri fiber optik aracılığıyla sürekli dalga veya darbeleri modlarda iletilir. Melanin ve hemoglobinin gibi pigment dokularda daha yüksek emilim göstermeleri nedeniyle özellikle yumuşak doku cerrahisi, koagülasyon ve debridman gibi işlemlerde tercih edilirler. Diş sert dokularında düşük emilim göstermeleri ise mine, dentin ve sement komşu alanlarda kontrollü yumuşak doku uygulamalarına olanak sağlar (Coluzzi, 2004; Cobb, 2006).

2.3.Nd:YAG Lazer

Nd:YAG lazer, 1064 nm dalga boyunda çalışan ve neodim katkılı garnet kristaline sahip katı aktif ortamlı bir lazerdir. Serbest darbeleri modda yüksek güç oluşturabilmesi ve pigment dokularda etkili emilim göstermesi nedeniyle yumuşak dokuların eksizyonu, koagülasyonu ve debridman gibi işlemlerde kullanılmaktadır. Diş sert dokularında düşük emilim göstermesi, diş komşu yumuşak dokularda hassas uygulamalara olanak tanırken, sert doku ablasyonundaki etkinliğini sınırlandırmaktadır (Coluzzi, 2004; Cobb, 2006).

2.4.CO₂ Lazer

CO₂ lazer, aktif ortamı karbon dioksit gazı olan ve 10.600 nm dalga boyunda ışık yayan bir lazer türüdür. Suda yüksek emilim göstermesi

nedeniyle yumuşak doku cerrahisinde etkili kesme ve koagülasyon sağlar. Bu özelliği sayesinde çevre dokularda sınırlı yayılım ile hızlı ve kontrollü yumuşak doku işlemleri gerçekleştirilebilir. Su ve hidroksiapatit ile etkileşimi bulunmakla birlikte, klinik periodontolojide kullanım alanı esas olarak yumuşak doku uygulamalarında öne çıkmaktadır (Rolek & Pławewski, 2024).

2.5.Erbiyum Lazerler

Erbiyum lazerler, su tarafından yüksek oranda absorbe edilen dalga boylarına sahip olmaları nedeniyle özellikle sert doku işlemlerinde dikkat çeker. Doku içindeki suyun ani buharlaşmasına bağlı olarak oluşan mikropatlamalar, sert dokudan küçük parçacıkların uzaklaştırılmasına olanak sağlar. Bu lazerler kendi soğutma sistemleriyle birlikte kullanıldığında çevre dokularda belirgin ısı artışı oluşturmada çalışabilir. Erbiyum lazer türlerinden biri olan Er:YAG lazerin 2940 nm dalga boyu, suyun emilim tepe noktasıyla uyumludur ve hidroksiapatit tarafından da absorbe edilir. Bu özellikler, erbiyum lazerleri diğer birçok dental lazere kıyasla sert doku uygulamaları açısından daha avantajlı hale getirmektedir (Huang ve ark., 2023).

Bu lazer tipleri arasındaki farklılıklar, periodontolojide hangi cihazın hangi endikasyonda daha rasyonel şekilde kullanılabileceğini belirleyen temel unsurlardır. Genel olarak diyet, Nd:YAG ve CO₂ lazerler yumuşak doku yönetiminde; erbiyum lazerler ise sert doku ve kök yüzeyi işlemlerinde daha belirgin avantajlar sunmaktadır. Bu nedenle lazer seçimi yapılırken cihazın adı kadar, dalga boyu ve hedef dokuyla olan etkileşimi de dikkate alınmalıdır (Cobb, 2006; Ishikawa ve ark., 2009).

3.Periodontolojide Lazerin Kullanım Mantığı

Periodontolojide lazerlerin kullanımı, diş hekimliğinde lazer teknolojilerinin minimal invaziv yaklaşım, hasta konforunun artırılması ve iyileşme sürecinin desteklenmesi gibi genel avantajlarından yararlanmakla birlikte, esas olarak hedef dokuya ve klinik endikasyona uygun cihaz seçimine dayanır. Bu nedenle periodontal uygulamalarda lazerler, biyolojik etkileri ve klinik amaçları doğrultusunda yüksek güçlü ve düşük seviyeli lazerler olarak değerlendirilmelidir (Sachelarie ve ark., 2024; Alharbi ve ark., 2025)

Yüksek güçlü lazerler, periodontolojide başta yumuşak doku cerrahisi olmak üzere periodontal ceplerin debridmanı, kök yüzeylerinin dekontaminasyonu ve bazı olgularda kemik dokusuna yönelik işlemlerde kullanılabilmektedir. Bu lazerler özellikle doku ablasyonu, eksizyon,

koagülasyon ve cerrahi saha kontrolünün gerekli olduğu durumlarda öne çıkmaktadır. Klinik kullanımları sırasında hedef dokuda kontrollü enerji aktarımı sağlanması, hem işlem etkinliği hem de çevre dokuların korunması açısından önem taşımaktadır (Theodoro ve ark., 2021).

Düşük seviyeli lazerler ise periodontolojide esas olarak fotobiyomodülasyon amacıyla kullanılmaktadır. Fotobiyomodülasyon; enflamasyonu azaltmak, postoperatif ağrıyı hafifletmek ve yara iyileşmesini desteklemek amacıyla lazer veya LED kaynaklı görünür ya da kızılötesi ışığın düşük enerji düzeylerinde uygulanmasına dayanan biyolojik bir yaklaşımdır. Bu etki, hücresel solunum zinciri düzeyinde gerçekleşmekte; anjiyogenezin artmasına, enflamatuvar yanıtın düzenlenmesine ve doku onarım süreçlerinin desteklenmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle düşük seviyeli lazer uygulamaları, periodontal tedavi sonrası iyileşmenin desteklenmesi ve hasta konforunun artırılması açısından yardımcı bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Hamblin, 2017; Theodoro ve ark., 2021).

Fotobiyomodülasyonun periodontal ve peri-implant dokular üzerindeki etkileri son yıllarda daha fazla ilgi görmüştür. Özellikle enflamatuvar yanıtın modülasyonu, yumuşak doku iyileşmesinin desteklenmesi ve tedavi sonrası semptomların azaltılması açısından düşük seviyeli lazerlerin potansiyel yararları bildirilmektedir. Bununla birlikte bu etkinin, kullanılan dalga boyu, enerji yoğunluğu, uygulama süresi ve klinik endikasyona bağlı olarak değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. (Santonocito ve ark., 2022).

Bu çerçevede periodontolojide lazer uygulamaları değerlendirilirken, yüksek güçlü lazerlerin daha çok doku uzaklaştırma ve cerrahi saha kontrolü; düşük seviyeli lazerlerin ise biyomodülasyon ve iyileşme desteği amacıyla kullanıldığı temel ayrım akılda tutulmalıdır. Bu ayrım, lazerlerin cerrahi olmayan periodontal tedavilerde ve periodontal cerrahide hangi amaçla kullanılabileceğinin anlaşılması açısından yol göstericidir .

4.Cerrahi Olmayan Periodontal Tedavilerde Lazer Kullanımı

Cerrahi olmayan periodontal tedavinin temelini, supra ve subgingival biyofilm ile diş taşının uzaklaştırılması, kök yüzeyinin dekontaminasyonu ve periodontal enflamasyonun kontrol altına alınması oluşturmaktadır. Diş taşı temizliği ve kök yüzeyi düzleştirme (KYD), periodontitis tedavisinde klinik iyileşme sağlamak açısından temel yaklaşım olmakla birlikte, tek başına her zaman yeterli sonuç vermeyebilir. Bunun nedenlerinden biri, bazı

periodontopatojen bakterilerin ve enflame dokuların el aletleriyle ulaşılması güç bölgelerde varlığını sürdürebilmesidir. Bu nedenle, mekanik tedavinin etkinliğini artırmaya yönelik yardımcı yöntemlere olan ilgi artmış; lazer uygulamaları da bu çerçevede değerlendirilmeye başlanmıştır (Qadri ve ark., 2015).

Lazerler, cerrahi olmayan periodontal tedavide esas olarak periodontal ceplerdeki mikrobiyal yükün azaltılması, enflame sulküler ve granülasyon dokusunun kontrollü şekilde uzaklaştırılması ve kök yüzeyi dekontaminasyonunun desteklenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ablasyon, fototermal etki ve bakteriyel redüksiyon potansiyelleri nedeniyle mekanik periodontal tedaviye ek bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte lazerlerin bu alandaki kullanımı, geleneksel mekanik debridmanın yerine geçmekten çok, seçilmiş olgularda yardımcı bir uygulama olarak düşünülmelidir (Kadhim Salman & Al-Ameri, 2025).

Cerrahi olmayan periodontal tedavilerde kullanılan lazerlerin klinik katkıları, dalga boyuna ve hedef dokuyla olan etkileşimlerine göre değişmektedir. Pigmente dokular üzerinde etkili olan Nd:YAG ve diyet lazerler, debridman ve periodontopatojen bakterilerin azaltılmasına yönelik uygulamalarda tercih edilebilmektedir. Buna karşılık erbium lazerler, su ve hidroksiapatit tarafından yüksek oranda absorbe edilmeleri sayesinde diş taşı uzaklaştırılması, kök yüzeyi işlemleri ve hem yumuşak hem de mineralize dokuların kontrollü ablasyonu açısından daha uygun özellikler göstermektedir. Özellikle Er:YAG ve ErCr:YSGG lazerlerin, çevre dokularda belirgin termal hasar oluşturmada çalışabilmeleri cerrahi olmayan periodontal uygulamalardaki önemini artırmaktadır (Theodoro ve ark., 2021).

Erbium lazerlerin bir diğer avantajı, ulaşılması zor periodontal kemik defektlerinde granülasyon dokusunun güvenli ve etkili şekilde uzaklaştırılmasına katkı sağlamasıdır. Bu özellik, uygun endikasyonlarda periodontal sağlığın yeniden kazanılmasını destekleyebilir. Bununla birlikte tüm lazer sistemlerinin aynı klinik etkiyi göstermediği ve her olguda benzer yarar sağlamadığı unutulmamalıdır. Bu nedenle cerrahi olmayan periodontal tedavide lazer kullanımı, cihazın fiziksel özellikleri, hedef doku, klinik amaç ve operatör deneyimi birlikte değerlendirilerek planlanmalıdır (Aoki ve ark., 2004; Mizutani ve ark., 2016; Theodoro ve ark., 2021).

Özetle, cerrahi olmayan periodontal tedavide lazerler; mekanik debridmanı ikame eden bir yöntemden ziyade, seçilmiş durumlarda dekontaminasyon, doku uzaklaştırma ve biyolojik iyileşme yanıtını destekleme amacıyla kullanılabilecek yardımcı araçlardır. Bu kullanımın rasyonel olabilmesi için, lazer seçiminin klinik endikasyona ve hedef dokuya uygun biçimde yapılması gerekmektedir.

5. Periodontal Cerrahi Tedavilerde Lazerin Kullanımı

Yumuşak doku cerrahisinde lazerler, geleneksel cerrahi yöntemlere kıyasla sağladıkları hemostaz, cerrahi saha kontrolü ve postoperatif konfor avantajları nedeniyle giderek daha yaygın kullanılmaktadır. Su ve hemoglobin gibi kromoforlarla etkileşime giren uygun dalga boyları sayesinde lazerler; dokuların kesilmesi, buharlaştırılması ve koagülasyonu sırasında etkili kanama kontrolü sağlayabilmekte, böylece operasyon sahasının görünürlüğünü artırırken ameliyat sonrası rahatsızlığı azaltabilmektedir. Ayrıca sağlıklı dokuların kontrollü biçimde uzaklaştırılmasına olanak tanımları ve çevre dokuların görece daha iyi korunmasına katkı sağlamaları, lazerleri periodontolojide seçilmiş cerrahi işlemler açısından cazip hale getirmektedir. Karşılaştırmalı çalışmalar, lazer cerrahisi uygulanan hastalarda daha az komplikasyon ve daha hızlı iyileşme görülebildiğini bildirmektedir (Coleton, 2004; Sachelarie ve ark., 2024).

Periodontolojide lazerlerle gerçekleştirilen cerrahi işlemler arasında eksizyonel biyopsi, granülom ve fibrom gibi patolojik yumuşak dokuların uzaklaştırılması, frenektomi, diş eti konturunun düzenlenmesi ve gülüş estetiği uygulamaları, gingivektomi/gingivoplasti, melanin pigmentasyonunun giderilmesi, klinik kron boyu uzatma ve rejeneratif işlemlerde flebin de-epitelizasyonu yer almaktadır. Bu işlemlerde lazer seçimi, hedef dokunun özelliklerine, kanama kontrolü gereksinimine ve cerrahi amaca göre yapılmalıdır. Özellikle yüksek vaskülarizasyona sahip dokularda hemostatik etkileri nedeniyle CO₂, Nd:YAG ve diyot lazerler öne çıkmaktadır (Theodoro ve ark., 2021).

Diyot lazerler, doku pigmentleri tarafından absorbe edilmeleri sayesinde cerrahi sahada etkili hemostaz sağlayabilmekte ve yumuşak dokuların kontrollü şekilde uzaklaştırılmasına olanak tanımaktadır. Taşınabilir olmaları ve nispeten düşük maliyetleri de klinik kullanım açısından pratik avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte cerrahi periodontal uygulamalarda lazer kullanımı, yalnızca cihazın erişilebilirliğine göre değil;

doku tipi, termal etki potansiyeli, cerrahi hedef ve operatör deneyimi birlikte değerlendirilerek planlanmalıdır (Behdin ve ark., 2015; Theodoro ve ark., 2021).

Benzer şekilde lazerler, peri-implantitisin cerrahi tedavisinde özellikle implant yüzeyinin dekontaminasyonu, granülasyon dokusunun uzaklaştırılması ve cerrahi saha kontrolünün sağlanması amacıyla yardımcı araçlar olarak değerlendirilmektedir. İmplant yüzeyi dekontaminasyonu açısından en sık üzerinde durulan lazerler erbiyum lazerlerdir; özellikle Er:YAG lazer, biyofilmin uzaklaştırılmasındaki etkinliği ile titanyum yüzeyde uygun parametrelerde daha sınırlı ısı artışı ve yüzey değişikliği oluşturması nedeniyle öne çıkmaktadır. ErCr:YSGG lazer de benzer biçimde bu amaçla kullanılan seçeneklerden biridir. Buna karşılık diyet ve Nd:YAG lazerler, peri-implantitis cerrahisinde daha çok antimikrobiyal etki, granülasyon dokusunun uzaklaştırılması, yumuşak doku yönetimi ve hemostaz açısından yardımcı rol üstlenmektedir. Bununla birlikte implant yüzey özelliklerinin korunması ve aşırı ısınmaya bağlı termal hasarın önlenmesi açısından, kullanılacak lazer tipinin ve enerji parametrelerinin dikkatle seçilmesi gereklidir. Mevcut veriler lazerlerin seçilmiş olgularda yararlı olabileceğini düşündürmekle birlikte, peri-implantitis tedavisinde tüm klinik senaryolar için üstün ve standart bir yaklaşım olarak kabul edilmeleri için kanıt düzeyi halen sınırlıdır (Romanos, 2015; Natto ve ark., 2015).

Bu nedenle periodontal ve peri-implant cerrahide lazerler, her klinik durumda rutin olarak uygulanan yöntemler olarak değil; uygun endikasyon varlığında, doğru lazer tipi ve uygun enerji parametreleriyle, belirli klinik avantajlar sağlayabilecek yardımcı araçlar olarak değerlendirilmelidir. Akılcı kullanımın temelini, tedavi hedefi, doku tipi, termal hasar riski ve operatör deneyimi doğrultusunda olguya özgü seçim yapılması oluşturmaktadır.

6. Periodontolojide Akılcı Lazer Kullanımı ve Sonuçları

Lazerler, periodontoloji ve peri-implant uygulamalarda yumuşak doku yönetimi, dekontaminasyon ve fotobiyomodülasyon amacıyla kullanılabilen yardımcı araçlardır. Hiçbir lazer sistemi tüm endikasyonlarda aynı düzeyde etkili değildir ve mekanik debridman ya da konvansiyonel cerrahinin yerine geçen standart yöntemler olarak değerlendirilmemelidir. Bu nedenle akılcı kullanımın temelini; tedavi amacının doğru belirlenmesi, hedef dokuya uygun lazer tipinin seçilmesi ve enerji parametrelerinin kontrollü biçimde uygulanması oluşturur (Behdin ve ark., 2015; Theodoro ve ark., 2021).

Yumuşak doku cerrahisi ve hemostaz gerektiren olgularda diyet, Nd:YAG ve CO₂ lazerler; diş taşı uzaklaştırılması, kök yüzeyi işlemleri ve bazı dekontaminasyon uygulamalarında ise erbiyum lazerler daha uygun seçenekler olarak öne çıkmaktadır. Düşük seviyeli lazer uygulamaları ise özellikle iyileşmenin desteklenmesi ve postoperatif konforun artırılması açısından yardımcı olabilir. Klinik başarı, lazerin varlığından çok doğru hasta seçimi, uygun endikasyon ve güvenli protokol ile ilişkilidir (Mizutani ve ark., 2016; Hamblin, 2017; Santonocito ve ark., 2022).

KAYNAKLAR

- Alharbi, K. H., AlMarwani, W. T., Alsulami, R. A., & Alghamdi, F. T. (2025). New Insight Into Laser Applications in Endodontic Dentistry: A Comprehensive Review. *Aust Endod J*, 51(2), 527-535.
- Aoki, A., Sasaki, K. M., Watanabe, H., & Ishikawa, I. (2004). Lasers in nonsurgical periodontal therapy. *Periodontol 2000*, 36, 59-97.
- Behdin, S., Monje, A., Lin, G. H., Edwards, B., Othman, A., & Wang, H. L. (2015). Effectiveness of Laser Application for Periodontal Surgical Therapy: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Periodontol*, 86(12), 1352-1363.
- Carroll, L., & Humphreys, T. R. (2006). LASER-tissue interactions. *Clin Dermatol*, 24(1), 2-7.
- Cobb, C. M. (2006). Lasers in periodontics: a review of the literature. *Journal of periodontology*, 77(4), 545-564.
- Coleton, S. (2004). Lasers in surgical periodontics and oral medicine. *Dental Clinics*, 48(4), 937-962.
- Coluzzi, D. J. (2004). Fundamentals of dental lasers: science and instruments. *Dent Clin North Am*, 48(4), 751-770, v.
- Hamblin, M. R. (2017). Mechanisms and applications of the anti-inflammatory effects of photobiomodulation. *AIMS Biophys*, 4(3), 337-361.
- Huang, Q., Li, Z., Lyu, P., Zhou, X., & Fan, Y. (2023). Current Applications and Future Directions of Lasers in Endodontics: A Narrative Review. *Bioengineering (Basel)*, 10(3).
- Ishikawa, I., Aoki, A., Takasaki, A. A., Mizutani, K., Sasaki, K. M., & Izumi, Y. (2009). Application of lasers in periodontics: true innovation or myth? *Periodontology 2000*, 50(1).
- Kadhim Salman, F., & Al-Ameri, L. M. H. (2025). Effectiveness of the dual wavelength diode laser as an adjunct to non-surgical treatment in

- treating periodontal pocket in periodontitis patients: A randomized clinical study. *Lasers Med Sci*, 40(1), 82.
- Mizutani, K., Aoki, A., Coluzzi, D., Yukna, R., Wang, C. Y., Pavlic, V., & Izumi, Y. (2016). Lasers in minimally invasive periodontal and peri-implant therapy. *Periodontol 2000*, 71(1), 185-212.
- Natto, Z. S., Aladmawy, M., & Levi Jr, P. A. (2015). Comparison of the efficacy of different types of lasers for the treatment of peri-implantitis: a systematic review. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 30(2).
- Niemz, M. H. (2007). *Laser-tissue interactions* (Vol. 322). Springer.
- Qadri, T., Javed, F., Johannsen, G., & Gustafsson, A. (2015). Role of diode lasers (800-980 nm) as adjuncts to scaling and root planing in the treatment of chronic periodontitis: a systematic review. *Photomed Laser Surg*, 33(11), 568-575.
- Rolek, A., & Pławewski, P. (2024). Advancements and applications of laser technology in modern dentistry. *Wiad Lek*, 77(9), 1789-1792.
- Romanos, G. (2015). Current concepts in the use of lasers in periodontal and implant dentistry. *Journal of Indian Society of Periodontology*, 19(5), 490-494.
- Sachelarie, L., Cristea, R., Burlui, E., & Hurjui, L. L. (2024). Laser Technology in Dentistry: From Clinical Applications to Future Innovations. *Dent J (Basel)*, 12(12).
- Santonocito, S., Polizzi, A., Cavalcanti, R., Ronsivalle, V., Chaurasia, A., Spagnuolo, G., & Isola, G. (2022). Impact of Laser Therapy on Periodontal and Peri-Implant Diseases. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 40(7), 454-462.
- Theodoro, L. H., Marcantonio, R. A. C., Wainwright, M., & Garcia, V. G. (2021). LASER in periodontal treatment: is it an effective treatment or science fiction? *Braz Oral Res*, 35(Supp 2), e099.
- Verma, S. K., Maheshwari, S., Singh, R. K., & Chaudhari, P. K. (2012). Laser in dentistry: An innovative tool in modern dental practice. *Natl J Maxillofac Surg*, 3(2), 124-132.

PERİODONTAL HASTALIKLARDA KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ TEDAVİ YAKLAŞIMLARI: KLİNİK BİYOBELİRTEÇLER VE RİSK PROFİLLEMESİ

Berna ÇELİK KAHRAMAN

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji, İnönü Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Malatya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0007-6583-1349
- ❖ Mail: berna.celik@inonu.edu.tr

Ömer Alperen KIRMIZIGÜL

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji, İnönü Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Malatya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0001-5828-8949
- ❖ Mail: alperen.kirmizigul@inonu.edu.tr

GİRİŞ

Periodontal hastalıklar, dişlerin destek dokularını etkileyen kronik inflamatuvar hastalıklar olup, dental biyofilimde meydana gelen mikrobiyal değişimler ile konak yanıtı arasındaki karmaşık etkileşimin sonucunda ortaya çıkmaktadır (Kinane et al., 2017). Periodontal hastalık patogenezinine ilişkin anlayış, bakteri merkezli bir modelden, mikrobiyal, konak ve çevresel faktörler arasındaki etkileşimleri kabul eden çok faktörlü bir yaklaşıma doğru evrilmiştir. Bakteriyel biyofilm hastalığın başlatılmasında gerekli bir etken olmakla birlikte, tek başına varlığı hastalık gelişimi için yeterli değildir; periodontal doku yıkımının büyük bölümü, konağın bu biyofilme verdiği yanıt sonucunda meydana gelmektedir (Greenstein & Lamster, 2000). Geleneksel periodontal muayene; sondalama derinliği, ataşman kaybı ve radyografik değişiklikler gibi klinik parametrelere dayanmaktadır. Ancak bu parametreler, mevcut hastalık aktivitesinden ziyade geçmiş doku yıkımını göstermektedir (Te & Zn, 2000). Bu göstergeler, hastalığın biyolojik süreçleri, ilerleme potansiyeli veya bireysel yatkınlık hakkında sınırlı bilgi sağlamakta ve benzer klinik bulgulara sahip hastaların neden farklı hastalık seyri ve tedavi yanıtı gösterdiğini açıklamakta yetersiz kalmaktadır (Bostanci et al., 2025). Bu doğrultuda, geleneksel yaklaşımlar yerine birey düzeyindeki özellikleri, mikrobiyal kompozisyonu ve inflamatuvar yanıtları bütüncül olarak dikkate alan kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımları gerekli hâle gelmektedir (Razzouk & Termechi, 2013).

Periodontal hastalık tanısı, geleneksel klinik parametrelerin ötesine geçerek, hastalık aktivitesini ve ilerlemesini objektif olarak ölçen biyobelirteç temelli yaklaşımları içerecek şekilde gelişmiştir (Khiste et al., 2011). Biyobelirteçler; periodontal dokularda inflamasyon, bağ dokusu yıkımı ve kemik metabolizması gibi moleküler düzeydeki biyolojik süreçleri yansıtan objektif göstergeler olup, yalnızca hastalığın varlığının değil, aynı zamanda aktivitesinin ve ilerleme eğiliminin de değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu tanısal araçlar, dişeti oluğu sıvısı (DOS) ve tükürük gibi non-invaziv örneklerden elde edilebilmekte ve bu durum klinik uygulamaya entegrasyonlarını kolaylaştırmaktadır (Taba et al., 2005). Bununla birlikte, klinik parametreler, sistemik durumlar ve davranışsal faktörlerin birlikte değerlendirilmesine dayanan risk profillemesi, periodontal hastalık yönetiminin daha hedefe yönelik bir yaklaşıma evrilmesine katkı sağlamaktadır (Georgieva, 2019). Bu bölümün amacı, periodontal hastalıklarda kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımının bilimsel temelini ortaya

koymak; biyobelirteçlerin tanı ve tedavi planlamasındaki rolünü açıklamak ve risk profillemesinin klinik karar verme süreçlerine nasıl entegre edilebileceğini değerlendirmektedir.

Periodontal Hastalıklarda Bireysel Farklılıkların Temeli

Periodontal hastalık patogenezi, bakteriyel biyofilme karşı gelişen karmaşık bir konak yanıtıyla karakterizedir. İnflamatuvar kaskad, lipopolisakkaritler gibi bakteriyel ürünlerin gingival dokulara ulaşmasıyla tetiklenir; bu süreç nötrofiller, makrofajlar ve lenfositler gibi konak savunma hücrelerinin aktivasyonuna yol açar (Yucel-Lindberg & Båge, 2013). Aktive olan hücreler; sitokinler, kemokinler ve proteolitik enzimler gibi inflamatuvar mediyatörleri salarak bağ dokusu yıkımı ve kemik rezorpsiyonuna katkıda bulunmaktadır (Cekici et al., 2014). Araştırmalar, periodontitisin genetik polimorfizmler, epigenetik mekanizmalar ve çevresel faktörler arasındaki karmaşık etkileşimlerden etkilenen çok faktörlü bir hastalık olduğunu göstermektedir. Özellikle interlökin-1 (IL-1) gen kümesindeki genetik polimorfizmler, inflamatuvar yanıt kapasitesini ve periodontal yıkımın şiddetini anlamlı düzeyde etkilemektedir (Kornman et al., 1997). Sigara kullanımı, stres ve metabolik durumlar gibi çevresel faktörler ise inflamatuvar yanıtları modifiye etmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, hem genetik yatkınlığı hem de çevresel etkileri dikkate alan kişiye özgü tedavi stratejilerinin gerekliliğini vurgulamaktadır (Cardoso & Medina, 2019). Araştırmalar, periodontal hastalıklar ile sistemik durumlar arasında, karmaşık ve çift yönlü bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Diyabet, periodontal mikrobiyotaya karşı inflamatuvar yanıtı artırması ve inflamasyonun çözülmesi ile doku onarım süreçlerini bozması nedeniyle periodontitis için bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir (Lalla & Papapanou, 2011). Bu etkileşim, obezite ve ateroskleroz gibi diğer sistemik hastalıklara da uzanmakta; oksidatif stres ve mitokondriyal disfonksiyonu içeren ortak patolojik mekanizmalar üzerinden bağlantı göstermektedir (Bullón et al., 2014). Bu çok boyutlu ilişki, inflamasyonun izlenmesinde biyobelirteçlerin kullanılmasını ve tedavi girişimlerinin bireyselleştirilmesini içeren kişiye özgü yaklaşımları gerekli kılmaktadır (Silva, 2020).

Periodontal Hastalıklarda Biyobelirteç Kavramı

Geleneksel periodontal muayene; sondalama derinliği, ataşman kaybı ve radyografik değişiklikler gibi klinik parametrelere dayanmaktadır; ancak bu göstergeler mevcut hastalık aktivitesinden ziyade geçmiş doku yıkımını yansıtmaktadır (Bostanci et al., 2025). Bu sınırlılık, gerçek zamanlı biyolojik süreçleri değerlendirebilen ve hastalık progresyonunu öngörebilen biyobelirteç temelli tanı yaklaşımlarına yönelik araştırmaları hızlandırmıştır (Khiste et al., 2011). Gelişmekte olan biyobelirteçler; erken tanının güçlendirilmesi, hastalık fenotiplerinin ayırt edilmesi ve tedavi yanıtının izlenmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Tanısal doğruluk açısından çoklu belirteç yaklaşımlarının, tek bir biyobelirtecın kullanımına kıyasla daha üstün olduğu bildirilmektedir. Moleküler temelli stratejilerin geleneksel klinik değerlendirmelerle entegrasyonu, bireysel risk profillerine dayalı kişiye özgü periodontal bakımın ve hedefe yönelik tedavi girişimlerinin uygulanmasına olanak sağlayabilmektedir (Bagde, 2025).

Periodontal biyobelirteçler, geleneksel tanı yöntemlerini güçlendirmeye yönelik umut verici araçlar olarak öne çıkmaktadır (Bagde, 2025). Biyobelirteçler, basit laboratuvar parametrelerinin ötesinde, klinik karar verme süreçlerine entegre edilen çok yönlü araçlar olarak çeşitli klinik amaçlara hizmet etmektedir. Kumar (2023), periodontal biyobelirteçleri beş işlevsel kategori altında sınıflandırmaktadır: risk belirlemede kullanılan öncül belirteçler, subklinik hastalığın izlenmesine yönelik tarama belirteçleri, tanısal belirteçler, hastalık şiddetinin değerlendirilmesinde kullanılan evreleme belirteçleri ve prognozu öngörmeye yönelik prognostik belirteçler (Kumar, 2023). Biyobelirteçler; erken tanı, hastalık fenotiplerinin ayırt edilmesi, tedavi yanıtının izlenmesi ve progresyonun öngörülmesi gibi alanlarda kanıta dayalı ve hedefe yönelik hasta yönetimini desteklemektedir (Bagde, 2025).

Periodontal biyobelirteçlerin değerlendirilmesinde farklı biyolojik örnekleme alanları kullanılmakta olup, her biri kendine özgü avantajlar sunmaktadır. DOS, lokal periodontal inflamasyonun değerlendirilmesinde en özgül örnekleme alanı olarak kabul edilmekte; proinflamatuvar sitokinler, matriks metalloproteinazlar ve kemik metabolizması belirteçleri gibi doku düzeyindeki hastalık aktivitesini yansıtan bileşenleri içermektedir. Tükürük, non-invaziv ve kolay elde edilebilir bir biyolojik sıvı olması nedeniyle önemli bir klinik potansiyel taşımakta; hem lokal periodontal inflamasyonu hem de sistemik inflamatuvar durumu yansıtmaları bakımından toplum temelli

taramalar için umut vadetmektedir. Serum ve plazma örnekleri periodontal-sistemik inflamasyon ilişkilerinin değerlendirilmesine katkı sağlamakla birlikte, periodontal aktiviteye özgüllükleri sınırlıdır (Khiste et al., 2011). Doku örnekleri moleküler düzeyde değerli bilgiler sunmakla birlikte, invaziv olmaları nedeniyle rutin klinik uygulamada kullanımları kısıtlıdır (Balu et al., 2026). Klinik uygulamaya başarılı biçimde entegre edilebilmeleri için biyobelirteçlerin; hedeflenen duruma karşı yüksek özgüllük ve duyarlılık göstermesi, örnekleme ve analiz açısından pratik olarak erişilebilir olması ve klinik karar verme sürecine yön verebilmesi gibi ölçütleri karşılaması gerekmektedir (Angelini & Emanuelli, 2015).

Periodontal biyobelirteçler, özellikle inflamatuvar sitokinler, hastalığın patogeneğinde önemli roller üstlenmektedir. IL-1 β ve TNF- α , matriks metalloproteinaz aktivitesini uyaran, bağ dokusu atışman kaybını kolaylaştıran ve osteoklast oluşumunu artırarak alveoler kemik rezorpsiyonunu destekleyen başlıca proinflamatuvar mediyatörlerdir (Graves & Cochran, 2003). Bu sitokinlerin hastalıklı bireylerde tükürük düzeylerinin arttığı, hastalık şiddeti ile korelasyon gösterdiği ve periodontal tedavi sonrasında azaldığı bildirilmiş olup, bu özellikleri onları umut verici tanısal biyobelirteçler hâline getirmektedir (Gomes et al., 2016). TNF- α , IL-1 β , IL-17 ve IL-6'yı içeren sitokin ağı; immün hücrelerin bölgeye göçü ve osteoklastik fonksiyonun düzenlenmesinde merkezi bir rol oynamaktadır. Proinflamatuvar ve antiinflamatuvar mediyatörler arasındaki denge, periodontal hastalık aktivitesinin değerlendirilmesinde kritik öneme sahiptir (Plemmenos et al., 2020). Matriks metalloproteinazlar (MMP'ler), hücre dışı matriksin yıkımı yoluyla periodontal doku destrüksiyonunda merkezi rol oynayan çinko bağımlı endopeptidazlardır. MMP-8 ve MMP-9 başlıca biyobelirteçler olarak öne çıkmakta; MMP-8'in aktif periodontitis olgularında sağlıklı dokulara kıyasla 5–6 kat arttığı bildirilmektedir (Sorsa et al., 2026). MMP'ler ile bunların endojen inhibitörleri olan doku metalloproteinaz inhibitörleri (TIMP'ler) arasındaki denge, hastalık progresyonu açısından kritik öneme sahip olup; bu dengedeki bozulma periodontal yıkıma katkıda bulunmaktadır (Sapna et al., 2014). RANKL-OPG sistemi, periodontal hastalıkta osteoklastogenez ve kemik rezorpsiyonunun düzenlenmesinde kritik bir rol üstlenmektedir. Araştırmalar, periodontitisli bireylerde RANKL düzeylerinin sağlıklı kontrollere kıyasla anlamlı derecede arttığını, OPG düzeylerinin ise azaldığını ve bunun sonucunda RANKL/OPG oranının yükseldiğini göstermektedir (Bostanci et al., 2007). Güncel araştırmalar, NF- κ B'nin periodontal hastalık patogeneğinde merkezi bir transkripsiyon faktörü

olduğunu ortaya koymuş; inflamatuvar gen ekspresyonunu düzenleyerek kronik inflamasyona katkıda bulunduğunu göstermiştir (Ambili & Janam, 2017). NF-κB yolları uzun süredir prototip bir proinflamatuvar sinyal mekanizması olarak tanımlanmakta; sitokinler, kemokinler ve adezyon moleküllerinin ekspresyonunu kontrol etmektedir (Lawrence, 2009).

Güncel araştırmalar, DOS'da inflamatuvar mediyatörler, oksidatif stres belirteçleri, konak kaynaklı enzimler, doku yıkım ürünleri ve kemik homeostazına ilişkin mediyatörler dâhil olmak üzere 90'dan fazla farklı bileşeni potansiyel tanısal belirteç olarak tanımlamıştır (Ghallab, 2018). Bu çoklu biyobelirteç kombinasyonlarının periodontal hastalığın alt tiplerinin belirlenmesine ve bireyselleştirilmiş tedavi stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlaması beklenmektedir. Böylece standart kılavuzların ötesine geçilerek hedefe yönelik terapötik yaklaşımların uygulanması mümkün olabilecektir (Kikuchi et al., 2022).

Periodontal Hastalıklarda Risk Profillemesi

Modern periodontal uygulamalar, geleneksel tedavi anlayışından risk temelli yaklaşıma evrilerek kişiye özgü stratejilerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Risk değerlendirmesi; sondalama derinliği, sondalamada kanama, kemik kaybı, sigara kullanımı, diyabet ve konak yanıtına ilişkin belirteçler gibi çok sayıda parametrenin sistematik biçimde analiz edilmesi yoluyla hastalık progresyon olasılığını öngörmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda; çeşitli klinik risk öngörü araçları geliştirilmiştir. Bu modeller, bütün kullanımı ve diyabet gibi değiştirilebilir faktörleri; genetik yapı ve yaş gibi değiştirilemeyen faktörlerle birlikte değerlendirerek bütüncül bir risk profili oluşturmaktadır (Menon & Vasudevan, 2025). Periodontal risk değerlendirmesi, bireyin periodontal hastalık geliştirme veya mevcut hastalığın ilerleme riskini belirlemek amacıyla, çoklu risk faktörlerinin birlikte değerlendirildiği klinik bir yaklaşımdır (Bhuvaneswarri.Mds et al., 2023). Nedensel ilişkisi kanıtlanmış başlıca risk faktörleri arasında sigara kullanımı, ileri yaş, diyabet ve osteoporoz ile HIV enfeksiyonu gibi bazı sistemik durumlar yer almaktadır (Page & Beck, 1997). Modern periodontal uygulamalar, terapötik hedeflerin belirlenmesi ve hastalık progresyonunun sınırlandırılması amacıyla bireysel risk profillemesine vurgu yapmaktadır (Menon & Vasudevan, 2025). Periodontal hastalıkta risk değerlendirmesi, hastalık progresyonunu öngörmek ve tedavi kararlarına yön vermek amacıyla klinik ve sistemik parametrelerin analizini içermektedir. Klinik parametreler arasında sondalamada kanama, periodontal ceplerin varlığı, hastanın yaşı ile

ilişkili alveoler kemik kaybı ve geçmiş hastalık deneyimi yer almaktadır (Page & Beck, 1997). Bununla birlikte, sistemik ve davranışsal faktörler de risk profillemesinin vazgeçilmez bileşenleridir (Lyle, 2014). Sigara kullanımı, periodontal hastalık progresyonu açısından en güçlü modifiye edilebilir risk faktörlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Lyle, 2014). Ayrıca yaş, genetik yatkınlık, patojenik bakteriler, oral hijyen durumu, sosyoekonomik düzey ve psikolojik stres gibi faktörlerin de risk değerlendirme modellerine entegre edilmesi gerekmektedir (Menon & Vasudevan, 2025). Periodontal risk değerlendirmesi, bireyselleştirilmiş destekleyici periodontal tedavi aralıklarının belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Araştırmalar, hastaların genellikle düşük, orta ve yüksek risk gruplarına ayrıldığını ve önerilen takip aralıklarının sırasıyla 12, 6 ve 3 ay olduğunu göstermektedir (Sonnenschein et al., 2020). Risk düzeyine göre sınıflandırılmış bu yaklaşım, hasta sonuçlarının iyileştirilmesini hedefleyen, kanıta dayalı periodontal yönetim anlayışına doğru önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir (Garcia et al., 2016).

Kişiselleştirilmiş Periodontal Tedavi Yaklaşımları

Periodontal hastalıklar, standartlaştırılmış protokoller yerine bireyselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarını gerektirmektedir. Kişiye özgü yaklaşım; genetik özellikler, sistemik sağlık durumu, davranışsal faktörler ve risk profilleri gibi hastaya ait verileri analiz ederek tanı, korunma ve tedavi sonuçlarının optimize edilmesini amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, öngörücü (predictive), önleyici (preventive), kişiselleştirilmiş (personalized) ve katılımcı (participatory) bileşenlerden oluşan çerçeveyi temel almakta; sigara kullanımı, diyabet, obezite, kardiyovasküler hastalık ve stres gibi temel risk faktörlerini dikkate almaktadır. Bu yaklaşım hastalık aktivitesinin gerçek zamanlı değerlendirilmesini, tedavi sonuçlarının ve tedavi sonrası stabilitenin öngörülmesini hedeflemektedir (Kumar Thakur et al., 2025). Araştırmalar, periodontal hastalıkların çok boyutlu bir yapıda olduğunu; hastalık progresyonunun her bireye özgü genetik ve çevresel parametrelere bağlı olarak şekillendiğini göstermektedir (Razzouk & Termechi, 2013). Kişiselleştirilmiş yaklaşım, derin ceplerin ve kanamanın ortadan kaldırılmasına odaklanan geleneksel hedeflerin ötesine geçerek hastalık aktivitesinin gerçek zamanlı değerlendirilmesini ve tedavi sonuçlarının öngörülmesini vurgulamaktadır (Sudhakaran et al., 2020). Periodontitis öyküsü, sigara kullanımı ve sistemik sağlık durumu gibi hastaya özgü faktörleri içeren risk temelli protokollerin, sabit aralıklı idame yaklaşımlarına

kıyasla klinik sonuçları anlamlı ölçüde iyileştirdiği gösterilmiştir. Bu yaklaşım, hasta uyumunu ve tedavi etkinliğini artırmaktadır (Mojaver et al., 2025).

Gelecek Perspektifleri ve Klinik Uygulamaya Yansımaları

Kişiselleştirilmiş periodontal yaklaşım, standart tedavi protokollerinden bireysel risk ve hasta özelliklerini dikkate alan periodontal tedavi planlamasına geçişi temsil etmektedir. Bu yaklaşım, hastaya özgü biyolojik, genetik, davranışsal ve çevresel faktörlerin bütüncül olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır (Kikuchi et al., 2022). Konvansiyonel tedavi yaklaşımlarının sınırlılıklarını aşmayı amaçlayan bu model, klinik parametrelerin moleküler verilerle birlikte değerlendirildiği çok katmanlı tanısal sistemleri içermektedir. Yapay zekâ destekli analitik sistemler, hasta başı tanı teknolojileri ve yeni nesil dizileme yöntemleri gibi dijital gelişmeler; gerçek zamanlı değerlendirmeyi mümkün kılmakta ve tanısal doğruluğu artırmaktadır. Klinik açıdan bu yaklaşım; erken tanının güçlendirilmesi, karmaşık olguların daha etkin yönetimi ve mikrobiyom temelli antimikrobiyal stratejiler ile hastanın genetik özelliklerine göre ilaç yanıtının dikkate alındığı tedaviler aracılığıyla sonuçların optimize edilmesi gibi önemli avantajlar sunmaktadır (Shetty & Shenoy, 2025). Mevcut kanıtlar, tek bir biyobelirtecin periodontal hastalığın karmaşık yapısını yansıtmada yetersiz kaldığını; çoklu belirteç yaklaşımlarının tanısal ve prognostik doğruluk bakımından daha üstün olduğunu göstermektedir. Gelişmekte olan biyobelirteçler arasında konak kaynaklı inflamatuvar mediyatörler, doku yıkım ürünleri ve genetik belirteçler yer almakta; özellikle tükürük biyobelirteçleri hasta başı testler açısından dikkat çekmektedir (Bagde, 2025). Moleküler temelli tanı yöntemlerinin geleneksel klinik değerlendirmelerle entegrasyonu, hassas periodontal bakım ve biyoloji temelli hastalık sınıflandırmasına doğru önemli bir paradigma değişimini temsil etmektedir (Bostanci et al., 2025).

Teknolojik gelişmeler, periodontal hastalığın değerlendirilmesinde DOS ve tükürük örneklerinden hızlı sonuç elde edilmesini sağlayan hasta başı tanı testlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Hasta başı tanı sistemleri, tükürük ve DOS kaynaklı biyobelirteçleri kullanarak aktif hastalık durumlarının saptanmasına ve gelecekteki progresyonun öngörülmesine katkı sağlamakta; böylece klinik yönetimi güçlendirmektedir (Srivastava et al., 2017). Klinik karar verme süreçlerini desteklemek amacıyla nicel risk skorları hesaplayan çeşitli risk değerlendirme araçları geliştirilmiş; periodontal

hastalık etiyojisine ilişkin bilgi birikiminin artması, gelecekteki hastalık riskini öngörebilen modellerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Periodontolojide hassas ve kişiselleştirilmiş tıp kavramlarının gelişimi, biyobelirteçler, genetik yapı, çevresel faktörler ve yaşam tarzı gibi bireysel özelliklerin konvansiyonel muayene bulguları ile birlikte değerlendirildiği yeni tanısal sistemlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, daha öngörücü ve hedefe yönelik tedavi stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Kikuchi et al., 2022).

SONUÇ

Periodontal hastalıklar, multifaktöriyel etiyojiye sahip ve bireyler arasında farklı klinik seyir gösteren kronik inflamatuvar hastalıklardır. Geleneksel klinik parametreler, hastalığın geçmişteki yıkımını ortaya koymakla birlikte, mevcut biyolojik aktivite ve progresyon potansiyelini değerlendirmede sınırlı kalmaktadır. Biyobelirteçlerin kullanımı ve birden fazla risk faktörünün birlikte değerlendirilmesi, periodontal hastalık yönetiminin daha öngörülebilir ve bireye özgü planlanmasını sağlamaktadır. Kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımı; gereksiz müdahalelerin azaltılmasını, yüksek riskli bireylerin erken dönemde belirlenmesini ve destekleyici periodontal bakımın hastaya özgü düzenlenmesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım, periodontal tedaviyi risk temelli ve hedefe yönelik bir yapıya dönüştürmektedir. Gelecekte moleküler veriler ile dijital ve yapay zekâ destekli sistemlerin birlikte kullanılması, periodontolojinin daha hasta odaklı bir yapıya yönelmesini sağlayacaktır. Bu gelişme, periodontal hastalık yönetiminde daha planlı ve etkili bir klinik uygulamanın önünü açacaktır.

KAYNAKLAR

- Ambili, R., & Janam, P. (2017). A critique on nuclear factor-kappa B and signal transducer and activator of transcription 3: The key transcription factors in periodontal pathogenesis. *Journal of Indian Society of Periodontology*, 21(5), 350-356.
- Angelini, T. G., & Emanuelli, C. (2015). MicroRNAs as clinical biomarkers? In (Vol. 6, pp. 240): *Frontiers Media SA*.
- Bagde, D. H. (2025). Emerging Biomarkers in Periodontal Disease: Diagnostic and Prognostic Implications. *Research Journal of Applied Medical Sciences*.
- Balu, P., Ramkumar, N., & Ramalingam, S. (2026). Biomarkers of Periodontal Disease and the Biologic Matrix Conundrum: A Narrative Review. *Journal of clinical and diagnostic research*.

- Bhuvaneswarri.Mds, D. J., JuliusAmaldas, D., & Ramya.V, D. (2023). Risk Assessment in Periodontal Disease – A New Way of Predicting the Periodontal Disease Outcome: Life Sciences -Dentistry. *International Journal of Life Science and Pharma Research*, 13(5), L228-L234. <https://doi.org/10.22376/ijlpr.2023.13.5.L228-L234>
- Bostanci, N., Grant, M. M., & Kebschull, M. (2025). Biological definition of periodontal diseases: A historical review of host-response diagnostics and their implications for disease classification. *Periodontology* 2000.
- Bostanci, N., İlgenli, T., Emingil, G., Afacan, B., Han, B., Töz, H., Atilla, G., Hughes, F. J., & Belibasakis, G. N. (2007). Gingival crevicular fluid levels of RANKL and OPG in periodontal diseases: implications of their relative ratio. *J Clin Periodontol*, 34(5), 370-376.
- Bullón, P., Newman, H. N., & Battino, M. A. (2014). Obesity, diabetes mellitus, atherosclerosis and chronic periodontitis: a shared pathology via oxidative stress and mitochondrial dysfunction? *Periodontology* 2000, 64 1, 139-153.
- Cardoso, I. L., & Medina, D. N. (2019). Genetic and environmental factors involved in the development of periodontal disease.
- Cekici, A., Kantarci, A., Hasturk, H., & Van Dyke, T. E. (2014). Inflammatory and immune pathways in the pathogenesis of periodontal disease. *Periodontology* 2000, 64(1), 57-80.
- Garcia, R. I., Compton, R., & Dietrich, T. (2016). Risk assessment and periodontal prevention in primary care. *Periodontology* 2000, 71(1), 10-21.
- Georgieva, I. (2019). Periodontal risk profile assessment—a review. *Varna Medical Forum*,
- Ghallab, N. A. (2018). Diagnostic potential and future directions of biomarkers in gingival crevicular fluid and saliva of periodontal diseases: Review of the current evidence. *Archives of oral biology*, 87, 115-124.
- Gomes, F. I. F., Aragão, M. G. B., Barbosa, F. C. B., Bezerra, M. M., Pinto, V. d. P. T., & Chaves, H. V. (2016). Inflammatory cytokines interleukin-1 β and tumour necrosis factor- α -novel biomarkers for the detection of periodontal diseases: a literature review. *Journal of oral & maxillofacial research*, 7(2), e2.
- Graves, D. T., & Cochran, D. L. (2003). The contribution of interleukin-1 and tumor necrosis factor to periodontal tissue destruction. *Journal of periodontology*, 74 3, 391-401.

- Greenstein, G. R., & Lamster, I. B. (2000). Changing periodontal paradigms: therapeutic implications. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*, 20 4, 336-357.
- Khiste, S. V., Ranganath, V., Nichani, A. S., & Rajani, V. (2011). Critical analysis of biomarkers in the current periodontal practice. *Journal of Indian Society of Periodontology*, 15, 104 - 110.
- Kikuchi, T., Hayashi, J.-i., & Mitani, A. (2022). Next-generation examination, diagnosis, and personalized medicine in periodontal disease. *Journal of Personalized Medicine*, 12(10), 1743.
- Kinane, D. F., Stathopoulou, P. G., & Papapanou, P. N. (2017). Periodontal diseases. *Nature Reviews Disease Primers*, 3.
- Kornman, K. S., Crane, A. M., Wang, H.-Y., Giovine, F. S. d., Newman, M. G., Pirk, F. W., Wilson, T. G., Higginbottom, F. L., & Duff, G. W. (1997). The interleukin-1 genotype as a severity factor in adult periodontal disease. *J Clin Periodontol*, 24 1, 72-77.
- Kumar, A. (2023). Biomarker research: From bench to publication...but gasping to reach chairside. *Journal of Indian Society of Periodontology*, 27, 339 - 340.
- Kumar Thakur, R., Kataria, P., & Kumar, N. (2025). Personalized Periodontics: Tailoring Care for Individual Patients. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*.
- Lalla, E., & Papapanou, P. N. (2011). Diabetes mellitus and periodontitis: a tale of two common interrelated diseases. *Nature Reviews Endocrinology*, 7, 738-748.
- Lawrence, T. (2009). The nuclear factor NF- κ B pathway in inflammation. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 1(6), a001651.
- Lyle, D. M. (2014). Risk assessment a key to periodontal health promotion and disease prevention. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* (15488578), 35(6).
- Menon, S. S., & Vasudevan, A. K. (2025). Advancements in Predicting Periodontal Disease Evolution: A Narrative Review of Contemporary Clinical Risk Prediction Systems. *Cureus*, 17(12).
- Mojaver, S., Zad, A., Sarmiento, H., & Fiorellini, J. P. (2025). Efficacy of supportive peri-implant therapy in the management of peri-implant mucositis and peri-implantitis: A systematic review. *The Journal of the American Dental Association*.
- Page, R. C., & Beck, J. D. (1997). Risk assessment for periodontal diseases. *International dental journal*, 47(2), 61-87.

- Plemmenos, G., Evangeliou, E., Polizogopoulos, N., Chalazias, A., Deligianni, M., & Piperi, C. (2020). Central regulatory role of cytokines in periodontitis and targeting options. *Current medicinal chemistry*.
- Razzouk, S., & Termechi, O. (2013). Host genome, epigenome, and oral microbiome interactions: toward personalized periodontal therapy. *Journal of periodontology*, 84 9, 1266-1271.
- Sapna, G., Gokul, S., & Bagri-Manjrekar, K. (2014). Matrix metalloproteinases and periodontal diseases. *Oral diseases*, 20(6), 538-550.
- Shetty, S., & Shenoy, N. (2025). Precision periodontics: A new era of data-driven periodontal care. *World Academy of Sciences Journal*, 7(6), 117.
- Silva, S. C. R. (2020). Personalized Approaches In Managing Periodontal Diseases: The Role Of Biomarkers In Diabetes And Hypertension. *Revista ft*.
- Sonnenschein, S. K., Kohnen, R., Ruetters, M., Krisam, J., & Kim, T. S. (2020). Adherence to long-term supportive periodontal therapy in groups with different periodontal risk profiles. *J Clin Periodontol*, 47(3), 351-361.
- Sorsa, T., Golub, L. M., Thomas, J. T., Leone, P., Anil, S., & Uitto, V. J. (2026). Matrix Metalloproteinases in Periodontal and Peri-Implant Diseases: Contribution to Their Pathogenesis, Diagnosis, and Treatment. *Journal of periodontal Research*.
- Srivastava, N., Nayak, P. A., & Rana, S. (2017). Point of care-a novel approach to periodontal diagnosis-a review. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 11(8), ZE01.
- Sudhakaran, S., Ali, S., T.S, R., PoornimaRajendran, M., & Sayd, S. (2020). Personalized Periodontal Treatment: A New Paradigm Shift.
- Taba, M., Kinney, J., Kim, A. S., & Giannobile, W. V. (2005). Diagnostic biomarkers for oral and periodontal diseases. *Dental clinics of North America*, 49 3, 551-571, vi.
- Te, V. D., & Zn, T. (2000). Periodontal diagnosis: evaluation of current concepts and future needs. *Journal of the International Academy of Periodontology*, 2 3, 71-78.
- Yucel-Lindberg, T., & Båge, T. (2013). Inflammatory mediators in the pathogenesis of periodontitis. *Expert reviews in molecular medicine*, 15, e7.

TROMBOSİTTEN ZENGİN FİBRİNİN PERİODONTAL YUMUŞAK DOKU CERRAHİSİNDEKİ ROLÜ

Tuğçe YAPIŞOĞLU

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji, Diş Hekimliği Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat/TÜRKİYE
- ❖ ORCID:0009-0005-5895-1209
- ❖ Mail:tugceyapisoglu@gmail.com

Mehmet Murat TAŞKAN

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji, Diş Hekimliği Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-4830-0075
- ❖ Mail: mmtaskan@gmail.com

1.GİRİŞ

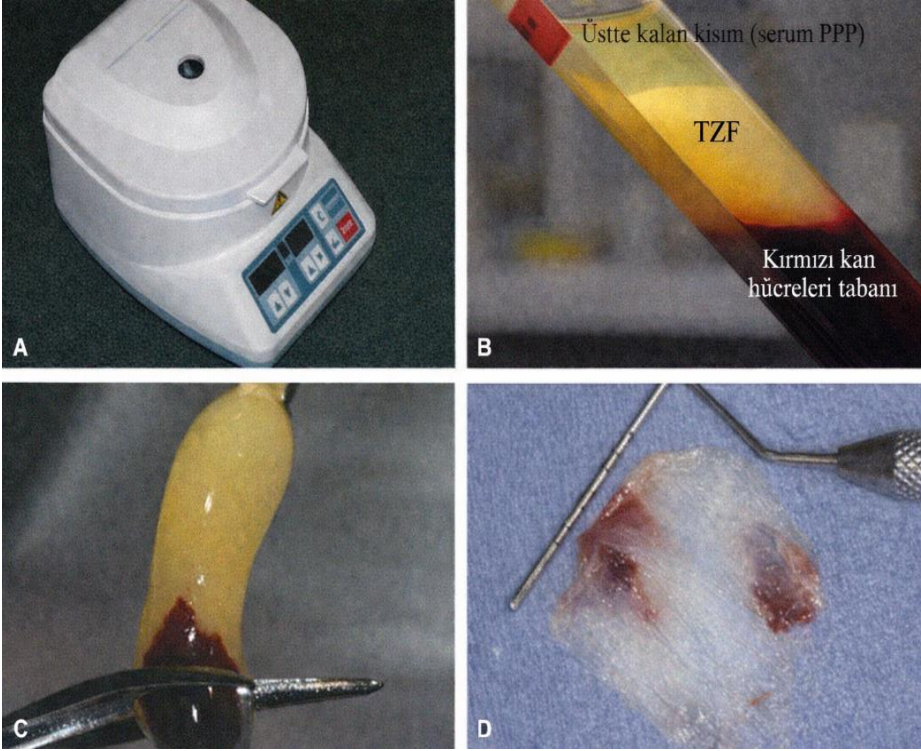
Trombositten zengin fibrin (TZF), ilk olarak Choukroun tarafından 2000 yılında tanımlanmıştır.TZF, herhangi bir biyokimyasal katkı maddesi kullanılmadan elde edilen ikinci nesil bir trombosit konsantresi olup; fibrin matriksi içinde bulunan trombositler ve büyüme faktörleri, lökosit ve sitokinlerin bağışıklık düzenleyici etkileri ile doğal polimerizasyon sonucu oluşan yoğun ve organize fibrin yapısı sayesinde yara iyileşmesi ve doku rejenerasyonunu desteklemektedir (Canellas ve ark., 2019).

Bu biyolojik bileşenler sayesinde TZF, biyorejeneratif bir iyileştirici materyal olarak kabul edilmekte ve hem in vitro hem de klinik çalışmalarda olumlu sonuçlar göstermektedir. Literatürde TZF'nin kemik içi defektlerin, diş eti çekilmesinin ve furkasyon defektlerinin tedavisi, çekim soketinin korunması ve yara iyileşmesinin hızlandırılması gibi çeşitli periodontal ve cerrahi prosedürlerde kullanılabileceği bildirilmektedir (Verma ve ark., 2017).

2. TZF (Trombositten Zengin Fibrin) Nedir ve Nasıl Elde Edilir?

Trombositten zengin fibrin, ilk olarak 2001 yılında Fransa'da Choukroun ve çalışma arkadaşları tarafından ağız ve çene cerrahisi uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş ikinci nesil trombosit konsantresidir (Choukroun ve ark., 2001). TZF, pıhtı oluşumunu yönlendiren, doku rejenerasyonu için destekleyici bir şablon görevi gören aynı zamanda büyüme faktörlerini ve kök hücreleri destekleyen doğal olarak oluşan bir fibrin iskeleti sunan bir biyometaryal olarak tanımlanır (Karimi & Rockwell, 2019).

TZF protokolü oldukça basittir. Antikoagülan içermeyen 10 ml venöz kan örneği tüplere alınarak hemen 3000 rpm'de yaklaşık 10 dakika (yaklaşık 400 g) santrifüj edilir. Antikoagülan bulunmaması nedeniyle, tüp duvarlarıyla temas eden trombositler kısa süre içinde aktive olur ve pıhtılaşma süreci başlar. Fibrinojen başlangıçta tüpün üst kısmında yoğunlaşır ve dolaşımdaki trombinin etkisiyle fibrine dönüşür. Santrifüj işlemi sonunda tüpün ortasında, altta yer alan eritrosit tabakası ile üstte bulunan hücresiz plazma arasında bir fibrin pıhtısı oluşur. Trombositlerin büyük bir kısmı bu fibrin ağı içerisinde hapsolür. Sonuç olarak serum ve trombositler açısından zengin bir fibrin pıhtısı elde edilir. Fibrin matriksinde hapsolmüş sıvıların uzaklaştırılmasıyla, yüksek dirençli otolog fibrin membranları elde edilebilmektedir (Dohan ve ark., 2006a).



Şekil 1. TZF için PC-O2 santrifüjü ile kan işleme (A ; Process, Nice, Fransa), tüpün ortasında, alttaki kırmızı kan hücreleri ile üstteki hücresiz plazma arasında yapılandırılmış bir fibrin pıhtısının oluşmasına olanak tanır (B). TZF'nin kendisi toplandıktan sonra (C), pıhtıdan serumun uzaklaştırılmasıyla dirençli otolog fibrin membranları kolayca elde edilir (D) (Dohan ve ark., 2006a).

2.1.Trombositten Zengin Fibrinin İçeriği

TZF bileşiminin içeriğinin analizi sonucunda, trombositler, lökositler, immün sitokinler ve dolaşımdaki kök hücrelerle zenginleşmiş bir fibrin pıhtısından oluştuğunu göstermektedir. Trombositler ve lökositler TZF'nin biyolojik aktivitesinden sorumlu başlıca hücreler olmakla birlikte, fibrin matriksi bu trombosit konsantrasyonunun terapötik etkilerinin ortaya çıkmasında önemli bir rol oynamaktadır (Pavlovic ve ark., 2021).

TZF'nin baskın bileşenlerinden biri olan trombositler, biyolojik aktivitesinden sorumlu bu hücreler kan pıhtısı oluşumunda önemli bir rol oynamalarının yanı sıra, yara iyileşmesi sürecinde görev alan çeşitli trombosit kaynaklı protein ve büyüme faktörlerini de içermektedir (Barbon ve ark.,

2019). Bunlar dönüştürücü büyüme faktörü β (TGF- β), trombosit kaynaklı büyüme faktörü (PDGF), insülin benzeri büyüme faktörü 1 (IGF1), vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF) ve epidermal büyüme faktörü (EGF) olarak bildirilmektedir (Pavlovic ve ark., 2021). Bu maddeler, trombositlerin içerisinde bulunan üç tip granül (alfa, delta ve lambda) tarafından depolanmaktadır. Alfa granülleri, büyüme faktörlerinin başlıca rezervuarını oluşturmakta olup trombositlerde en bol bulunan granül tipidir. Trombositlerin aktivasyonu sonrasında bu granüller ekzositoz yoluyla salınır ve yaralanmayı takiben yumuşak ve sert dokuların yenilenmesinde rol oynayan çeşitli büyüme faktörlerini içerir. Trombosit aktivasyonuna bağlı büyüme faktörlerine ek olarak, TZF'de interleukin (IL)-1 β , IL-6, IL-4 ve tümör nekroz faktörü (TNF) gibi çeşitli immün sitokinlerin de bulunduğu bildirilmektedir (Mihaylova ve ark., 2017).

2.1.1 Trombositten Zengin Fibrinde Bulunan Büyüme Faktörleri ve Sitokinlerin İşlevi

TGF- β : Bu molekül trombosit α -granüllerinde depolanır ve hücreler arası iletişimde önemli rol oynar. TGF- β 1, hücre proliferasyonu üzerindeki etkileri hücre tipine ve mikroçevreye bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte, özellikle fibroblastlar ve osteoblastlar tarafından kolajen tip I ve fibronektin gibi ekstrasellüler matriks proteinlerinin sentezini uyarak güçlü bir fibrozis ve doku onarımı düzenleyicisi olarak görev yapar.

Trombosit kaynaklı büyüme faktörleri (PDGF): mezenkimal hücre soylarının göçü, proliferasyonu ve hayatta kalmasının düzenlenmesinde önemli rol oynayan büyüme faktörleridir. Spesifik reseptörlerinin dağılımına bağlı olarak hücresel gelişimi uyarıcı veya baskılayıcı etkiler gösterebilirler. PDGF'ler embriyonik gelişim ve doku yeniden şekillenmesi süreçlerinde temel rol oynamakla birlikte, fizyolojik yara iyileşmesinde önemli bir düzenleyici olarak kabul edilmektedir.

İnsülin benzeri büyüme faktörleri (IGF): birçok hücre tipi için proliferasyon ve farklılaşmanın pozitif düzenleyicileridir. IGF'ler trombosit degranülasyonu sırasında salınmakla birlikte, fizyolojik olarak kan dolaşımında da yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Dohan ve ark., 2006b).

Epidermal büyüme faktörü (EGF): mezenkimal ve epitelyal hücrelerde hücresel göç, proliferasyon ve farklılaşmayı uyarak doku yenilenmesi

süreçlerine katkıda bulunan bir büyüme faktörüdür. Ayrıca anjiyogenez ve çeşitli sitokinlerin salınımının düzenlenmesinde de rol oynar.

Vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF), özellikle endotelial hücrelerin proliferasyonu ve göçünü uyararak anjiyogenezin düzenlenmesinde temel rol oynayan bir büyüme faktörüdür. Ayrıca yeni kan damarı oluşumunu destekler ve vasküler hücrelerde apoptozu inhibe ederek damar bütünlüğünün korunmasına katkıda bulunur (Knezevic ve ark., 2016).

İnterlökin-1 (IL-1): başlıca proenflamatuvar sitokinlerden biri olup enflamatuvar yanıtın başlatılmasında önemli rol oynar. IL-1 ailesi, bağışıklık yanıtının düzenlenmesinde görev alan yapısal olarak ilişkili 11 proteinden oluşmaktadır. IL-1 β sentezi esas olarak monositler ve makrofajlar tarafından gerçekleştirilir. İnflamasyon sırasında salınan ilk sitokinlerden biri olan IL-1 β , diğer proenflamatuvar sitokinlerin üretimini tetikleyerek enflamatuvar sürecin ilerlemesine katkıda bulunur.

İnterlökin-6 (IL-6): bağışıklık sistemine ait nötrofiller, T ve B lenfositleri, monositler ve NK hücreleri tarafından üretilbildiği gibi fibroblastlar, osteoblastlar, keratinositler ve vasküler endotelial hücreler gibi çeşitli hücre tipleri tarafından da sentezlenebilmektedir. IL-6 hem proenflamatuvar hem de antienflamatuvar özelliklere sahip olup akut faz yanıtında önemli rol oynar. Ayrıca etkilediği hücre tipine bağlı olarak hücre aktivasyonu, proliferasyonu, farklılaşması ve apoptoz süreçlerinin düzenlenmesine katkıda bulunur.

Tümör nekroz faktörü- α (TNF- α) :başlıca monositler ve makrofajlar tarafından üretilmekle birlikte mast hücreleri, NK hücreleri, T ve B lenfositleri, nötrofiller, fibroblastlar, osteoklastlar ve endotelial hücreler tarafından da sentezlenebilmektedir. TNF- α pleiotropik etkilere sahip bir sitokin olup kemokinler, prostaglandinler ve diğer proenflamatuvar sitokinlerin sentezini uyarır. Ayrıca lenfositler, monositler ve makrofajların aktivasyonunda rol oynar ve hücre adezyon moleküllerinin ekspresyonunu artırarak enflamatuvar yanıtın düzenlenmesine katkıda bulunur (Koper-Lenkiewicz ve ark., 2022).

İnterlökin-4 (IL-4):bağışıklık yanıtının düzenlenmesinde rol oynayan antienflamatuvar özelliklere sahip bir sitokindir. T yardımcı hücrelerinin Th2 fenotipine yönelmesini teşvik ederek humoral bağışıklığın gelişimine katkıda bulunur ve eozinofil aktivasyonunu destekler. Bununla birlikte, Th1 yanıtını baskılayarak aşırı enflamatuvar reaksiyonların sınırlandırılmasına yardımcı

olur ve enflamatuvar kemokinlerin üretimini azaltarak bağışıklık hücrelerinin dokuya göçünü düzenler (Al-Qahtani ve ark., 2024).

2.2 Trombositten Zengin Fibrin Çeşitleri

TZF, hazırlama protokollerindeki farklılıklar sonucunda çeşitli biyolojik özelliklere sahip varyasyonlara ayrılmış bir trombosit konsantresidir. TZF preparatlarının sınıflandırılması genellikle kullanılan santrifüj kuvveti, süre ve hazırlama protokolüne göre yapılmaktadır (Kawase & Tanaka, 2017; Pavlovic ve ark., 2021).

(L-TZF), Choukroun ve arkadaşları tarafından geliştirilen klasik TZF formudur ve trombositler ile lökositleri içeren yoğun bir fibrin matriksinden oluşur. Bu yapı büyüme faktörlerinin kademeli salınımını sağlayarak yara iyileşmesi ve doku rejenerasyonuna katkıda bulunmaktadır (Borie ve ark., 2015).

(A-TZF), daha düşük santrifüj hızları kullanılarak elde edilen bir TZF varyasyonudur. Bu yöntemle hazırlanan TZF'nin daha fazla hücre sel bileşen içerdiği ve büyüme faktörlerinin daha uzun süre salınımını sağlayabildiği bildirilmiştir (Pavlovic ve ark., 2021).

(T-TZF), TZF'nin cam tüpler yerine titanyum tüplerde hazırlanmasıyla elde edilen bir varyasyondur. Titanyum yüzeyin trombosit aktivasyonunu artırabileceği ve daha yoğun bir fibrin ağı oluşumuna katkıda bulunabileceği öne sürülmektedir (Tunalı ve ark., 2013).

Enjekte edilebilir trombositten zengin fibrin (i-TZF), antikoagülan içermeyen tam kanın düşük hızda santrifüj edilmesiyle elde edilen ikinci nesil bir trombosit konsantresidir. Sıvı formda elde edilmesi sayesinde hedef dokulara enjekte edilebilmekte ve büyüme faktörleri ile sitokinlerin uygulama bölgesinde homojen dağılımını sağlayabilmektedir. Bu biyoaktif moleküller anjiyogenezi teşvik ederek, hücre sel göçü uyarak ve ekstrasellüler matriks oluşumunu destekleyerek yara iyileşmesi sürecini hızlandırır. Periodontal tedavilerde i-TZF'nin yumuşak doku iyileşmesini artırma, periodontal cep derinliğini azaltma ve periodontal ligament ataşmanının yeniden oluşumunu destekleme potansiyeline sahip olduğu bildirilmektedir (Vhanmane ve ark., 2025).

2.3 Trombositten Zengin Fibrinin Avantajları

TZF'nin başlıca avantajları arasında hazırlanmasının kolay ve pratik olması yer almaktadır. Tek aşamalı santrifüj işlemi ile elde edilmesi, yöntemin

klinisyenler tarafından kolaylıkla uygulanabilmesini sağlamaktadır. TZF tamamen otolog kan örneğinden elde edilmekte olup kan manipülasyonu minimum düzeyde tutulmaktadır. Polimerizasyonun doğal olarak gerçekleşmesi nedeniyle dışarıdan trombin eklenmesine gerek duyulmamakta ve immünolojik reaksiyon riski ortadan kalkmaktadır. Ayrıca TZF, büyüme faktörlerinin uzun süreli salınımını sağlayan doğal bir fibrin matriksine sahiptir ve bu özellik doku iyileşmesi ile rejenerasyon süreçlerini desteklemektedir. TZF tek başına veya kemik greftleri ile birlikte kullanılabilir olup kemik iyileşme hızını artırdığı bildirilmektedir. Kemik greftleriyle birlikte kullanıldığında rekombinant büyüme faktörlerine kıyasla daha ekonomik ve pratik bir seçenek sunmaktadır. Bunun yanı sıra TZF zar olarak kullanılabilirdiğinden donör saha cerrahisi gereksinimini ortadan kaldırarak erken iyileşme döneminde hasta konforunun artmasına katkıda bulunmaktadır (Borie ve ark., 2015).

TZF'nin terapötik etkileri yalnızca içerdiği trombosit ve lökosit sitokinlerinden değil, aynı zamanda bu hücreler bileşenleri destekleyen fibrin matriksinden kaynaklanmaktadır. Fibrin matriksinin üç boyutlu yapısı PDGF, TGF- β 1, IGF ve VEGF gibi büyüme faktörlerinin tutulmasını ve kontrollü salınımını sağlayarak anjiyogenez, hücreler göç ve doku rejenerasyonunu destekler. Ayrıca fibrin matrisi nötrofil göçünü uyarak bağışıklık yanıtının düzenlenmesine katkıda bulunur ve yara bölgesinde bakteriyel kontaminasyonun önlenmesine yardımcı olur. TZF aynı zamanda osteogenez sırasında inflamasyon ile doku onarımı arasındaki geçiş sürecinde önemli rol oynayan makrofajları da içermektedir (Miron ve ark., 2017).

3.Trombositten Zengin Fibrinin Doku Rejenerasyonundaki Rolü

TZF, doku rejenerasyonunda rol oynayan hücrelerin taşınmasına yardımcı olan bir biyolojik taşıyıcı görevi görebilir ve yaklaşık 1–4 hafta boyunca büyüme faktörlerini sürekli olarak salarak yara iyileşmesi için uygun bir ortam oluşturur. Güçlü mekanik özelliklere sahip kompleks bir fibrin matriks yapısı bulunur ve bu yapı kan pıhtısına benzer şekilde zamanla yeniden şekillenir. Çeşitli çalışmalar TZF'nin enflamatuvar reaksiyon oluşturmada kemik ve yumuşak doku rejenerasyonunu destekleyebilen biyoyumlu bir materyal olduğunu ve tek başına ya da kemik greftleriyle birlikte kullanılabilirliğini göstermiştir. Ayrıca hemostazın sağlanmasına katkıda bulunur ve kemik oluşumu ile olgunlaşmasını destekleyebilir (Borie ve ark., 2015).

4. Trombositten Zengin Fibrinin Diş Hekimliğinde Kullanım Alanları

TZF periodontal cerrahide gingival çekilme tedavisi, periodontal kemik defektlerinin tedavisi ve yumuşak doku rejenerasyonu amacıyla uygulanmaktadır. Diş çekimi sonrası soket iyileşmesini hızlandırmak, alveolar sırtta koruma sağlamak ve üçüncü molar cerrahisi sonrasında postoperatif ağrı ve komplikasyonları azaltmak amacıyla da uygulanabilmektedir. İmplantolojide TZF, implant çevresindeki kemik ve yumuşak dokuların iyileşmesini desteklemek, osseointegrasyonu artırmak ve kemik greftleri ile birlikte kemik rejenerasyonunu desteklemek için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra TZF'nin rejeneratif endodontide periapikal lezyonların iyileşmesinin desteklenmesi ve pulpa rejenerasyonu gibi uygulamalarda da kullanılabilmektedir..

TZF'nin oral mukozal lezyonlarda da potansiyel bir tedavi seçeneği olabileceği belirtilmekte olup özellikle oral ülserler, oral liken planus ve diğer mukozal lezyonlarda epitelizasyonu hızlandırarak ağrıyı azaltılabileceği ve doku iyileşmesini destekleyebileceği bildirilmektedir (Song ve ark., 2024).

5. Trombositten Zengin Fibrinin Periodontal Yumuşak Doku Cerrahisinde Kullanımı

Mukogingival cerrahi veya periodontal plastik cerrahi, anatomik sorunlar, gelişimsel düzensizlikler veya travma sonucu ortaya çıkan diş eti ve alveoler mukoza deformitelerini düzeltmek ya da ortadan kaldırmak amacıyla uygulanan cerrahi prosedürleri ifade eder. (Miller, 1988). Lökosit ve trombositten zengin fibrin (L-TZF), içerdiği büyüme faktörleri ve sitokinler sayesinde doku iyileşmesini destekleyen otolog bir biyomateryal olup periodontolojide yumuşak doku cerrahilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Graft bölgesine uygulandığında anjiyogenezi ve kolajen sentezini artırarak greftlenen dokunun daha hızlı iyileşmesine katkı sağlayabilir. Serbest diş eti grefti (FGG) veya bağ dokusu grefti (CTG) alımından sonra damak donör bölgesinde kullanımı bazı çalışmalarda daha hızlı epitelizasyon, daha az ağrı ve kanama ile ilişkilendirilmiş olsa da, diğer pansuman materyalleriyle karşılaştırıldığında her zaman belirgin üstünlük göstermediği de bildirilmiştir.

Gingival çekilme tedavisinde koronal olarak ilerletilmiş flep (CAF) ile birlikte kullanıldığında diş eti kalınlığını artırabilir ve iyileşmeyi

destekleyebilir; ancak çoğu çalışmada CAF + CTG kombinasyonunun daha öngörülebilir klinik sonuçlar sağladığı belirtilmektedir. Ayrıca L-TZF, interdental papilla rekonstrüksiyonu, periodontal fenotip modifikasyonu, gingival depigmentasyon sonrası iyileşmenin desteklenmesi ve implant çevresi yumuşak dokuların korunması gibi farklı periodontal uygulamalarda da kullanılmaktadır. Genel olarak L-TZF, yara iyileşmesini hızlandırma ve postoperatif morbiditeyi azaltma potansiyeline sahip olmakla birlikte klinik etkinliği uygulama protokollerine bağlı olarak değişebilmektedir (Jamjoom, 2024).

6. SONUÇ

Periodontal tedavinin temel amacı, periodonsiyumun sağlığını, fonksiyonunu ve estetik görünümünü iyileştirmek için hasar görmüş dokuların rejenerasyonunu sağlamaktır. TZF periodontolojide diş eti çekilmesi, periodontal kemik defektleri, periapikal lezyonlar ve periodontal kemik rejenerasyonu gibi durumların tedavisinde kullanılmaktadır. TZF membranı, koronal olarak ilerletilmiş flep ile birlikte uygulanarak veya subepitelyal bağ dokusu greftine alternatif olarak diş eti çekilmesinin tedavisinde yara iyileşmesini ve doku kalınlığını artırmaya yardımcı olabilir. Ayrıca TZF, implantoloji alanında da kullanılmakta olup peri-implant kemik defektlerinin tedavisinde kemik greftleri ile birlikte uygulanabilmekte ve peri-implantitis kaynaklı kemik kaybının onarımına katkı sağlayabilmektedir. Bunun yanı sıra implant çevresinde yetersiz kemik bulunan durumlarda çekim soketine implant yerleştirilmesi sırasında TZF kullanımı osseointegrasyonu destekleyebilir ve peri-implant kemik ile yumuşak doku iyileşmesini iyileştirebilmektedir. (Goswami ve ark., 2024).

TZF'nin yalnızca yumuşak doku iyileşmesini değil, aynı zamanda kemik rejenerasyonunu da uyarabilen çeşitli çözünür büyüme faktörleri içerdiği bilinmektedir. Bu biyolojik özellikleri sayesinde TZF, yönlendirilmiş doku rejenerasyonu (GTR) prosedürlerinde de kullanılabilir. Yapılan çalışmalar, periosteal hücrelerin in vitro kültüründe TZF'nin kolajen membranlara kıyasla daha uygun bir biyolojik iskele oluşturduğunu ve hücresel proliferasyonu ile doku yenilenmesini destekleyebildiğini göstermiştir (Verma ve ark., 2017).

KAYNAKLAR

- Al-Qahtani, A. A., Alhamlan, F. S., & Al-Qahtani, A. A. (2024). Pro-Inflammatory and Anti-Inflammatory Interleukins in Infectious Diseases: A Comprehensive Review. *Trop Med Infect Dis*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/tropicalmed9010013>
- Barbon, S., Stocco, E., Macchi, V., Contran, M., Grandi, F., Borean, A., Parnigotto, P. P., Porzionato, A., & De Caro, R. (2019). Platelet-Rich Fibrin Scaffolds for Cartilage and Tendon Regenerative Medicine: From Bench to Bedside. *Int J Mol Sci*, 20(7). <https://doi.org/10.3390/ijms20071701>
- Borie, E., Oliví, D. G., Orsi, I. A., Garlet, K., Weber, B., Beltrán, V., & Fuentes, R. (2015). Platelet-rich fibrin application in dentistry: a literature review. *Int J Clin Exp Med*, 8(5), 7922-7929.
- Canellas, J., Medeiros, P. J. D., Figueredo, C., Fischer, R. G., & Ritto, F. G. (2019). Platelet-rich fibrin in oral surgical procedures: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 48(3), 395-414. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2018.07.007>
- Choukroun, J., Adda, F., Schoeffler, C., & Vervelle, A. (2001). Une opportunité en paro-implantologie: le PRF. *Implantodontie*, 42(55), e62.
- Dohan, D. M., Choukroun, J., Diss, A., Dohan, S. L., Dohan, A. J., Mouhyi, J., & Gogly, B. (2006a). Platelet-rich fibrin (PRF): a second-generation platelet concentrate. Part I: technological concepts and evolution. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 101(3), e37-44. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2005.07.008>
- Dohan, D. M., Choukroun, J., Diss, A., Dohan, S. L., Dohan, A. J., Mouhyi, J., & Gogly, B. (2006b). Platelet-rich fibrin (PRF): a second-generation platelet concentrate. Part II: platelet-related biologic features. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 101(3), e45-50. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2005.07.009>
- Goswami, P., Chaudhary, V., Arya, A., Verma, R., Vijayakumar, G., & Bhavani, M. (2024). Platelet-Rich Fibrin (PRF) and its Application in Dentistry: A Literature Review. *J Pharm Bioallied Sci*, 16(Suppl 1), S5-s7. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_435_23
- Jamjoom, A. G. (2024). From Healing to Regeneration: A Comprehensive Review of the Efficacy of Platelet-Rich Fibrin in Periodontal Plastic Surgery Procedures. *Cureus*, 16(9), e69287.
- Karimi, K., & Rockwell, H. (2019). The Benefits of Platelet-Rich Fibrin. *Facial Plast Surg Clin North Am*, 27(3), 331-340.

- Kawase, T., & Tanaka, T. (2017). An updated proposal for terminology and classification of platelet-rich fibrin. *Regen Ther*, 7, 80-81.
- Knezevic, N. N., Candido, K. D., Desai, R., & Kaye, A. D. (2016). Is Platelet-Rich Plasma a Future Therapy in Pain Management? *Med Clin North Am*, 100(1), 199-217. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2015.08.014>
- Koper-Lenkiewicz, O. M., Sutkowska, K., Wawrusiewicz-Kurylonek, N., Kowalewska, E., & Matowicka-Karna, J. (2022). Proinflammatory Cytokines (IL-1, -6, -8, -15, -17, -18, -23, TNF- α) Single Nucleotide Polymorphisms in Rheumatoid Arthritis-A Literature Review. *Int J Mol Sci*, 23(4). <https://doi.org/10.3390/ijms23042106>
- Mihaylova, Z., Mitev, V., Stanimirov, P., Isaeva, A., Gateva, N., & Ishkitiev, N. (2017). Use of platelet concentrates in oral and maxillofacial surgery: an overview. *Acta Odontol Scand*, 75(1), 1-11.
- Miller, P. D., Jr. (1988). Regenerative and reconstructive periodontal plastic surgery. Mucogingival surgery. *Dent Clin North Am*, 32(2), 287-306.
- Miron, R. J., Zucchelli, G., Pikos, M. A., Salama, M., Lee, S., Guillemette, V., Fujioka-Kobayashi, M., Bishara, M., Zhang, Y., Wang, H. L., Chandad, F., Nacopoulos, C., Simonpieri, A., Aalam, A. A., Felice, P., Sammartino, G., Ghanaati, S., Hernandez, M. A., & Choukroun, J. (2017). Use of platelet-rich fibrin in regenerative dentistry: a systematic review. *Clin Oral Investig*, 21(6), 1913-1927.
- Pavlovic, V., Ciric, M., Jovanovic, V., Trandafilovic, M., & Stojanovic, P. (2021). Platelet-rich fibrin: Basics of biological actions and protocol modifications. *Open Med (Wars)*, 16(1), 446-454.
- Song, P., He, D., Ren, S., Fan, L., & Sun, J. (2024). Platelet-rich fibrin in dentistry. *J Appl Biomater Funct Mater*, 22, 22808000241299588.
- Tunalı, M., Özdemir, H., Küçükodacı, Z., Akman, S., & Fıratlı, E. (2013). In vivo evaluation of titanium-prepared platelet-rich fibrin (T-PRF): a new platelet concentrate. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 51(5), 438-443.
- Verma, U. P., Yadav, R. K., Dixit, M., & Gupta, A. (2017). Platelet-rich fibrin: a paradigm in periodontal therapy—a systematic review. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 7(5), 227-233.
- Vhanmane, P., Dodwad, V., Rai, J. P., Sarkar, S., Heshi, P. B., & Atkare, M. (2025). Innovative Approaches in Regenerative Dentistry: A Review on the Synergistic Effects of Injectable Platelet-Rich Fibrin (i-PRF) and Micro-Needling. *J Pharm Bioallied Sci*, 17(Suppl 2), S1073-s1075.

OTOJEN DİŞ KAYNAKLI KEMİK GREFTLERİ

Abdurbaki SAKCI

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0001-2776-0048
- ❖ Mail:abdurbaki-sakci-98@hotmail.com

Onur YILMAZ

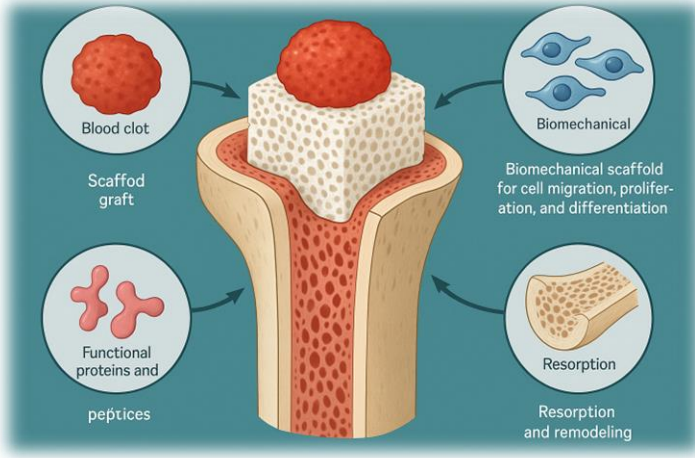
- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon/TÜRKİYE
- ❖ ORCID:0000-0002-0460-7649
- ❖ Mail:onuryilmaz590@hotmail.com

GİRİŞ

Otojen kemik, greft materyalleri arasında altın standart olarak kabul edilse de en büyük dezavantajları elde edilebilecek greft miktarının sınırlı olması, greftleme sonrasında kemik rezorpsiyonunun kaçınılmaz olması ve donör bölgede ikinci bir defektin oluşmasıdır. Allojenik, ksenojenik ve alloplastik greft materyalleri alternatif olarak kullanılsa da otolog greftlerle karşılaştırıldıklarında azalmış fonksiyon, enfeksiyöz hastalık bulaşma potansiyeli, uzamış iyileşme süresi ve yüksek maliyet gibi birçok dezavantaja sahiptir.

İdeal bir kemik greft materyali;

- Kan pıhtısını stabilize etmeli
- Hücre migrasyonu, proliferasyonu ve diferansiyasyonu için biyomekanik bir iskelet (scaffold) sağlamalı
- Büyüme faktörleri gibi fonksiyonel protein ve peptitleri içermeli.
- Yeni kemik oluşumu sırasında uygun rezorpsiyon ve remodelasyon göstermelidir (Şekil 1).



Şekil 1.İdeal Graft materyali özellikleri

Kemik ve Dentin

Kemik ve dentin, kimyasal kompozisyon bakımından birbirine çok benzeyen mineralize dokulardır (Kim ve Ark, 2017). Her ikisi de yaklaşık %18 kollajen, %2 nonkollajenöz protein (NCP), %70 hidroksiapatit (HA) ve %10 vücut sıvısı içerir. Bu dokuların matriksleri kemik morfogenetik proteinleri (BMP), transforming growth factor- β (TGF- β), insulin-like growth

factor (IGF) ve basic fibroblast growth factor (bFGF) gibi çeşitli büyüme faktörleri için bir rezervuar görevi görür. Ayrıca dentin mezenkimal kök hücrelerin kondrositlere farklılaşmasını uyaran ve dolayısıyla kemik oluşumunu artıran kemik morfogenetik proteinleri (BMP) de içermektedir. Bunun yanı sıra hem alveoler kemik hem de dişler nöral krest hücrelerinden köken almaktadır. Bu nedenlerle çekilmiş dişlerin demineralize dentin matriksi (DDM) formunda alveoler kemik onarımında biyouyumlu bir otojen kemik greft materyali olarak kullanımı üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Tarihçe

Marshall R. Urist 1965 yılında demineralize kemik matriksin (DBM) kemik indüksiyonu yapabildiğini gösterip “bone morphogenetic protein (BMP)” kavramını literatüre sokmuştur. 1967 yılında Bang & Urist dekalsifiye dentin matriksinin ekstraosseöz ortamda kemik indüksiyonu yapabildiğini göstermiştir (Bang ve ark,1967). Bang ve Urist otojen demineralize dentin matriksinin (DDM) rejeneratif özelliklerini gösteren ilk araştırmacılar olmuşlardır (Urist ve ark,1967). Dentin matriksinin antijenitesinin demineralizasyonla azaldığı ve osteoindüktif/osteokondüktif özellikler gösterdiği hem deneysel hem histolojik olarak ortaya konulmuştur (Ziafas ve Ark,1990).

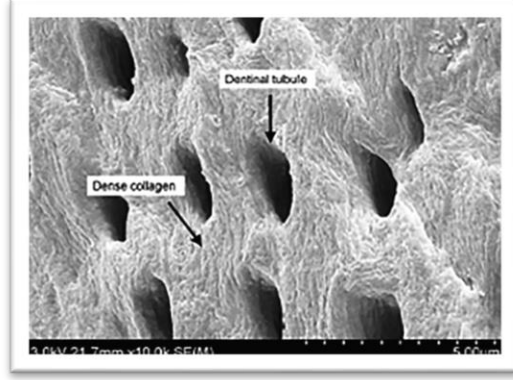
Demineralize Dentin Matriksinin İnorganik ve Organik Bileşenleri

Genel olarak, toz veya blok formdaki DDM sırasıyla %5–10 veya %10–30 oranında mineral içerir. X-ışını kırınım analizleri hidroksiapatit (HA), beta-trikalsiyum fosfat (β -TCP), amorf kalsiyum fosfat ve oktakalsiyum fosfat olmak üzere dört tip kalsiyum fosfatın varlığını ortaya koymuştur. Bunların nispeten düşük Ca/P oranına sahip düşük kristaliniteli HA’dan oluştuğunu göstermiştir.

Demineralize Dentin Matriksinin Yapısı

Günümüzde DDM partikül ve blok olmak üzere iki formda mevcuttur. DDM partikülü, dentinin 300–800 μ m boyutlarında partiküllere öğütülmesiyle hazırlanır ve dentin tübüllerinden kaynaklanan mikroporlara sahiptir. Bu porlar hücresel infiltrasyon ve büyüme için çok küçüktür. Buna karşın demineralizasyon sonrası genişlemiş dentin tübülleri ve gevşemiş kollajen matriks osteoblast büyümesi ve diferansiyasyonu için gerekli proteinlerin salınımına kanal görevi görebilir. Ayrıca yüzey

mikropürüzlülüğünü/mikrotekstürü artırarak dentinin kan ve diğer vücut sıvılarını absorbe edebilme kapasitesini yükseltebilir (Şekil 2).



Şekil 2.Demineralizasyon sonrası genişlemiş dentin tübülleri

Reddi ve Huggins 74–420 μm boyutlarındaki dentin partikülleriyle osteoindüksiyonu belgelemiştir (Reddi ve Huggins,1973). Murata ve ark. 250–500 μm boyutlarındaki dentin partiküllerinin osteoindüksiyon açısından yüksek derecede etkili olduğunu göstermiştir (Murata ve ark,2012). Koga ve ark demineralize edilmemiş veya tamamen demineralize edilmiş dentine kıyasla %2 HNO_3 ile parsiyel demineralizasyon sonrasında 1000 μm 'lik partiküllerin kullanımını önermiştir (Koga ve ark,2016).

Büyük ve kritik boyutlu kemik defektlerinde yüksek stabilite ve kolay şekillendirilebilirlik sağlaması açısından blok tipi greft materyallerinin daha uygun olduğu düşünülmüştür. DDM blok kökün mine-sement birleşiminden kesilmesiyle hazırlanır. Yapay makro porlar tüm blok boyunca yaklaşık 300–400 μm çapındadır (Şekil 3). Bu porozite osteoblastların tutunması, diferansiyasyonu ve proliferasyonu ile çevre dokulardan vasküler invazyon için boşluklar oluşturarak greft materyalinin osteokondüktif özelliklerini arttırmaktadır.



Şekil 3. 300–400 μm makroporlara sahip demineralize dentin matriksi (DDM) blok.

CHAİRSİDE (KLİNİKTE/AYNI SEANSTA) HAZIRLANAN SİSTEMLER

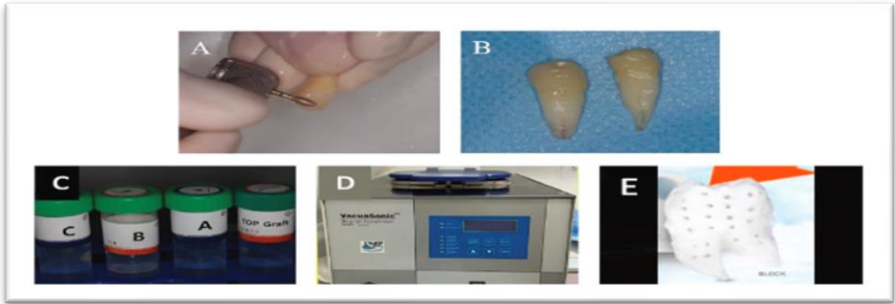
- VacuaSonic Cihazı
- Smart Dentin Grinder Cihazı
- BonMaker Cihazı
- Tooth Transformer Cihazı

Vacuasonic

Vacuasonic çekilmiş otolog diş dokularından demineralize dentin matriksi (DDM) elde etmek amacıyla geliştirilmiş bir tıbbi cihazdır (Şekil 4). Temel amaç osteoindüktif potansiyeli artırılmış, osteokondüktif iskelet yapısı korunmuş klinik olarak blok (Şekil 5) veya partikül formda (Şekil 6) uygulanabilen otolog dentin grefti üretmektir. Materyal blok veya partikül/powder formunda hazırlanabilir. Alveoler defekt rekonstrüksiyonunda, çekim socketinin korunması için ve sinüs augmentasyonu gibi durumlarda kullanılır.

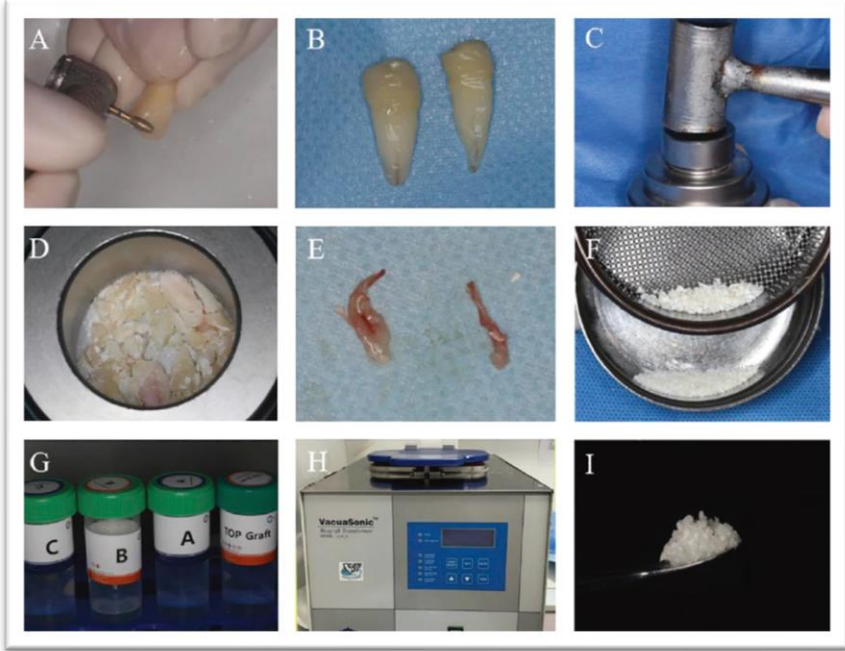


Şekil 4. Vacuasonic cihaz



Şekil 5. Vacuasonic Cihazı Blok Dentin Grefti Hazırlama Prosedürü

- A. Diş çekimini takiben, dişlerin mine ve sement tabakaları yüksek devirli el aleti kullanılarak uzaklaştırılır.
- B. Mine ve sementin uzaklaştırılmasından sonra elde edilen dişler
- C. Dentin partiküllerinin demineralizasyonu, yıkanması ve sterilizasyonu amacıyla Decalsi DM reaktifi kullanılır.
- D. Dentin partiküllerinin programlanmış işlemden geçirilmesi için Vacuasonic sistem cihazının kullanılması
- E. İki saatlik işlem sonunda elde edilen demineralize dentin blok.



Şekil 6. Vacuasonic cihazı partikül dentin grefti hazırlama prosedürü

- A. Diş çekimini takiben, dişlerin mine ve sement tabakaları yüksek devirli el aleti kullanılarak uzaklaştırılır.
- B. Mine ve sementin uzaklaştırılmasından sonra elde edilen dişler
- C. Dental dokunun çekiç kullanılarak öğütülmesine yönelik toz kiti aparatı
- D. İlk öğütme işleminden sonra elde edilen dental doku
- E. Uzaklaştırılmış dental pulpa dokusu.
- F. Dentin partiküllerinin elde edilmesi için öğütülmüş dokunun 1 mm'lik elekten geçirilmesi.
- G. Dentin partiküllerinin demineralizasyonu, yıkanması ve sterilizasyonu için kullanılan Decalsi PDM reaktifi.
- H. Dentin partiküllerinin programlanmış işlemden geçirilmesi için Vacuasonic sistem cihazının kullanılması.
- İ. Kırk dakikalık işlem sonunda elde edilen dentin greft partikülleri.

Kim ve ark yaptıkları çalışmada diş çekimi sonrası klinik ortamda (chairside) hazırlanan otojen demineralize dentin greftinin (Auto-FDT) dental implant cerrahisinde kemik greft materyali olarak kullanılabilirliğini değerlendirmiştir (Kim ve ark,2011).

Diş çekimini takiben kök yüzeyine bağlı tüm yumuşak dokular bistüri ile uzaklaştırılmış, ardından kök dokusu karbit frez ile ayrılmıştır. Reaktiflerin diş dokusuna daha iyi penetrasyonunu sağlamak amacıyla dişin dış yüzeyinden pulpa odasına doğru 2–3 mm aralıklarla küçük perforasyonlar açılmıştır. Daha sonra dişler VacuaSonic® ultrasonik cihazı ve DecalSi-DM® reaktifleri kullanılarak demineralizasyon, sterilizasyon ve yıkama işlemlerinden geçirilmiş ve yaklaşık 2 saat içinde klinik ortamda greft materyaline dönüştürülmüştür. Son yıkama solüsyonları bakteriyel kontaminasyon açısından kültür analizi için laboratuvara gönderilmiştir.

Çalışmaya 38 hasta dahil edilmiştir. Toplam 58 diş çekilmiş ve greft materyali olarak işlenmiştir. Osteotomi bölgesindeki kemik defektleri, çekilen dişlerden veya üçüncü molarlardan elde edilen Auto-FDT blok veya partikül formundaki greftlerle rekonstrükte edilmiştir. Aynı seansta veya greftleme sonrası toplam 58 implant yerleştirilmiş olup en sık implantasyon bölgesi posterior mandibula olmuştur. Greftlerin üzeri çoğunlukla kollajen membran, bazı olgularda ise titanyum mesh ile örtülmüştür. Klinik takip süresince ciddi komplikasyon gözlenmemiştir. Tüm hastalarda iyileşme sorunsuz gerçekleşmiş, implant kaybı, greft başarısızlığı veya enfeksiyon görülmemiştir. Greftleme veya protez yerleştirilmesinden 3–6 ay sonra alınan panoramik radyografilerde artmış homojen radyopasite, CBCT görüntülerinde ise implantlar için yeterli kemik desteği gözlenmiştir.

Sonuç olarak, klinik ortamda hazırlanan otojen demineralize dentin greftinin dental implant cerrahisinde güvenli ve etkili bir kemik greft materyali olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Chairside “Dentin Grinder” Protokolü (mineralize veya parsiyel demineralize partikül dentin)

Smart Dentin Grinder, diş çekimi uygulanmış hastaya ait diş dokusunu partikül dentin greftine (autologous dentin graft / ADM) dönüştürmek için tasarlanmış aynı seans (chairside) kullanılan bir öğütme–eleme cihazıdır. Bu prosedür başlıca periodontal nedenlerle çekilen dişler ile kısmen veya tamamen gömülü diş vakalarında endikedir. Kanal tedavisi görmüş dişler yabancı materyal kontaminasyonu nedeniyle bu prosedürde

kullanılmamalıdır. Buna karşılık kronlar ve dolgular uzaklaştırılabilir ve diş kronunun temiz dentin dokusu greftleme amacıyla işlenebilir.

Adım 1: Dişlerin Hazırlanması

Hastadan çekilen dişlerdeki tüm çürük dokular, restoratif materyaller ve artıklar, aeratör kullanılarak uzaklaştırılır. Dişler hava spreyi (air syringe) ile iyice kurutulur. Dekorasyon yapılmasına veya mine dokusunun uzaklaştırılmasına gerek yoktur.

Adım 2: Smart Dentin Grinder'ın Hazırlanması

Hazne Smart Dentin Grinder'ın üst kısmına yerleştirerek kilitlenir ve (Şekil 7) cihaz çalıştırılır. Açma/kapama anahtarı cihazın arka kısmında yer almaktadır.



Şekil 7.Öğütücü haznenin cihaza yerleştirilmesi

Adım 3: Dişlerin Smart Dentin Grinder'a Yerleştirilmesi

Hazırlanan dişler bıçakların yanına gelecek şekilde hazne içerisine aynı anda en fazla 4 diş olacak biçimde yerleştirilir.

Öğütme Süresinin Ayarlanması

Öğütme süresini ayarlamak için: GRIND düğmesine basılır, GRIND gösterge ışığı yanacaktır. İstenen öğütme süresini ayarlamak için UP veya DOWN düğmesine gerekli olduğu kadar basılır.

Eleme (Ayrırma) Süresinin Ayarlanması

Eleme süresini (saniye cinsinden) ayarlamak için: SORT düğmesine basılır, SORT gösterge ışığı yanacaktır. İstenen eleme süresini ayarlamak için UP veya DOWN düğmesine gerekli olduğu kadar basılır.

Dişlerin Öğütülmesi ve Eleme İşlemi

START düğmesine basarak öğütme işlemini başlatılır. Eğer öğütme haznesinde büyük partiküller kalmışsa START düğmesine tekrar basarak ilave 3 saniye öğütme ve ilave 10 saniye eleme işlemi uygulanır (Şekil 8).



Şekil 8.Smart Dentin Grinder cihazında öğütme ve eleme sürelerinin ayarlanması

Adım 4: Hazne Çekmecelerinin Çıkarılması

Üst çekmece bölmesini ayırarak dışarı çekin; bu bölme 300–1.200 mikron aralığındaki partikülleri içerir. 300 mikronun altındaki partikülleri içeren alt çekmece daha fazla greft hacmine ihtiyaç duyulması halinde ilave olarak kullanılabilir (Şekil 9).

Adım 5: Partiküllerin Temizlenmesi (Cleansing)

Kabın kapağı saat yönünde çevirerek kapatılır. Partiküller oda sıcaklığında 5 dakika boyunca dentin cleanser solüsyonu içerisinde bekletilir. Steril gazlı bez kullanarak dentin cleanser solüsyonu uzaklaştırılır (dehidratasyon). Fosfat Tamponlu Salin (PBS – YEŞİL KAPAK) solüsyonunu partiküllerin tamamını örtecek şekilde kaba eklenir. Steril bir alet yardımıyla partiküller karıştırılır ve yeni bir steril gazlı bez kullanılarak solüsyon uzaklaştırılır. Partikül dentin greftleme için hazırdır.



Şekil 9. Smart Dentin Grinder cihazının haznesinden greftin steril bir kaba alınması

Cervera-Maillo ve ark yaptıkları çalışmada otojen dentin greftinin immediat implant yerleştirilmesinde kemik iyileşmesi üzerindeki etkisini değerlendirilmiştir. Çalışmaya mandibulada parsiyel dişsiz, sistemik olarak sağlıklı 10 hasta dahil edilmiştir. CBCT değerlendirmesine göre kemik ogmentasyonuna gerek olmadan mandibulaya altı implant yerleştirilebilecek

hastalar seçilmiştir. Hastalar deney grubu (çekim soketi ve implant–kemik aralığının dentin grefti ile doldurulduğu grup) ve kontrol grubu (soketin doğal iyileşmeye bırakıldığı grup) olarak ikiye ayrılmıştır. Tüm hastalarda çekim sonrası immediat implant yerleştirme protokolü uygulanmıştır (Cervera-Maillo ve Ark,2017). Çekilen dişlerden periodontal ligament ve mine dokusu uzaklaştırıldıktan sonra dentin dokusu Smart Dentin Grinder cihazı ile 300–1200 µm boyutunda partiküllere ayrılmıştır. Elde edilen dentin partikülleri bazik alkollü solüsyonda 7 dakika bekletilerek dezenfekte edilmiş ve ardından 3 dakika serum fizyolojik ile yıkanmıştır. Daha sonra partikül dentin, trombositten zengin plazma (PRP) ile karıştırılarak çekim soketlerine veya kemik defektlerine greft materyali olarak uygulanmıştır.

Histolojik değerlendirme amacıyla biyopsi örnekleri 3., 6., 12. ve 24. aylarda alınmıştır. Histomorfometrik analizlerde zamanla yeni kemik oluşumunun arttığı, buna karşılık rezidüel greft ve bağ doku miktarının azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca yeni kemik oluşumu sırasında dentin greftinin belirgin şekilde rezorbe olduğu saptanmıştır. 24 aylık değerlendirmede deney grubunda kontrol grubuna göre implant çevresinde ve çekim soketi bölgelerinde daha fazla kemik oluşumu görülmüştür.

Sonuç olarak otojen dentin greftinin immediat implant uygulamalarında kemik rejenerasyonunu desteklediği, implant yerleştirilmesini üç ay gibi erken bir dönemde mümkün kıldığı ve çalışma süresince herhangi bir komplikasyon oluşmadığı bildirilmiştir.

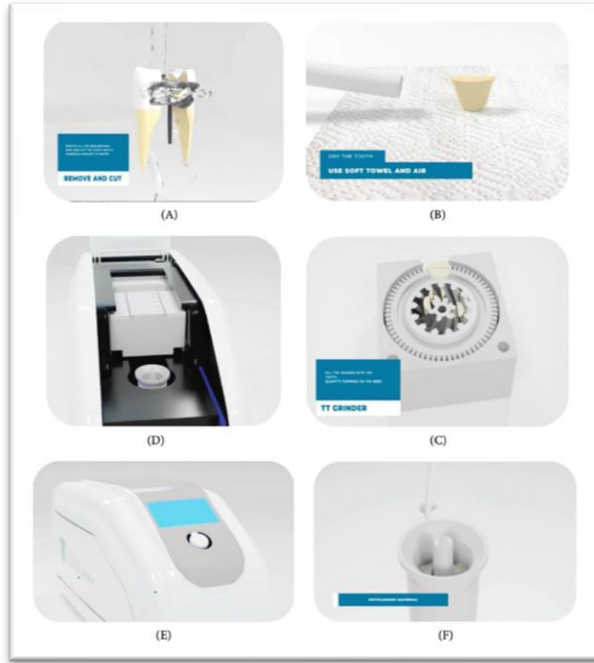
Tooth Transformer

Tooth Transformer (TT) çekilen dişi cihaz içi protokolle dekontaminasyon + demineralizasyon süreçlerinden geçirip dentin kökenli otojen greft materyaline dönüştüren ve aynı seansta kullanmayı (Şekil 10 ve 11) amaçlayan “chairside” bir sistemdir (Minetti ve Ark,2017).

Kullanım amacı alveolar kemik rejenerasyonu (GBR, soket korunması/ARP, kret ogmentasyonu, sinüs lift vb.) için otolog bir iskelet + biyolojik içerik sağlamaktır.



Şekil 10.Tooth Transformer



Şekil 11.Tooth Transformer cihazında dentin grefti prosedürü

- (A) Diş çekimini takiben, dişler yüksek devirli el aleti kullanılarak restoratif dolgu materyallerinden temizlenir ve küçük parçalara ayrılır.
- (B) Diş parçalarının kuru olması gerekmektedir.
- (C) Kuru diş parçalarının düşük devirli öğütücü içine yerleştirilmesi.

- (D) Üç bileşenin cihaza yerleştirilmesi (diş parçalarıyla doldurulmuş öğütücü, tek kullanımlık kartuş ve işlenmiş granüllerin toplandığı kap).
- (E) İşlemi başlatmak için düğmeye basılması.
- (F) İşlem sonunda elde edilen işlenmiş granüller.

TT'nin diğer chairside sistemlerden temel farkı diş parçalayınca kalan kısmın büyük ölçüde kapalı kartuş sistemiyle otomatik yürütülmesi ve adımların her döngüde aynı şekilde tekrarlanmasıdır (operatöre bağlı varyasyon daha düşük). TT döngüsü tipik olarak 25 dakika sürer. Literatürde TT'nin 400–800 µm aralığında daha “sabit” partikül üretebildiği ve/veya üretici talimatlarında partikülün <1 mm olduğu belirtilmektedir.

Minetti ve ark yaptıkları retrospektif çalışmada otojen diştten elde edilen dentin greftinin yönlendirilmiş kemik rejenerasyonu (GBR) ve implant tedavisindeki klinik sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmada toplam 21 hastaya çekilmiş otojen dişlerden hazırlanan dentin grefti kullanılarak GBR uygulanmıştır. Greftleme işleminden 4 ay sonra implantlar yerleştirilmiş ve implantlar yükleme sonrasında ortalama $5,28 \pm 1,10$ yıl takip edilmiştir. Radyografik analizler ortalama $63,36 \pm 13,2$ ay sonra gerçekleştirilmiştir (Minetti ve ark,2017).

Greft materyali çekilmiş dişlerin Tooth Transformer cihazı kullanılarak temizlenmesi, öğütülmesi ve kısmi demineralizasyon işleminden geçirilmesi ile hazırlanmıştır. Bu işlem sırasında dentin içerisindeki BMP-2 ve TGF-β gibi büyüme faktörlerinin korunması sağlanarak materyalin osteoindüktif ve osteokondüktif özellikleri muhafaza edilmiştir. Hazırlanan dentin partikülleri, uygulama öncesinde hastanın otojen kanı ile karıştırılarak cerrahi sahaya uygulanmıştır.

İmplant yerleştirilmesinden 4 yıl sonra implant başarı oranı %100 olarak bulunmuştur. Radyografik değerlendirmelerde ortalama mezial kemik kaybı 0,143 mm, distal kemik kaybı 0,099 mm ve ortalama peri-implant kemik kaybı 0,120 mm olarak belirlenmiştir. Bu değerler, literatürde bildirilen 0,4–1,6 mm arasındaki kemik kaybı değerlerine kıyasla oldukça düşüktür. Ayrıca hiçbir hastada inflamasyon, nekroz veya yabancı cisim reaksiyonu gözlenmemiştir.

Sonuç olarak, otojen diştten elde edilen dentin greftinin yüksek biyouyumluluk gösterdiği, düşük rezorpsiyon oranına sahip olduğu ve implant çevresinde başarılı kemik rejenerasyonu sağlayarak implant tedavisinde güvenle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

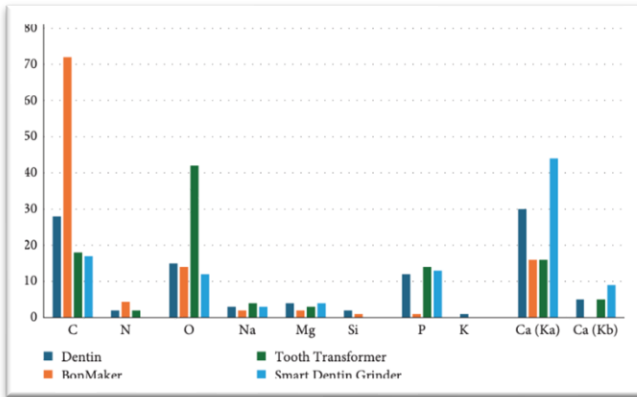
BonMaker

BonMaker hastanın çekilmiş dişini mekanik öğütme + cihaz içi kimyasal işlem ile otolog diş-kökenli greft materyaline dönüştürmek için tasarlanmış bir chairside (klinikte/tek seansta) hazırlama sistemidir (şekil 12).

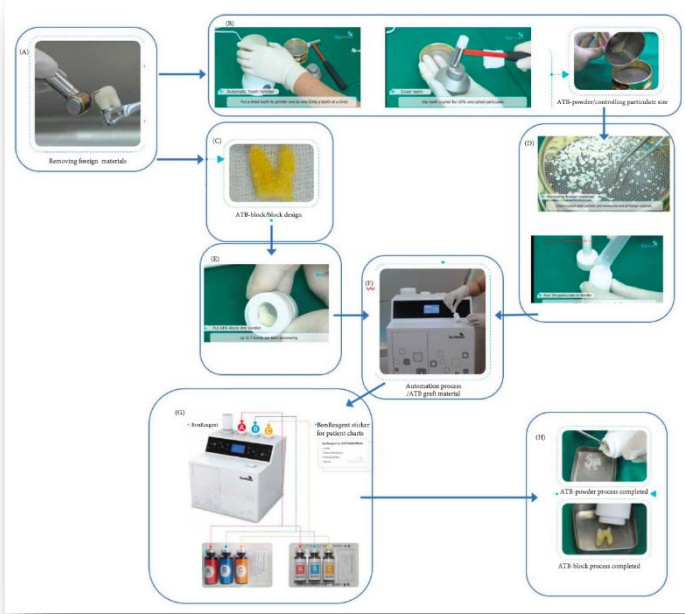
Dlucik ve ark çeşitli cihazları analiz ederek tedavi sonrası partiküllerin mineralizasyon derecesini değerlendirmek amacıyla Ca ve P miktarlarını incelemiştir (Dlucik ve Ark,2023). Elde edilen sonuçlara göre BonMaker minerallerde anlamlı bir azalma göstermiş ve bu durum Kore menşeli cihaz ile daha ileri düzeyde demineralizasyon sağlandığını göstermiştir (Şekil 13 ve Şekil 14).



Şekil 12.BoneMaker cihazı



Şekil 13.Chairside cihazların mineralizasyon değerleri (Dlucik ve Ark,2023).



Şekil 14.BoneMaker cihazı dentin grefti prosedürü

- A. Diş çekimini takiben, dişlerin mine ve sement tabakaları yüksek devirli el aleti kullanılarak uzaklaştırılır.
- B. Diş, yüksek devirli öğütücü ile parçalanır. Çok büyük parçaların küçültülmesi için çekiç kullanılır. Dental partiküllerin elenmesi amacıyla filtreler kullanılır.
- C. Delikler açılarak blok haline getirilmiş şekilde hazırlanan diş.
- D. İlk öğütme işleminden sonra hazırlanan ve kaba yerleştirilen dental doku.
- E. Dental blok kaba yerleştirilir.
- F. Kap cihazın içine yerleştirilir.
- G. Üç farklı sıvı cihazın içine manuel olarak eklenir. Aynı işlem, blok için farklı sıvılar kullanılarak da uygulanır.
- H. İşlem sonunda (26 dk) elde edilen granüller ve blok greftler.

SONUÇ

Genel olarak, çekilmiş dişlerden elde edilen otojen dentin grefti; kemik stabilitesi, biyouyumluluk ve hasta memnuniyeti açısından implant

cerrahisinde ksenogreftlere alternatif olabilecek etkili bir biyomateryal olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Bang, G., & Urist, M. R. (1967). Bone induction in excavation chambers in matrix of decalcified dentin. *Archives of Surgery*, 94(6), 781–789. <https://doi.org/10.1001/archsurg.1967.01330120035008>
- Cervera-Maillo, J. M., Morales-Schwarz, D., Morales-Melendez, H., Mahesh, L., & Calvo-Guirado, J. L. (2017). Autologous tooth dentin graft: A retrospective study in humans. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 22(1), e30–e35. <https://doi.org/10.4317/medoral.21434>
- Dlucik, J., Schwarz, F., & Becker, J. (2023). Comparison of clinical efficacy of three different dentin matrix biomaterials obtained from different devices. *Expert Review of Medical Devices*, 20(4), 313–323. <https://doi.org/10.1080/17434440.2023.2192875>
- Kim, Y. K., Kim, S. G., Yun, P. Y., & Um, I. W. (2011). Autogenous fresh demineralized tooth graft prepared at chairside for dental implant. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 37(6), 423–431.
- Koga, T., Minamizato, T., Kawai, Y., Miura, K., I, T., Nakatani, Y., Sumita, Y., & Asahina, I. (2016). Bone regeneration using dentin matrix depends on the degree of demineralization and particle size. *PLoS ONE*, 11(1), e0147235. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147235>
- Minetti, E., Taschieri, S., Berardini, M., & Corbella, S. (2017). A new classification of autologous tooth-derived grafting materials: Fundamental concepts. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents*, 31(2 Suppl 1), 29–37.
- Minetti, E., Inchingolo, A. D., Lauritano, D., Marinelli, G., & Inchingolo, F. (2020). Ten-year implants follow-up after guided bone regeneration using autologous tooth graft: Innovative biomaterial for bone regeneration (Tooth Transformer®). *Applied Sciences*, 10(20), 7097. <https://doi.org/10.3390/app10207097>
- Minetti, E., Gianfreda, F., Palermo, A., & Bollero, P. (2017). Autogenous dentin particulate graft for alveolar ridge augmentation with and without use of collagen membrane: Preliminary histological analysis on humans. *Journal of Oral & Maxillofacial Research*, 8(2), e5. <https://doi.org/10.5037/jomr.2017.8205>
- Murata, M., Akazawa, T., Mitsugi, M., Um, I. W., Kim, Y. K., et al. (2012). Bone regeneration by demineralized dentin matrix in skull defects of rats. *Journal of Hard Tissue Biology*, 21(1), 25–34.

- Reddi, A. H., & Huggins, C. B. (1973). Influence of geometry of transplanted tooth and bone on transformation of fibroblasts. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 143(2), 634–637.
- Tziafas, D., & Kolokuris, I. (1990). Inductive influences of demineralized dentin and bone matrix on pulp cells: An approach of secondary dentinogenesis. *Journal of Dental Research*, 69(1), 75–81. <https://doi.org/10.1177/00220345900690011301>
- Um, I. W., Kim, Y. K., & Mitsugi, M. (2017). Demineralized dentin matrix scaffolds for alveolar bone engineering. *Journal of Indian Prosthodontic Society*, 17(2), 120–127. https://doi.org/10.4103/jips.jips_62_17
- Yeomans, J. D., & Urist, M. R. (1967). Bone induction by decalcified dentine implanted into oral, osseous and muscle tissues. *Archives of Oral Biology*, 12(8), 999–1008. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(67\)90056-0](https://doi.org/10.1016/0003-9969(67)90056-0)

DENTAL İMPLANT, KEMİK OGMENTASYONU VE SİNÜS CERRAHİSİNDE ANTİBİYOTİK KULLANIMI

Gizem TORUMTAY CİN

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji Ana Bilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-5362-4146
- ❖ Mail: gyaprak_dt@hotmail.com

Ayşegül ŞENER

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji Ana Bilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0005-7239-7187
- ❖ Mail: a.gulsener08@gmail.com

GİRİŞ

Sert doku cerrahisi, oral ve maksillofasiyal cerrahide önemli bir yere sahiptir ve implant yerleştirme, kemik ogmentasyonu ve sinüs cerrahisi gibi çeşitli işlemleri kapsamaktadır. Bu cerrahi müdahaleler, kemik dokusunun restorasyonu ve fonksiyonel iyileşmesi amacıyla yapılmaktadır, ancak postoperatif enfeksiyon riski nedeniyle dikkatli bir antibiyotik yönetimi gerektirmektedir (Momand et al., 2024).

Cerrahi alan enfeksiyonları, oral ve maksillofasiyal prosedürlerin morbidite ve mortalite potansiyelini artırabilen ciddi bir komplikasyondur. Antibiyotiklerin kullanımı, cerrahi sonrası enfeksiyonların önlenmesi ve tedavisinde kritik bir rol oynamaktadır. Cerrahi alan enfeksiyonlarının sıklığını azaltmak için preoperatif, perioperatif ve postoperatif antibiyotik kullanımı, hastanın antibiyotikle ilişkili yan etki riski dikkate alınarak dengelenmelidir. Oral cerrahi işlemler, cerrahi yara sınıflamasına göre Sınıf II (temiz-kontamine) yara olarak tanımlanmaktadır. Oral cerrahi işlemlerde enfeksiyon oranının %10 ila %15 arasında olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, uygun cerrahi teknik ve profilaktik antibiyotiklerle enfeksiyon insidansı %1'e kadar düşürülebilir (Resnik & Misch, 2008). Ancak, antibiyotiklerin gereksiz veya yanlış kullanımı, antibiyotik direncinin gelişimine yol açmakta ve bu durum klinik sonuçları olumsuz etkilemektedir (Resnik & Misch, 2008).

Bu bölümün amacı, sert doku cerrahilerinde antibiyotik kullanımını dental implant cerrahisi, kemik ogmentasyonu ve sinüs cerrahisi perspektifinden ele alarak güncel literatür ışığında kapsamlı bir şekilde değerlendirmektir.

1.Dental İmplant Cerrahisinde Antibiyotik Kullanımı

Dental implantlar, uzun vadeli başarıları kanıtlanmış (Jang et al., 2011) ve günümüzde kısmi veya tam dişsiz hastaların rehabilitasyonunda kullanılan bir tedavi yöntemidir. Dental implantlar, biyouyumlu malzemelerden üretilmektedir ve çene kemiğine cerrahi olarak yerleştirilmektedir (Surapaneni et al., 2016).

Dental implant tedavisinin yüksek bir başarı oranına sahip olması beklenmektedir. Uzun dönem takip içeren çalışmalarda %90-95 oranında implant sağkalım oranı bildirilmiştir (Jang et al., 2011). Yüksek başarı

oranlarına rağmen implant cerrahilerinde başarısızlıklar meydana gelebilmektedir. Bu başarısızlıklar protez restorasyonundan önce meydana gelen erken başarısızlıklar veya protez yerleştirilmesinden sonra meydana gelen geç başarısızlıklar olarak sınıflandırılabilir (Jang et al., 2011). Dental implantların başarısızlık oranını etkileyen çeşitli faktörler arasında, kemik miktarının ve kalitesinin yetersiz olması, doğru olmayan protez tasarımı, implantın sert ve yumuşak dokularla integrasyonunun olmaması ve uygulayıcının deneyimi yer almaktadır. Dental implant başarısızlığında ileri yaş, sistemik hastalıklar, sigara kullanımı, zayıf oral hijyen ve parafonksiyonel alışkanlıklar gibi hasta ile ilgili faktörler de yer almaktadır (Jang et al., 2011).

Erken dental implant başarısızlığı tüm vakaların yaklaşık %2'sinde görülmektedir ve implantın osseointegrasyon eksikliği ile karakterizedir (Troiano et al., 2018). Erken dental implant başarısızlığı; ameliyat sırasındaki ve sonrasındaki birtakım faktörlerle ilişkilendirilmiştir. Ameliyat sırasında implantın primer stabilitesinin olmaması, implantın kontamine olması veya ameliyat sırasında oluşan travma ve ameliyat sonrası 150 µm'yi aşan mikrohareketlerin varlığı erken implant başarısızlığının sebepleri arasındadır (Troiano et al., 2018). Peri-implant bölgesinin bakteriyel kolonizasyonu da erken dental implant başarısızlığı ile ilişkilendirilmiştir ve bakteriyel spektrumda streptokoklar, anaerobik gram pozitif koklar ve anaerobik gram negatif türler baskındır (Mombelli et al., 1987).

Oral implantolojinin başlangıcından bu yana, ağız boşluğunda 500-700'den fazla bakteri türünün varlığına ek olarak, postoperatif enfeksiyonların gelişimine katkıda bulunabilen moleküler biyolojik tekniklerle keşfedilen diğer kültürlenemeyen mikroorganizmalar nedeniyle koruyucu antibiyotiklerin reçete edilmesi implant yerleştirme protokollerine dahil edilmiştir (Salgado-Peralvo et al., 2021). Sistemik antibiyotik profilaksisi, erken implant başarısızlığını ve dental implantlar çevresinde lokal enfeksiyon riskini azaltmak için kullanılmıştır (Salgado-Peralvo et al., 2021). Yapılan bir çalışmada sistemik antibiyotik uygulamasının, sağlıklı hastalarda geniş flep açılmasını gerektirmeyen ve implant ile eş zamanlı kemik ogmentasyonu yapılmayan basit implant cerrahilerinde erken implant başarısızlığını önemli ölçüde azaltmadığı sonucuna varılmıştır (Romandini et al., 2019). Literatür incelendiğinde dental implant cerrahisinde farklı doz ve sürelerde sistemik antibiyotik uygulamaları yer almaktadır. Aşağıda penisilin, klindamisin, azitromisin ve siprofloksasin gibi çeşitli antibiyotiklerin dental implant cerrahisinde kullanımlarına yer verilmiştir.

A) Penisilin Grubu Antibiyotik Kullanımı

Literatür incelendiğinde dental implant cerrahisinde antibiyotik kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaların birçoğunun penisilin grubu antibiyotikler (özellikle amoksisilin) üzerine olduğu görülmektedir. Dental implant cerrahisinde ameliyattan 1 saat önce uygulanan 2 g amoksisilin ile plasebonun karşılaştırıldığı çalışmalara bakıldığında, Esposito ve ark.'nın 506 hastayı içeren çalışmasında antibiyotik grubunda daha az implant başarısızlığı ve daha düşük enfeksiyon oranı bildirilmiştir. Ancak hasta düzeyinde değerlendirildiğinde bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Plasebo grubunda enfeksiyon oranının yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu gözlenmiş, ayrıca immediat implantların gecikmiş implantlara kıyasla daha yüksek başarısızlık riski taşıdığı belirtilmiştir. (Esposito et al., 2013). Tip II ve III kemikte tek implant yerleştirilen bir çalışmada, ameliyattan 1 saat önce 2 g amoksisilin uygulamasının plasebo grubuna kıyasla implant başarısızlığı ve postoperatif enfeksiyon açısından anlamlı fark sağlamadığı ve amoksisilinin doğal saprofit florayı değiştirmedeği bildirilmiştir. (Anitua et al., 2008). Benzer şekilde, Momand ve ark.'nın 473 hastada gerçekleştirdikleri randomize kontrollü çalışmada ameliyattan 1 saat önce 2 g amoksisilin ile plasebo karşılaştırıldığında, implant başarısızlığı ve postoperatif enfeksiyon açısından gruplar arası anlamlı farklılıklar bulunmamıştır. (Momand et al., 2022). Farklı amoksisilin protokollerinin [(1) ameliyattan 1 saat önce 2 g, (2) ameliyattan 1 saat önce 2 g ve 7 gün boyunca 1g 2x1, (3) ameliyat sonrası 7 gün boyunca 1g 2x1 ve (4) plasebo] karşılaştırıldığı bir pilot çalışmada, preoperatif ve/veya postoperatif antibiyotik kullanımını içeren bu dört farklı yaklaşım arasında implant başarısızlığı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamış ve hiçbir grupta postoperatif komplikasyon bildirilmemiştir (Caiazzo et al., 2011). Randomize klinik bir çalışmada, preoperatif 2 g amoksisiline ek olarak uygulanan postoperatif 7 günlük 3x1 500 mg amoksisilin tedavisinin, yalnızca preoperatif antibiyotik profilaksisi ile karşılaştırıldığında peri-implant krestal kemik seviyesi değişiklikleri ve cerrahiye bağlı morbiditeler üzerinde ek bir fayda sağlamadığı; ayrıca 1 yıllık implant sağkalım oranının her iki grupta da %100 olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada implant operasyonu geçiren sağlıklı hastalarda rutin postoperatif antibiyotik rejiminin, postoperatif peri-implant kemik kaybını ve komplikasyonları önlemek için gerekli olmayabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Durand et al., 2021). Antibiyotik profilaksisini plasebo ile karşılaştıran randomize kontrollü çalışmaları içeren bir sistematik inceleme ve meta-analizde, komplikasyonsuz implant cerrahilerinde antibiyotik profilaksisinin

sağlıklı hastalarda hiçbir faydası olmadığı ileri sürülmüştür (Lund et al., 2015). Avrupa Osseointegrasyon Derneği'nin (AOD) 2015 tarihli bir konsensüs raporunda, antibiyotik profilaksisinin implant cerrahisinin basit vakalarında hiçbir faydalı etkisinin olmadığı belirtilmiştir (Klinge et al., 2015). AOD 2015' teki açıklamanın aksine, İtalyan Osseointegrasyon Akademisi'nin yayınladığı rapora göre , basit implant vakalarında tek bir antibiyotik dozunun uygulanmasını savunmaktadır (Caiazzo et al., 2021).

Günümüzde, dental implantlarda implant başarısızlığını veya cerrahi sonrası enfeksiyonu önlemek için antibiyotik kullanımı oldukça tartışmalıdır ve ameliyat sonrası antibiyotikler implant başarı oranında etkisiz görünmektedir (Sánchez et al., 2018). İmplant cerrahisinde antibiyotik profilaksisi, enfeksiyon ve/veya enfeksiyöz endokardit riski yüksek hastalarda önerilirken, diğer hastalar için implant yerleştirilmesinden 1 saat önce tek doz 1, 2 veya 3 g oral amoksisilin kullanılması, dental implant başarısızlıklarını önlemede ve azaltmada etkili olabilir, ancak ameliyat sonrası enfeksiyonların oluşumu açısından önemli bir etki gözlenmemiştir (Sánchez et al., 2018).

Preoperatif antibiyotik profilaksisi, implant başarısızlık oranlarını azaltmada etkili görünmektedir; bunun nedeni muhtemelen cerrahi müdahale sırasında kontaminasyonun kritik anlarında cerrahi bölgeye ve implant yüzeyine ulaşabilen yeterli miktarda kan/sıvı konsantrasyonunun bulunması ve bu sayede bakterilerin hızla yok edilmesine katkıda bulunmasıdır. Ancak, yüksek bakteri yükü veya dokularda aşırı travma durumunda antibiyotik profilaksisi yeterli olmayabilir (Buonavoglia et al., 2021).

Mevcut literatür, basit implant vakalarında antibiyotik profilaksisinin mutlak risk azaltımı sağladığını, ancak bu etkinin oldukça sınırlı olduğunu göstermektedir. Tedavi için gereken hasta sayısının yüksek olması, bu uygulamanın rutin kullanımının tartışmalı olduğunu ortaya koymaktadır.

B) Klindamisin Kullanımı

Dental implant tedavisi gereken ve penisilin alerjisi olan hastalarda çoğu klinisyenin uyguladığı tedavi yöntemi genellikle klindamisini alternatif antibiyotik rejimi olarak uygulamak olmuştur (Santamaría Arrieta et al., 2023). İtalyan Osseointegrasyon Akademisi tarafından yakın zamanda yayınlanan konsensüs raporuna göre, penisilin alerjisi olan hastalarda, basit vakalarda operasyondan 1 saat önce 600 mg klindamisin verilmesi önerilmiştir (Caiazzo et al., 2021). Bu rejim, Birleşik Krallık, İspanya ve Belçika'daki klinisyenler arasında en çok kullanılan rejim olarak ortaya

çıkıştır. Klindamisin bir alternatif olarak yaygın kullanımına rağmen, mevcut kanıtlar klindamisin klinik etkinliği hakkındaki retrospektif çalışmalara dayanmaktadır. Arrieta ve ark. yaptıkları randomize kontrollü çalışmada, ameliyat öncesi 600 mg klindamisin kullanılmasının implant başarısızlığını veya ameliyat sonrası komplikasyonları azaltmadığını bulmuşlardır (Santamaría Arrieta et al., 2023). Randomize kontrollü bir çalışmada, tek doz 600 mg klindamisin ile 2 g amoksisilin profilaksisi karşılaştırıldığında, erken implant başarısızlığı, postoperatif enfeksiyon, ağrı/iltihap skorları ve implant stabilitesi açısından gruplar arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir; bu bulgular, klindamisin implant cerrahisi öncesinde güvenli bir alternatif profilaksi seçeneği olabileceğini göstermektedir. (Pradillo-Gallego et al., 2024). Salomo-Coll ve ark. penisilin alerjisi olan ve klindamisin ile tedavi edilen hastaların implant başarısızlığı riskinin dört kat daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir (Salomó-Coll et al., 2018).

Amerikan Diş Hekimleri Birliği, *C. difficile*'nin neden olduğu psödomembranöz kolit gibi ciddi yan etkiler bildirildiği için penisilin alerjisi olan hastalarda klindamisin kullanımına karşı uyarıda bulunmuştur (Santamaría Arrieta et al., 2023). Klindamisin kullanımıyla ilgili diğer sorunlar arasında gastrointestinal problemler (bulantı, kusma, ishal ve karın ağrısı), hematolojik sorunlar (nötropeni, trombositopeni ve hemoliz), nefrotoksisite (proteinüri veya böbrek yetmezliği), nöropatiler (sinir disfonksiyonu veya periferik nöropati), hepatobiliyer bozukluklar (sarılık veya hepatit), mukoza zarlarının olağan bakteri florasında değişiklikler (maya enfeksiyonlarına veya psödomembranöz kolite yol açabilir) ve ilaç etkileşimleri yer almaktadır (Deeb et al., 2015). Randomize kontrollü bir çalışmada, tek doz 600 mg klindamisin ile 2 g amoksisilin profilaksisi karşılaştırıldığında, erken implant başarısızlığı, postoperatif enfeksiyon, ağrı/iltihap skorları ve implant stabilitesi açısından gruplar arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir; bu bulgular, klindamisin implant cerrahisi öncesinde güvenli bir alternatif profilaksi seçeneği olabileceğini göstermektedir (Pradillo-Gallego et al., 2024).

Klindamisin yaygın kullanılsa da son yıllarda artan *C. difficile* riskine dair uyarılar bu antibiyotığın güvenliğini tartışmaya açmıştır.

C) Azitromisin Kullanımı

Dental implant cerrahisi öncesi 2 g amoksisilin ve 500 mg azitromisin profilaksisi karşılaştırılan bir çalışmada, azitromisinin cerrahi alanda daha uzun süre kaldığı ve ameliyat sonrası dişeti oluşu ve peri-implant sıvılarında proinflatuar sitokin ve kemokin düzeylerini amoksisilinden daha fazla azalttığı bulunmuştur; bu bulgular, azitromisinin ameliyat sonrası inflamasyonun çözülmesini destekleyebileceğini göstermektedir (Escalante et al., 2015).

D) Diğer Antibiyotikler Ve Yaklaşımlar

Amoksisilin, azitromisin, amoksisilin-klavulanik asit, siprofloksasin, klindamisin, doksisisiklin ve metronidazolün karşılaştırıldığı bir kohort çalışmada, premedikasyon olarak siprofloksasin veya klindamisin kullanılan hastalarda yerleştirilen implantların başarısızlık riskinin, amoksisilin kullanılan hastalara kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Chatzopoulos & Wolff, 2025). İnsan kemik hücreleri üzerinde yapılan bir çalışmada, lokal enfeksiyonlarda sıklıkla reçete edilen siprofloksasin düzeylerinin osteoblast benzeri hücrelerin proliferasyonunu inhibe edebileceği gösterilmiştir (Chatzopoulos & Wolff, 2025). Bu durum kemik iyileşmesinin gecikmesine ve kemik yoğunluğunun azalmasına yol açarak osseointegrasyon sürecini olumsuz etkileyebilir. Nitekim siprofloksasin ile premedikasyon uygulanan hastalarda implant sağkalım süresinin daha kısa bulunması, ilacın kemik iyileşmesi üzerindeki bu potansiyel olumsuz etkisi ile ilişkilendirilmektedir (Chatzopoulos & Wolff, 2025). Bu nedenle klindamisin veya siprofloksasin gibi ajanların, yalnızca alternatif tedavi gerektiren durumlarda ve dikkatli hasta seçimi ile kullanılması önerilmektedir.

Dental implant uygulanan hastalarda profilaktik antibiyotik kullanımı ile ilgili aşağıdaki şekilde bir tablo oluşturulmuştur (Milic et al., 2021) (Tablo 1).

Tablo 1. Antibiyotik kullanımı için öneriler

Antibiyotik kullanımı	
Sağlıklı, komplikasyonsuz hastalarda tek implant yerleştirilmesi için antibiyotik profilaksisi önerilmektedir	Evet (şiddetle tavsiye)
Greftleme veya çoklu implant yerleştirilmesi gibi karmaşık vakalarda antibiyotik profilaksisinin yararlı etkisi göz ardı edilemez, ancak ortaya çıkan antibiyotik direnci ve istenmeyen reaksiyonlar bağlamında değerlendirilmelidir	Evet (güçlü öneri)

Ameliyat öncesi antibiyotikler	
Profilaktik antibiyotiklerin gerekli görüldüğü durumlarda, ameliyat öncesi amoksisilin önerilir	Evet (güçlü öneri)
Ameliyat sonrası antibiyotikler	
Ameliyat sonrası antibiyotik dozunu destekleyen sınırlı kanıt bulunmaktadır. Bu nedenle, ameliyat sonrası antibiyotikler şu anda rutin olarak önerilmemektedir	Hayır (zayıf öneri)
Antibiyotik dozu	
Karmaşık dental implant uygulanan hastalara ameliyattan bir saat önce 2 g amoksisilin verin	Şiddetle tavsiye edilmektedir

Tablo 1’de ifade edildiği gibi sağlıklı hastalarda tek implant için profilaktik antibiyotik önerilmemektedir, ancak kompleks vakalarda sınırlı faydası olabilir.

Çok sayıda sistematik incelemeye rağmen, implant cerrahisinde antibiyotik profilaksisinin faydaları konusunda farklı görüşler olduğu açıktır. Dental implant başarısızlığı veya postoperatif enfeksiyonların önlenmesinde preoperatif antibiyotiklerin etkinliğini belirlemek için iyi tasarlanmış, geniş ölçekli ek randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır.

2.Kemik Ogmentasyonu Cerrahilerinde Antibiyotik Kullanımı

Kemik ogmentasyonu cerrahileri, reaktif biyomalzemelerdeki önemli gelişmeler, trombositlerde bulunan büyüme faktörlerinin etki mekanizmasının daha iyi anlaşılması ve cerrahi tekniklerdeki gelişmeler sayesinde günümüz implant diş hekimliğinde son derece yaygın bir işlemdir. Cerrahin, dental implantı protetik restorasyonların gereksinimlerini en iyi şekilde karşılayacak pozisyona yerleştirmesi gerekmektedir. Hastaların ideal protez sonuçlarına yönelik artan talepleriyle birlikte, cerrahların beklenen estetik ve fonksiyonel sonuçları sağlamak için hem sert hem de yumuşak dokuları öngörülebilir bir şekilde büyötmeleri beklenmektedir. Kemik grefti uygulamaları implant yerleştirilmeden önce, implant yerleştirme sırasında veya implant yerleştirildikten sonra gerçekleştirilebilmektedir; ancak bu kemik artırma prosedürleri, daha yüksek maliyet, enfeksiyon veya başarısızlık gibi komplikasyon risklerinin artması ve toplam tedavi süresinin uzaması gibi dezavantajlarla ilişkilidir.

Kemik grefti uygulanan bölgede, bariyer membranların gözenekli yapısı nedeniyle bakteriyel infiltrasyon mümkündür. Emilmeyen membranlarda ise, yüksek gözenek boyutuna sahip politetrafloroetilen (e-

PTFE, 5–30 µm) membranlar erken enfeksiyon riskini artırırken, düşük gözenekli yüksek yoğunluklu PTFE (d-PTFE, 0,2–0,3 µm) membranlar bu riski azaltır. Rezorbe olabilen membranların aksine, rezorbe olmayan membranları bölgeden çıkartmak için ikinci bir cerrahi işlem gerekir ve bu greflenmiş olan bölgenin bakterilere maruz kalmasına neden olur (Cucchi et al., 2019). Günümüzde, antibiyotiklerin gerekli olup olmadığına dair çok az kanıt mevcuttur. Geleneksel kılavuzlar ve deneysel bulgular, bu tür ameliyatlarda genellikle uzun süreli antibiyotik protokollerinin kullanıldığını göstermektedir; bu protokoller ameliyattan önce başlar ve birkaç gün sonrasına kadar devam eder. Amaç, implant başarısını ve osteointegrasyonu artırmak ile ameliyat sonrası enfeksiyon riskini azaltmaktır. (Cucchi et al., 2019).

A) Penisilin Kullanımı

Yönlendirilmiş kemik rejenerasyonu (GBR) işlemlerinde antibiyotik profilaksisi (ameliyattan 1 saat önce yükleme dozu ve ameliyat sonrası 7 gün boyunca günde 3 kez antibiyotik kullanımı ile uzun süreli tedavi) kesinlikle önerilmiştir; ancak ameliyat öncesi ve sonrası antibiyotik kullanımı ile GBR başarı oranı arasındaki ilişki literatürde yeterince belgelenmemiştir. Gelecekteki araştırmalar en iyi antibiyotik seçimine, uygulama zamanlamasına ve doza odaklanmalıdır. Ameliyattan 1 saat önce 2 g amoksisilin + klavulanik asit ile 500 mg metronidazol verilmesi, ardından ameliyattan sonraki 7 gün boyunca her 8 saatte bir 1 g amoksisilin + klavulanik asit ve 4 gün boyunca her 8 saatte bir 250 mg metronidazol alınması önerilmektedir (Cucchi et al., 2019).

Kemik rejeneratif tekniklerde, periodontal açıdan sağlıklı hastalarda kullanılan sistemik antibiyotiklerin; ağrı, şişlik, hematoma ve kanama gibi postoperatif komplikasyonlar, flep kapanması ve yara iyileşmesi, süpürasyon gelişimi ve implant stabilitesi üzerinde anlamlı bir iyileşme sağlamadığı görülmektedir (Buonavoglia et al., 2021).

Düşük bakteri yükünün sağlanması ve travmatik cerrahi tekniklerin uygulanması, kemik rejeneratif prosedürlerde önemli faktörlerdir. Bazı araştırmacılar uzun süreli antibiyotik profilaksisinin ek bir fayda sağlamadığını belirtmektedir. Ayrıca, antibiyotiklerin postoperatif enfeksiyonları önlemede teorik bir etkisi olduğu kabul edilse bile, sınırlı süreli antibiyotik kullanımı kemik rejenerasyonu ve osteointegrasyonun uzun iyileşme süreci boyunca oluşabilecek kontaminasyonları önlemede yetersiz

kalabilir. Bunun yanında, yüksek derecede inflamasyonla ilişkili aşırı cerrahi travmaların antibiyotik veya antiinflamatuvar tedavilerle tamamen kontrol altına alınması da her zaman mümkün olmayabilir (Buonavoglia et al., 2021)

Kemik grefti sonrası herhangi bir enfeksiyon gelişmesi revaskülarizasyon sürecini ve dolayısıyla kemik grefti başarısını ciddi şekilde tehdit etmektedir bu nedenle antimikrobiyal profilaksinin, kontamine veya temiz-kontamine cerrahide postoperatif yara enfeksiyonunu önlemek için alınması gereken birçok önlemden biri olduğu genel olarak kabul edilmektedir (Lindeboom et al., 2005). Oral bukkal kemik grefti prosedürlerinde yapılan bir çalışmada, penisilin kullanılan gruba kıyasla plasebo grubunda daha yüksek enfeksiyon oranı (%40) bildirilmiş ve bu durum antibiyotik profilaksisinin gerekli olabileceğini göstermiştir (Lindeboom et al., 2005). Bununla birlikte, antibiyotik profilaksisinin seçimi ve süresi konusunda görüş birliği bulunmamaktadır. Çoklu doz uygulamasının tek dozdan daha etkili olduğuna dair yeterli kanıt yoktur. Çoğu çalışmada antibiyotikler 5–10 gün süreyle kullanılmış olsa da kullanım süresi uzadıkça yan etkiler ve antibiyotik direnci gelişme riski artmaktadır (Lindeboom et al., 2005).

B) Klindamisin Kullanımı

Klindamisin geniş bir antibakteriyel spektruma sahiptir. Ancak bu durum, hastanın normal oral florasını bozarak süper enfeksiyonlara ve mikrobiyal dengenin değişmesine yol açabilir. Ayrıca klindamisin kullanımının dirençli bakterilerin gelişimini artırabileceği konusunda da endişeler bulunmaktadır (Lindeboom et al., 2005).

Randomize kontrollü bir çalışmada, bukkal onlay greftleme işleminde klindamisin tek doz profilaktik kullanımı ile 24 saatlik kullanım rejimi karşılaştırılmıştır. Her iki grupta da ameliyattan 1 saat önce 600 mg oral klindamisin uygulanmıştır. Postoperatif enfeksiyon oranları açısından tek doz ve 24 saatlik klindamisin kullanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Lindeboom et al., 2005). İntraoral greft uygulamalarında yapılan bir çalışmada, işlemden 1 saat önce uygulanan tek doz 2 g penisilin ile tek doz 600 mg oral klindamisin karşılaştırılmıştır. Greft ve donör bölgelerinde görülen enfeksiyon oranları açısından iki grup arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Postoperatif enfeksiyonların çoğunlukla penisiline duyarlı alfa-hemolitik streptokoklardan kaynaklandığı bildirilmiştir (Lindeboom et al., 2006).

Cerrahi kemik artırma prosedürlerinde ampirik antibiyotik profilaksisi yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu girişimlerden sonra genellikle yaklaşık 10 gün süren antibiyotik tedavisi önerilmiş olsa da, bu uygulamayı destekleyen yeterli bilimsel kanıt bulunmamaktadır (Lindeboom et al., 2006; Lindeboom et al., 2005). İsveç'te yayımlanan ulusal diş hekimliği kılavuzları, uzun süreli profilaktik antibiyotik kullanımını önermemekte; bunun yerine ameliyattan 1 saat önce uygulanan tek doz 2 g amoksisilin veya penisilin alerjisi olan hastalarda 600 mg klindamisin kullanımının yeterli koruma sağlayabileceğini belirtmektedir (Bazsefidpay et al., 2023).

2023 yılında yayımlanan retrospektif bir çalışmada, dental implant tedavisi öncesinde kemik artırma prosedürleri uygulanan hastalarda profilaktik antibiyotik kullanımının doz, süre ve tür açısından önemli farklılıklar gösterdiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, uzun süreli antibiyotik profilaksisi ile tedavi türü, hastanın sağlık durumu veya cerrahın deneyimi arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır (Bazsefidpay et al., 2023). Kemik artırma prosedürlerinden sonra postoperatif enfeksiyon görülme oranı yaklaşık %5'tir. Antibiyotik kullanılmayan hastalarda, antibiyotik verilenlere kıyasla enfeksiyon riski anlamlı şekilde daha yüksektir (Bazsefidpay et al., 2023). Bu durum, söz konusu cerrahinin temiz-kontamine sınıfta yer alması ve genellikle %10–15 enfeksiyon riski taşımasına rağmen, uygun cerrahi teknik ve profilaktik antibiyotik uygulamasıyla riskin %1'e düşmesiyle açıklanmaktadır (Bazsefidpay et al., 2023).

3.Sinüs Lifting Cerrahisinde Antibiyotik Kullanımı

Posterior maksillada diş kaybı olduğunda hem fizyolojik kemik yeniden şekillenmesi hem de sinüs boşluğunun alveolar kret yönünde pnömatizasyonu sonucu alveolar kemik rezorpsiyonu meydana gelmektedir ve maksiller sinüsün hacmi artmaktadır. Bu durum, maksiller posterior alveolar kret bölgesinde implant yerleştirmeyi zorlaştırabilmekte ve dahası engelleyebilmektedir. İmplant yerleşimi için "maksiller sinüs lifting" olarak bilinen rejeneratif bir cerrahi işlem yapılarak maksiller posterior bölgedeki sınırlı kemik miktarının artırılması gerekmektedir (Molina et al., 2022).

Maksiller sinüs lifting işlemi, uygun implant yerleşimi için yeterli kemik yüksekliği ve genişliği sağlamak amacıyla 40 yılı aşkın süredir uygulanmakta olup, günümüzde düşük komplikasyon oranına sahip güvenli bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Klasik sinüs kaldırma prosedürü ilk

olarak 1976'da Tatum tarafından kemik yüksekliğini artırmanın ve dental implantasyona olanak sağlamanın bir yolu olarak tanımlanmıştır (Molina et al., 2022). Dental implantlar, sinüs yükseltme prosedürüyle eş zamanlı ("tek aşamalı" teknik) veya ogmentasyondan sonra ("iki aşamalı" teknik) yerleştirilebilir. Uygun rezidüel kemik yüksekliği olan hastalarda, sinüs tabanı osteotom tekniğiyle transalveolar yaklaşımla da yükseltilebilir (Molina et al., 2022).

Maksiller sinüs ogmentasyonu, invaziv yapısına rağmen doğal kemiğe yerleştirilen implantlarla karşılaştırılabilir başarı sunmakta ve düşük postoperatif enfeksiyon oranları (%2-%5,6) ile dikkat çekmektedir. Bu komplikasyonlar genellikle lokalize ve yönetilebilir olsa da nadiren ciddi klinik tablolar oluşturabilir. Sinüs grefti enfeksiyonlarının yönetimi henüz standartlaştırılmamıştır ve cerrahi de dahil olmak üzere çeşitli protokoller uygulanmaktadır (Mordini et al., 2022). Ameliyat sonrası enfeksiyonlar, gerçek sinüs enfeksiyonları (akut sinüzit) veya kemik grefti kontaminasyonuna bağlı enfeksiyonlar şeklinde görülebilir. Maksiller sinüs ogmentasyonu prosedürlerinde perioperatif antibiyotik profilaksisi yaygın olarak kullanılmaktadır (Mordini et al., 2022).

Maksiller sinüs enfeksiyonu tedavisi genellikle hastanın yakın takibiyle birlikte antibiyotik tedavisini içerir. Graft iyileşme sırasında enfekte olursa veya ameliyattan sonra açığa çıkarsa, uzaklaştırılmalı ve yeniden greftlemeden önce en az 6 ay iyileşmeye bırakılmalıdır (Katranji et al., 2008). Enfeksiyonun greft materyalini kontamine ettiği durumlarda, oluşabilecek komplikasyonları sınırlamak amacıyla greftin tamamen uzaklaştırılması gerekebilir. Enfeksiyonun eradikasyonunun sağlanmasının ardından, ilgili bölgeye yeniden sinüs greftleme işlemi uygulanabilir. Greftleme işlemi öncesinde antibiyotik ve nazal dekonjestan tedavisi başlatılmakta ve bu tedavi protokolü iyileşme süreci boyunca sürdürülmektedir (Katranji et al., 2008). Literatür taraması, akut sinüzitin en sık Haemophilus influenza ile, ardından Moraxella catarrhalis, Streptococcus pneumoniae ve metisiline duyarlı Staphylococcus aureus ile oluştuğunu göstermektedir. Bu durum, amoksisilin gibi amino-penisilinlerin, greftleme prosedürlerinden sonra akut sinüs enfeksiyonları için uygun antibiyotik seçeneği olabileceğini düşündürmektedir (Katranji et al., 2008). Carreno ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, sinüs yükseltme prosedürleri sırasında maksiller sinüs tabanından alınan örneklerin mikrobiyolojik analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen kültürlerde mikroorganizmaların önemli bir

kısının Streptococcus cinsine, özellikle de Streptococcus viridans grubuna ait olduğu belirlenmiştir. Antibiyogram sonuçları, izole edilen mikroorganizmaların makrolidlere karşı daha yüksek direnç, buna karşılık penisilin, sefalosporinler ve siprofloksasine karşı daha yüksek duyarlılık gösterdiğini ortaya koymuştur. En yüksek etkinliğe sahip antibiyotiklerin ampisilin, amoksisilin-klavulanat ve siprofloksasin olduğu bildirilmiştir (Carreño Carreño et al., 2018).

Sinüs lift prosedürlerinde, sistemik antibiyotik tedavisine ek olarak greft materyaline düşük doz metronidazolün lokal uygulanmasının anaerobik kontaminasyonu azaltarak greft kalitesini artırabileceği bildirilmiştir. Ayrıca koruyucu etki için gerekli metronidazol miktarının oldukça düşük olması nedeniyle, bu yaklaşımın antibiyotik direnci gelişimi açısından anlamlı bir risk oluşturmayaabileceği ifade edilmektedir (Choukroun et al., 2008).

Sinüs grefti enfeksiyonlarının tedavisinde kullanılan antibiyotik tedavilerinin türü ve süresi çalışmalar arasında önemli farklılıklar göstermektedir. En sık tercih edilen antibiyotik amoksisilin (çoğunlukla klavulanik asitle birlikte) olmakla birlikte, metronidazol, klindamisin, sefalosporinler ve kinolonlar da kullanılmaktadır; ancak mevcut kanıtların sınırlı olması nedeniyle sinüs grefti enfeksiyonları için en uygun tedavi protokolü net olarak belirlenememiştir (Schlund et al., 2022). Penisilin alerjisi bulunan hastalarda antibiyotik profilaksisi ve postoperatif tedavi için klaritromisin ile metronidazol kombinasyonunun kullanılabileceğini bildiren bir konsensus raporu yayımlanmıştır (Testori et al., 2012). Khoury ve arkadaşlarının bulguları, penisilin alerjisi bulunan hastalarda profilaktik klindamisin kullanımının sinüs grefti enfeksiyonu ve greft kaybı ile ilişkili olabileceğini göstererek, antibiyotik seçiminde greft güvenliği ve etkinliğinin dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Khoury et al., 2018). Literatür incelendiğinde sinüs grefti enfeksiyonlarının yönetiminde sistemik antibiyotik kullanımının daha fazla olduğu görülmüştür. Enfekte olmuş greftin kısmi olarak çıkartıldığı iki çalışmada lokal antibiyotik tedavisine yer verilmiştir (Park et al., 2020; Urban et al., 2012). Park ve ark., implant ile eş zamanlı sinüs lift ameliyatından sonra gelişen greft enfeksiyonlarında greftin enfekte kısmı çıkarıldıktan sonra implant ve geriye kalan greft bölgesinin lokal tetrasiklin ile detoksifikasyonunun olumlu klinik sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Park et al., 2020). Urban ve ark., ise enfekte sinüs greftinin çıkarılması ile birlikte doksisisiklin kullanımının sorunsuz iyileşme sağladığını ve implant sağkalım oranının %100 olduğunu bildirmiştir (Urban et al., 2012).

4.Dental İmplant Prosedürlerinde Profilaktik Antibiyotik Tedavisi

Salgado-Peralvo ve ark., tarafından yayımlanan konsensüs raporu, sağlıklı hastalarda dental implant prosedürlerinde profilaktik antibiyotik kullanımına ilişkin önerileri sistematik olarak değerlendirmiştir. Rapora ilişkin ayrıntılar aşağıda sunulmuştur (Salgado-Peralvo et al., 2022).

A) Sağlıklı Hastalarda Rutin Durumlarda Dental İmplant Yerleştirilmesi İçin Profilaktik Antibiyotik Tedavisi Reçeteleme Yönergeleri

Profilaktik antibiyotik tedavisinin, sağlıklı hastalarda erken dental implant başarısızlığı oranını sınırlı ölçüde (%1,8–4) azaltmakla birlikte, postoperatif enfeksiyon riskini anlamlı olarak düşürmemektedir. Ameliyat sonrası veya perioperatif antibiyotik rejimleri, ameliyat öncesi uygulamaya ek klinik fayda sağlamadığı gibi, advers ilaç reaksiyonları riskini artırdığı için rutin kullanım önerilmemektedir. Bu doğrultuda, profilaktik antibiyotik tedavisinin ameliyattan önce, özellikle ameliyattan 1 saat önce 2–3 g amoksisilin şeklinde uygulanması önerilmektedir.

B) Sağlıklı Hastalarda İmmediat Dental İmplant Yerleştirilmesi İçin Profilaktik Antibiyotik Tedavisi Reçeteleme Yönergeleri

Mevcut kanıtlar, perioperatif profilaktik antibiyotik tedavisinin immediat dental implantların erken başarısızlığını azaltmada sınırlı ek fayda sağlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, çalışmalar belirli bir profilaktik antibiyotik tedavisi tipi veya dozu önermemektedir. Bu doğrultuda, ameliyattan 1 saat önce 2–3 g amoksisilin yükleme dozunun uygulanması ve ardından postoperatif 5–7 gün boyunca 500 mg/8 saatte bir idame dozu verilmesi önerilmektedir. Gerçek penisilin alerjisi bulunan hastalarda ise alternatif rejimler olarak, ameliyattan 1 saat önce 500 mg azitromisin ve ardından 5–7 gün boyunca 250 mg/24 saat idame dozu; ameliyattan 1 saat önce 500 mg klaritromisin ile başlanıp 5–7 gün boyunca 250 mg/12 saat idame dozu veya ameliyattan 1 saat önce 1 g metronidazol uygulanıp ardından 500 mg/6 saatte bir 5–7 gün süreyle idame dozu verilmesi önerilmektedir.

C) Tek veya İki Aşamalı Dental İmplant Yerleştirme İle Sinüs Yükseltme Ameliyatı Geçiren Sağlıklı Hastalar İçin Profilaktik Antibiyotik Tedavisi Reçete Yönergeleri

Mevcut kanıtlar, profilaktik antibiyotik tedavisinin sinüs yükseltme ile eş zamanlı yerleştirilen dental implantların başarısızlık oranını anlamlı biçimde azaltmadığını göstermektedir; ayrıca postoperatif enfeksiyonların önlenmesine ilişkin net bir kanıt bulunmamaktadır. Profilaktik antibiyotik tedavisi reçeteleri, bu komplikasyonların önlenebileceği varsayımına dayalı olarak ön kültür sonuçlarına göre belirlenebilir, ancak bu yaklaşım klinik pratiğe uygulanabilir değildir. Schneider membranının perforasyonu mevcut değilse, ameliyattan 1 saat önce 2–3 g amoksisilin uygulanması genellikle yeterlidir. Perforasyon riski öngörülemez durumlarda ise, ameliyattan bir gün önce 875/125 mg/12 saatte amoksisilin/klavulanik asit başlanması ve ameliyattan sonra 7 gün boyunca her 8 saatte bir devam edilmesi önerilmektedir. Penisilinin kontrendike olduğu hastalarda ise 500 mg siprofloksasin/12 saatte 9 gün süreyle uygulanabilir.

D) Sağlıklı Hastalarda Yönlendirilmiş Kemik Rejenerasyonu İle Eş Zamanlı veya İki Aşamalı Dental İmplant Yerleştirilmesinde Profilaktik Antibiyotik Tedavisi Reçeteleme Kılavuzları

Çeşitli çalışmalar, profilaktik antibiyotik tedavisinin ameliyat öncesi uygulanmasının, perioperatif reçeteye kıyasla ameliyat sonrası enfeksiyon oranını azaltabileceğini göstermektedir. Tek aşamalı dental implantlarda başarısızlık oranını düşürmek ve hem tek hem de iki aşamalı implantlarda greftlenen kemik materyalinin bakteriyel kontaminasyon düzeyini azaltmak amacıyla, ameliyattan 1 saat önce tek doz 2–3 g amoksisilin uygulanması önerilmektedir.

E) Sağlıklı Hastalarda Dental İmplant Yerleştirmesi İçin Amoksisilin Dışındaki Antibiyotiklerin Reçete Edilmesi

Klindamisin reçete edilmesi, osseointegrasyon başarısızlığına bağlı dental implant başarısızlığı riskini önemli ölçüde artırır ve amoksisilin reçete edilen hastalara göre 6 kata kadar daha fazla enfeksiyon riski taşır. Buna

karşılık, immediat dental implant vakalarında başarısızlık riski daha yüksektir. İleri çalışmalar tamamlanana kadar, ameliyattan 1 saat önce 500 mg azitromisin önerilmektedir.

SONUÇ

İmplantoloji ve rejeneratif işlemlerde, kontaminasyon ve başarısızlık risklerini azaltmak için ağız cerrahisinde bakteri yükü ve atravmatik cerrahi göz önünde bulundurulmalıdır. Düşük bakteri yüküne sahip periodontal olarak sağlıklı hastalar, implant ve/veya rejeneratif işlemlerden önce kısa bir antibiyotik profilaksisi ile tedavi edilebilir. Bakteri yükünü azaltmak için klorheksidin gibi antiseptik ajanlar kısa süreli ve doğru reçeteyle faydalıdır. Bu öneriler, klinik başarıyı düşürmeden antibiyotik kullanımını optimize etme gerekliliğini vurgulamakta olup, antimikrobiyal direncin ve ilişkili potansiyel ciddi sonuçların azaltılmasını, tedavi etkinliğinin artırılmasını ve yan etkilerin minimize edilmesini amaçlayan, diş hekimliğinde hastaya özel, kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımını desteklemektedir.

KAYNAKLAR

- Anitua, E., Orive, G., Aguirre, J. J., Ardanza, B., & Andía, I. (2008). 5-year clinical experience with BTI® dental implants: risk factors for implant failure. *Journal of clinical periodontology*, 35(8), 724-732.
- Bazsefidpay, N., Holmqvist, F., Khalil, D., Wexell, C. L., Hultin, M., Nilsson, P., & Lund, B. (2023). Antibiotic prescription in bone augmentation and dental implant procedures: a multi-center study. *BMC oral health*, 23(1), 818.
- Buonavoglia, A., Leone, P., Solimando, A. G., Fasano, R., Malerba, E., Prete, M., Corrente, M., Prati, C., Vacca, A., & Racanelli, V. (2021). Antibiotics or no antibiotics, that is the question: an update on efficient and effective use of antibiotics in dental practice. *Antibiotics*, 10(5), 550.
- Caiazzo, A., Canullo, L., & Pesce, P. (2021). Consensus Report by the Italian Academy of Osseointegration on the Use of Antibiotics and Antiseptic Agents in Implant Surgery. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 36(1).
- Caiazzo, A., Casavecchia, P., Barone, A., & Brugnami, F. (2011). A pilot study to determine the effectiveness of different amoxicillin regimens in implant surgery. *Journal of Oral Implantology*, 37(6), 691-696.

- Carreño Carreño, J., Gómez-Moreno, G., Aguilar-Salvatierra, A., Martínez Corriá, R., Menéndez López-Mateos, M. L., & Menéndez-Núñez, M. (2018). The antibiotic of choice determined by antibiogram in maxillary sinus elevation surgery: a clinical study. *Clinical oral implants research*, 29(11), 1070-1076.
- Chatzopoulos, G. S., & Wolff, L. F. (2025). Comparative Effect of Different Preoperative Antibiotics on Dental Implant Failure: A Retrospective Cohort Study. *international dental journal*, 75(3), 1929-1935.
- Choukroun, J., Simonpieri, A., Del Corso, M., Mazor, Z., Sammartino, G., & Ehrenfest, D. M. D. (2008). Controlling systematic perioperative anaerobic contamination during sinus-lift procedures by using metronidazole: an innovative approach. *Implant dentistry*, 17(3), 257-270.
- Cucchi, A., Chierico, A., Fontana, F., Mazzocco, F., Cinquegrana, C., Belleghia, F., Rossetti, P., Soardi, C. M., Todisco, M., & Luongo, R. (2019). Statements and recommendations for guided bone regeneration: Consensus report of the guided bone regeneration symposium held in Bologna, October 15 to 16, 2016. *Implant dentistry*, 28(4), 388-399.
- Deeb, G. R., Soung, G. Y., Best, A. M., & Laskin, D. M. (2015). Antibiotic prescribing habits of oral and maxillofacial surgeons in conjunction with routine dental implant placement. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 73(10), 1926-1931.
- Durand, R., Kersheh, I., Marcotte, S., Boudrias, P., Schmittbuhl, M., Cresson, T., Rei, N., Rompré, P. H., & Voyer, R. (2021). Do postoperative antibiotics influence one-year peri-implant crestal bone remodelling and morbidity? A double-blinded randomized clinical trial. *Clinical oral implants research*, 32(11), 1318-1327.
- Escalante, M. G., Eubank, T. D., Leblebicioglu, B., & Walters, J. D. (2015). Comparison of azithromycin and amoxicillin before dental implant placement: an exploratory study of bioavailability and resolution of postoperative inflammation. *Journal of periodontology*, 86(11), 1190-1200.
- Esposito, M., Grusovin, M. G., & Worthington, H. V. (2013). Interventions for replacing missing teeth: antibiotics at dental implant placement to prevent complications. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(7).
- Jang, H.-W., Kang, J.-K., Lee, K., Lee, Y.-S., & Park, P.-K. (2011). A retrospective study on related factors affecting the survival rate of dental implants. *The journal of advanced prosthodontics*, 3(4), 204-215.

- Katranji, A., Fotek, P., & Wang, H.-L. (2008). Sinus augmentation complications: etiology and treatment. *Implant dentistry*, 17(3), 339-349.
- Khoury, F., Javed, F., & Romanos, G. E. (2018). Sinus augmentation failure and postoperative infections associated with prophylactic clindamycin therapy: An observational case series. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 33(5), 1136-1139.
- Klinge, B., Flemming, T., Cosyn, J., De Bruyn, H., Eisner, B. M., Hultin, M., Isidor, F., Lang, N. P., Lund, B., & Meyle, J. (2015). The patient undergoing implant therapy. Summary and consensus statements. The 4th EAO Consensus Conference 2015. *Clinical oral implants research*, 26, 64-67.
- Lindeboom, J., Frenken, J., Tuk, J., & Kroon, F. (2006). A randomized prospective controlled trial of antibiotic prophylaxis in intraoral bone-grafting procedures: preoperative single-dose penicillin versus preoperative single-dose clindamycin. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 35(5), 433-436.
- Lindeboom, J. A., Tuk, J. G., Kroon, F. H., & van den Akker, H. P. (2005). A randomized prospective controlled trial of antibiotic prophylaxis in intraoral bone grafting procedures: single-dose clindamycin versus 24-hour clindamycin prophylaxis. *Mund-, Kiefer-und Gesichtschirurgie*, 9(6), 384-388.
- Lund, B., Hultin, M., Tranaeus, S., Naimi-Akbar, A., & Klinge, B. (2015). Complex systematic review-Perioperative antibiotics in conjunction with dental implant placement. *Clinical oral implants research*, 26, 1-14.
- Milic, T., Raidoo, P., & Gebauer, D. (2021). Antibiotic prophylaxis in oral and maxillofacial surgery: a systematic review. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 59(6), 633-642.
- Molina, A., Sanz-Sánchez, I., Sanz-Martín, I., Ortiz-Vigón, A., & Sanz, M. (2022). Complications in sinus lifting procedures: Classification and management. *Periodontology 2000*, 88(1), 103-115.
- Momand, P., Becktor, J. P., Naimi-Akbar, A., Tobin, G., & Götrick, B. (2022). Effect of antibiotic prophylaxis in dental implant surgery: a multicenter placebo-controlled double-blinded randomized clinical trial. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 24(1), 116-124.
- Momand, P., Naimi-Akbar, A., Hultin, M., Lund, B., & Götrick, B. (2024). Is routine antibiotic prophylaxis warranted in dental implant surgery to

- prevent early implant failure?—a systematic review. *BMC oral health*, 24(1), 842.
- Mombelli, A., Van Oosten, M., Schürch Jr, E., & Lang, N. (1987). The microbiota associated with successful or failing osseointegrated titanium implants. *Oral microbiology and immunology*, 2(4), 145-151.
- Mordini, L., Patianna, G. P., Di Domenico, G. L., Natto, Z. S., & Valente, N. A. (2022). The use of corticosteroids in the lateral sinus augmentation surgical procedure: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 24(6), 776-791.
- Park, W.-B., Kang, K. L., & Han, J.-Y. (2020). Intraoral approach for sinus graft infection following lateral sinus floor augmentation with simultaneous implant placement: A clinical case series. *Journal of Oral Implantology*, 46(3), 253-262.
- Pradillo-Gallego, D., Manzano-Moreno, F. J., Ocaña-Peinado, F. M., & Olmedo-Gaya, M. V. (2024). Effects of clindamycin and amoxycillin as prophylaxis against early implant failure: double-blinded randomized clinical trial. *Clinical oral investigations*, 28(12), 643.
- Resnik, R. R., & Misch, C. (2008). Prophylactic antibiotic regimens in oral implantology: rationale and protocol. *Implant dentistry*, 17(2), 142-150.
- Romandini, M., De Tullio, I., Congedi, F., Kalemaj, Z., D 'Ambrosio, M., Lafori, A., Quaranta, C., Buti, J., & Perfetti, G. (2019). Antibiotic prophylaxis at dental implant placement: Which is the best protocol? A systematic review and network meta-analysis. *Journal of clinical periodontology*, 46(3), 382-395.
- Salgado-Peralvo, A.-O., Garcia-Sanchez, A., Kewalramani, N., Barone, A., Martínez-González, J.-M., Velasco-Ortega, E., López-López, J., Kaiser-Cifuentes, R., Guerra, F., & Matos-Garrido, N. (2022). Consensus report on preventive antibiotic therapy in dental implant procedures: summary of recommendations from the Spanish Society of Implants. *Antibiotics*, 11(5), 655.
- Salgado-Peralvo, A. O., Kewalramani, N., Pena-Cardelles, J. F., Mateos-Moreno, M. V., Monsalve-Guil, L., Jimenez-Guerra, A., Ortiz-Garcia, I., & Velasco-Ortega, E. (2021). Preventive antibiotic prescribing habits among professionals dedicated to Oral Implantology: An observational study. *Antibiotics*, 10(3), 301.
- Salomó-Coll, O., Lozano-Carrascal, N., Lázaro-Abdulkarim, A., Hernández-Alfaro, F., Gargallo-Albiol, J., & Satorres-Nieto, M. (2018). Do

- penicillin-allergic patients present a higher rate of implant failure? *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 33(6).
- Sánchez, F. R., Andrés, C. R., & Arteagoitia, I. (2018). Which antibiotic regimen prevents implant failure or infection after dental implant surgery? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 46(4), 722-736.
- Santamaría Arrieta, G., Rodríguez Sánchez, F., Rodriguez-Andrés, C., Barbier, L., & Arteagoitia, I. (2023). The effect of preoperative clindamycin in reducing early oral implant failure: a randomised placebo-controlled clinical trial. *Clinical oral investigations*, 27(3), 1113-1122.
- Schlund, M., Meeus, J., Politis, C., & Ferri, J. (2022). Management of sinus graft infection—a systematic review. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 51(5), 690-698.
- Surapaneni, H., Yalamanchili, P. S., Basha, M. H., Potluri, S., Elisetti, N., & Kumar, M. K. (2016). Antibiotics in dental implants: A review of literature. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 8(Suppl 1), S28-S31.
- Testori, T., Drago, L., Wallace, S. S., Capelli, M., Galli, F., Zuffetti, F., Parenti, A., Deflorian, M., Fumagalli, L., & Weinstein, R. L. (2012). Prevention and treatment of postoperative infections after sinus elevation surgery: clinical consensus and recommendations. *International journal of dentistry*, 2012(1), 365809.
- Troiano, G., Lo Russo, L., Canullo, L., Ciavarella, D., Lo Muzio, L., & Laino, L. (2018). Early and late implant failure of submerged versus non-submerged implant healing: A systematic review, meta-analysis and trial sequential analysis. *Journal of clinical periodontology*, 45(5), 613-623.
- Urban, I. A., Nagursky, H., Church, C., & Lozada, J. L. (2012). Incidence, diagnosis, and treatment of sinus graft infection after sinus floor elevation: a clinical study. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 27(2).

DENTAL İMPLANT TEDAVİSİNDE KOMPLİKASYONLAR: ETİYOLOJİ, ÖNLEME VE KLİNİK YÖNETİM

Hasan Ali ÖZTAŞ

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Çene ve Yüz Cerrahisi Anabilim Dalı Diş Hekimliği
Fakültesi Gazi Üniversitesi Ankara/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-6129-903X
- ❖ Mail: hasanoztas12@gmail.com

1. GİRİŞ

Dental implant tedavisi, modern diş hekimliğinde devrim niteliğinde gelişmelerden biri olarak kabul edilmekte olup deneysel bir tedavi yaklaşımından, kısmi veya tam dişsiz hastaların rehabilitasyonunda yaygın olarak kullanılan ve yüksek klinik öngörülebilirliğe sahip bir tedavi seçeneğine dönüşmüştür (Buser et al., 2017). İmplant destekli restorasyonlar; çiğneme fonksiyonunun iyileştirilmesi, fonasyonun desteklenmesi ve estetik rehabilitasyonun sağlanması gibi önemli avantajlar sunarak hastaların yaşam kalitesinin belirgin şekilde artmasına katkıda bulunmaktadır (Goodacre et al., 2003). İmplant tasarımı, yüzey teknolojileri ve cerrahi protokollerdeki sürekli gelişmeler sayesinde dental implantlar günümüzde diş eksikliklerinin tedavisinde altın standart olarak kabul edilmekte olup bunun temel nedeni alveoler kemik içerisinde stabil osseointegrasyon sağlayabilmeleridir.

İmplant tedavisinin uzun dönem klinik etkinliği literatürde kapsamlı biçimde ortaya konmuştur. Yapılan meta-analizlerde tek kron ve sabit protetik restorasyonları destekleyen implantlar için 10 yıllık sağkalım oranlarının %95'in üzerinde olduğu bildirilmiştir (E. Jung et al., 2012). Bununla birlikte implant sağkalımı ile implant başarısı kavramlarının birbirinden ayrılması önemlidir. Sağkalım kavramı yalnızca implantın ağız içinde varlığını sürdürmesini ifade ederken, implant başarısı peri-implant dokuların stabilitesinin korunması ve biyolojik ya da teknik komplikasyonların bulunmaması ile tanımlanmaktadır (Papasparyidakos et al., 2012).

Uzun dönem çalışmalarda bildirilen yüksek sağkalım oranlarına rağmen implant tedavisi ile ilişkili komplikasyonlar klinik uygulamada halen önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu komplikasyonlar genel olarak cerrahi, biyolojik ve mekanik veya teknik komplikasyonlar olarak sınıflandırılmaktadır (Goodacre et al., 2003). Peri-implant mukozitis ve peri-implantitis gibi biyolojik komplikasyonlar, peri-implant dokuları etkileyen inflamatuvar hastalıklar olup büyük ölçüde mikrobiyal biyofilm birikimi ile ilişkilidir (Berglundh et al., 2018). Ayrıca sistemik hastalıklar, sigara kullanımı gibi davranışsal faktörler ve cerrahiye bağlı değişkenler hastalığın gelişme riskini artırabilmektedir (Juodzbals et al., 2011).

Mekanik ve protetik komplikasyonlar da implant tedavisinde sıklıkla karşılaşılan problemlerdir. Bu komplikasyonlar arasında vida gevşemesi, implant bileşenlerinin kırılması veya protetik materyallerde meydana gelen başarısızlıklar yer almaktadır. Söz konusu sorunlar çoğunlukla biyomekanik aşırı yüklenme, protetik tasarımdaki yetersizlikler veya implantın hatalı

konumlandırılması ile ilişkilidir (Wittneben et al., 2014). Bu tür komplikasyonlar hem implant restorasyonunun uzun dönem başarısını hem de hasta memnuniyetini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Bu nedenle implant komplikasyonlarının etiyojisinin, önlenmesinin ve yönetiminin anlaşılması çağdaş diş hekimliğinde büyük önem taşımaktadır. Risk faktörlerinin erken dönemde belirlenmesi, uygun tedavi planlamasının yapılması ve koruyucu bakım protokollerinin uygulanması implant tedavisinin uzun dönem başarısının sağlanmasında temel unsurlardır. Bu bölümde dental implant tedavisinde komplikasyonların etiyojisi, önlenmesi ve klinik yönetimi kapsamlı biçimde ele alınacaktır.

2. İmplant Komplikasyonlarının Sınıflandırılması

Dental implant tedavisi ile ilişkili komplikasyonlar, implant destekli rehabilitasyonların uzun dönem stabilitesini ve başarısını olumsuz yönde etkileyebilen multifaktöriyel klinik olaylardır. Dental implantların yüksek sağkalım oranlarına sahip olmasına rağmen, dünya genelinde implant uygulamalarının sayısındaki artışa paralel olarak bildirilen komplikasyonların sıklığında da artış gözlenmektedir. Klinik uygulamada ve eğitim amaçlı değerlendirmelerde kolaylık sağlamak amacıyla implant komplikasyonları genellikle oluşum zamanı ve karakterlerine göre; cerrahi komplikasyonlar, erken postoperatif komplikasyonlar, geç biyolojik komplikasyonlar ve mekanik veya protetik komplikasyonlar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tür sınıflandırma sistemleri, komplikasyonların altında yatan etiyojik mekanizmaların daha iyi anlaşılmasına ve uygun önleyici ile tedavi edici stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Pye et al., 2009; Sailer et al., 2012).

Cerrahi komplikasyonlar implant yerleştirme işlemi sırasında veya hemen sonrasında ortaya çıkan ve çoğunlukla teknik hatalar, yetersiz cerrahi planlama ya da anatomik zorluklarla ilişkili olan komplikasyonlardır. Bu komplikasyonlar arasında hemoraji, sinir hasarı, sinüs membranı perforasyonu, komşu dişlerde hasar ve nadir durumlarda mandibula kırıkları yer alabilmektedir. Bu komplikasyonlar arasında özellikle sinir hasarı klinik açıdan önemli bir yer tutmaktadır. Posterior mandibulada inferior alveolar sinirin anatomik konumu nedeniyle bu bölgede yapılan implant uygulamalarında sinir hasarı riski daha yüksektir. Sinir hasarı; osteotomi sırasında veya implant yerleştirilmesi esnasında oluşan direkt travma sonucu meydana gelebileceği gibi, hematoma oluşumu, iskemik baskı ya da kemik dokusunun aşırı ısınmasına bağlı gelişen termal hasar gibi indirekt

mekanizmalar sonucunda da ortaya çıkabilmektedir (Juodzbaly et al., 2011). Daha nadir görülmekle birlikte implantın maksiller sinüs içerisine veya mandibular kanal içine deplasmanı gibi iyatrojenik komplikasyonlar da literatürde bildirilmiştir (Goodacre et al., 2003).

Erken postoperatif komplikasyonlar, başarılı osseointegrasyonun oluşmasından ve protetik rehabilitasyonun tamamlanmasından önce ortaya çıkan komplikasyonlar olarak tanımlanmaktadır. Bu komplikasyonlar çoğunlukla biyolojik kökenlidir ve erken implant başarısızlığı ile sonuçlanabilmektedir. Erken implant kaybına yol açabilecek faktörler arasında aşırı cerrahi travma, cerrahi işlem sırasında oluşan bakteriyel kontaminasyon, yetersiz primer stabilite ve olumsuz kemik kalitesi yer almaktadır. Ayrıca kontrolsüz diyabet gibi sistemik hastalıklar veya yara iyileşmesini olumsuz etkileyen durumlar erken osseointegrasyon sürecini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Chrcanovic et al., 2014; Esposito et al., 1998). Bu erken iyileşme döneminde kemik remodelasyonu ve implant yüzeyi ile kemik arasındaki temasın oluşumu implantın uzun dönem stabilitesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu biyolojik süreçlerde meydana gelen herhangi bir bozulma implant tedavisinin başarısını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Geç biyolojik komplikasyonlar genellikle osseointegrasyonun sağlanmasından ve implantın fonksiyonel yüklenmeye maruz kalmasından sonra ortaya çıkmaktadır. Bu komplikasyonlar çoğunlukla peri-implant hastalıklar olarak adlandırılan klinik tabloları kapsamaktadır. Peri-implant mukozitis, peri-implant yumuşak dokular ile sınırlı inflamasyon varlığı ile karakterizedir ve kemik kaybının eşlik etmediği, uygun plak kontrolü sağlandığında geri dönüşümlü bir durum olarak kabul edilmektedir. Buna karşılık peri-implantitis, implant çevresindeki destekleyici kemikte progresif kayıp ile karakterize daha ileri bir inflamatuvar hastalıktır (Berglundh et al., 2018). Doğal dişleri etkileyen periodontitis ile karşılaştırıldığında peri-implantitisin daha hızlı ve doğrusal olmayan bir progresyon gösterebildiği ve tedavi edilmediği durumlarda osseointegrasyon kaybına ve implantın kaybına kadar ilerleyebileceği bildirilmektedir.

Mekanik ve protetik komplikasyonlar implant tedavisi ile ilişkili problemlerin bir diğer önemli grubunu oluşturmaktadır ve çoğunlukla implant bileşenlerinde veya protetik yapılarda meydana gelen başarısızlıklarla ilişkilidir. Mekanik komplikasyonlar implant kırığı, abutment kırığı veya vida gevşemesi gibi prefabrike implant bileşenlerinde meydana gelen hasarları

kapsamaktadır. Bu komplikasyonlar arasında vida gevşemesi implant protetiğinde en sık bildirilen mekanik sorunlardan biridir. Teknik komplikasyonlar ise laboratuvar ortamında hazırlanan protetik yapıların başarısızlıklarını içermektedir. Veneer materyallerinde kırılma veya çatlama, porselen chippingi ya da protetik altyapı kırıkları bu gruba örnek olarak verilebilir (Sailer et al., 2012). Bu tür komplikasyonlar çoğunlukla biyomekanik aşırı yüklenme, yetersiz protetik tasarım, implantın uygun olmayan konumlandırılması veya bruksizm gibi parafonksiyonel alışkanlıklarla ilişkilidir. Ayrıca oklüzal aşırı yüklenme ve protetik altyapıların yetersiz pasif uyumu da mekanik başarısızlık riskini artırabilmektedir (Wittneben et al., 2014).

İmplant komplikasyonlarının sistematik biçimde sınıflandırılması klinisyenler açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yaklaşım doğru tanı koymayı, risk faktörlerinin değerlendirilmesini ve uygun tedavi stratejilerinin belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca komplikasyonların sistematik olarak kategorize edilmesi implant tedavisinde etiyolojik faktörlerin daha iyi analiz edilmesine ve komplikasyonların önlenmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

3. İmplant Komplikasyonlarının Etiyolojisi

Dental implant tedavisinde görülen komplikasyonların etiyolojisi multifaktöriyel olup; hastaya bağlı sistemik ve lokal faktörler, cerrahi teknikler, protetik tasarım ve implant bileşenlerinin özellikleri arasındaki karmaşık etkileşim sonucunda ortaya çıkmaktadır (Berglundh et al., 2018). Biyolojik komplikasyonlar çoğunlukla bakteriyel biyofilm birikimi ile hastanın immün yanıtı arasındaki dengenin bozulması sonucunda gelişirken, mekanik ve teknik başarısızlıklar genellikle biyomekanik aşırı yüklenme ve protetik tasarıma bağlı yetersizliklerle ilişkilidir (Derks et al., 2023).

3.1. Hasta İlişkili Faktörler

Biyolojik komplikasyonlar, yara iyileşmesini olumsuz etkileyen veya inflamatuvar yanıtı değiştiren davranışsal ve sistemik faktörlerden güçlü şekilde etkilenmektedir. Periodontitis öyküsü, peri-implant hastalıkların gelişimi açısından en önemli risk göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Periodontal hastalık geçmişi bulunan bireylerde peri-implantitis gelişme riskinin ve marjinal kemik kaybının periodontal açıdan sağlıklı bireylere kıyasla belirgin derecede daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Heitz-Mayfield, 2008; Wang et al., 2025).

Sigara kullanımı da peri-implant doku sağlığını olumsuz etkileyen önemli bir faktördür. Sigara, mukozal bariyer fonksiyonunu bozmakta ve immün yanıtı değiştirmekte; bu durum implant başarısızlığı ve krestal kemik kaybı riskinin artmasına yol açmaktadır (Ferreira et al., 2022).

Kontrolsüz diabetes mellitus gibi sistemik hastalıklar da implant komplikasyonlarının gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Yetersiz glisemik kontrol; gecikmiş osseointegrasyon, enfeksiyonlara yatkınlık ve peri-implant inflamatuvar hastalıkların daha yüksek prevalansı ile ilişkilendirilmiştir (Wagner et al., 2022). Ayrıca yetersiz ağız hijyeni gibi davranışsal faktörler plak birikimine yol açarak peri-implant mukozitisin temel etiyolojik faktörünü oluşturmakta ve peri-implantitis gelişimi için önemli bir hazırlayıcı durum meydana getirmektedir (Berglundh et al., 2018). Obezite ve metabolik sendrom gibi sistemik durumların da peri-implant dokularda inflamatuvar yükü artırabileceği ve peri-implant hastalıkların gelişimine katkıda bulunabileceği bildirilmektedir (Wang et al., 2025).

3.2. Anatomik Faktörler

İmplant yerleştirilecek bölgenin anatomik özellikleri implant tedavisinin öngörülebilirliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Kemik kalitesi ve kemik yoğunluğu implant stabilitesi ve uzun dönem başarı açısından temel belirleyiciler arasında yer almaktadır. Özellikle düşük yoğunluklu kemikte (Tip IV kemik) yerleştirilen implantların daha yoğun kortikal kemikte yerleştirilen implantlara kıyasla daha yüksek başarısızlık oranlarına sahip olduğu bildirilmiştir (Goodacre et al., 2003).

Bunun yanı sıra maksiller sinüs, nazal taban veya inferior alveolar sinir gibi anatomik yapılara yakınlık cerrahi işlemleri zorlaştırabilir ve mevcut kemik hacmini sınırlayabilir. Bu nedenle implant yerleştirilmesi sırasında vital anatomik yapılardan yeterli güvenlik mesafesinin korunması, direkt travma veya indirekt bası sonucu gelişebilecek sinir hasarı komplikasyonların önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Juodzbals et al., 2011). Ayrıca diş çekimi sonrası gelişen kemik rezorpsiyonu ve ince bukkal kemik, implant yerleştirilmesini takiben implant bölgesinde mukozal çekilme ve estetik komplikasyonların gelişimine yatkınlık oluşturmaktadır. (Buser et al., 2017).

3.3. Cerrahi Faktörler

Cerrahi aşamada meydana gelen iyatrojenik hatalar implant komplikasyonlarının gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Osteotomi

sırasında oluşan aşırı ısı üretimine bağlı termal hasar erken implant başarısızlığının iyi bilinen nedenlerinden biridir. Kemik dokusunun yaklaşık 47°C'nin üzerindeki sıcaklıklara bir dakika süreyle maruz kalması kemik nekrozuna, fibröz doku oluşumuna ve osseointegrasyonun başarısızlığına yol açabilmektedir (Juodzbals et al., 2011).

İmplantın hatalı konumlandırılması da hem biyolojik hem de protetik komplikasyonlarla yakından ilişkilidir. İmplantların aşırı bukkale yerleştirilmesi, fazla apikal konumlandırılması veya implantlar arası mesafenin yetersiz olması biyolojik sızdırmazlığın bozulmasına ve hastaların hijyen sağlamasını zorlaştıran protetik konturların oluşmasına neden olabilmektedir. Bu tür malpozisyonların peri-implant hastalık riskini önemli ölçüde artırabileceği bildirilmektedir (Schwarz et al., 2021; Wang et al., 2025). Bunun yanında yetersiz primer stabilite, aşırı cerrahi travma ve implant yüzeyinin perioperatif bakteriyel kontaminasyonu da implant komplikasyonlarının gelişimine neden olan diğer cerrahi faktörler arasında yer almaktadır.

3.4. Protetik Faktörler

Protetik komplikasyonlar genel olarak mekanik ve teknik komplikasyonlar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Mekanik komplikasyonlar implant bileşenlerinin başarısızlıklarını kapsamaktadır ve bunlar arasında vida gevşemesi, abutment kırıkları ve implant kırıkları yer almaktadır. Vida gevşemesi implant protetiğinde en sık bildirilen mekanik komplikasyonlardan biridir ve çoğunlukla biyomekanik aşırı yüklenme ile ilişkilidir (E. Jung et al., 2012).

Teknik komplikasyonlar ise laboratuvar ortamında hazırlanan protetik yapıların başarısızlıklarını ifade etmektedir. Veneer materyallerinde kırılma veya chipping, protetik altyapı kırıkları bu grupta değerlendirilmektedir. Bu komplikasyonlar çoğunlukla brüksizm gibi parafonksiyonel alışkanlıklar, uygun olmayan implant açılanması veya yetersiz posterior destek ile ilişkilidir (Hanif et al., 2017). Ayrıca protetik tasarım özellikleri de peri-implant doku sağlığını etkileyebilmektedir. Aşırı konturlu restorasyonlar ve uygun olmayan çıkış profilleri etkin plak uzaklaştırılmasını zorlaştırarak peri-implant inflamasyon ve marjinal kemik kaybı riskini artırabilmektedir. Bunun yanında simante protetik restorasyonların, submukozal bölgede kalan siman artıkları nedeniyle biyolojik komplikasyonlarla ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Schwarz et al., 2021).

3.5. İmplant İlişkili Faktörler

İmplant sistemlerinin makro ve mikro tasarım özellikleri de komplikasyon gelişimini etkileyebilmektedir. İmplant yüzey özellikleri osseointegrasyon sürecinde önemli rol oynamaktadır ve orta derecede pürüzlü yüzeylerin eski tip işlenmiş yüzeylere kıyasla daha iyi kemik-implant teması sağladığı gösterilmiştir. Bununla birlikte bu pürüzlü yüzeyler ağız ortamına maruz kaldıklarında bakteriyel kolonizasyonu kolaylaştırabilir ve peri-implant hastalıkların ilerlemesini hızlandırabilir (Heitz-Mayfield, 2008).

İmplant makrotasarımı da mekanik stabiliteyi etkileyebilir. Daha küçük çaplı implantlar özellikle posterior bölgelerde daha yüksek oklüzal kuvvetlere maruz kaldıkları için mekanik kırılmaya daha yatkın olabilmektedir. Ayrıca implant-abutment bağlantı bölgesinde oluşan mikro aralıklar bakteriyel kolonizasyon için bir ortam oluşturabilir ve peri-implant dokularda inflamatuvar yanıtın gelişmesine neden olabilir. Bu durum implant restorasyonunun uzun dönem biyolojik stabilitesini etkileyebilmektedir (Hanif et al., 2017).

4. İmplant Komplikasyonlarının Önlenmesi

Dental implant tedavisinin uzun dönem başarısı büyük ölçüde tedavi planlaması aşamasında başlayan ve implant restorasyonunun fonksiyonel ömrü boyunca devam eden koruyucu yaklaşımlara bağlıdır. Etkili bir önleme stratejisi, iyatrojenik risklerin azaltılmasını ve stabil osseointegrasyonun sürdürülebilmesi için biyolojik ortamın optimize edilmesini amaçlayan multifaktöriyel bir yaklaşım gerektirir (Wang et al., 2025). Potansiyel risk faktörlerinin belirlenmesi ve kanıta dayalı koruyucu önlemlerin uygulanması sayesinde hem biyolojik hem de mekanik komplikasyonların görülme sıklığı önemli ölçüde azaltılabilir.

4.1. Kapsamlı Hasta Değerlendirmesi

İlk muayene sırasında değiştirilebilir ve değiştirilemez risk faktörlerinin belirlenmesi önleyici stratejilerin temelini oluşturmaktadır. Ayrıntılı bir tanısal değerlendirme; kontrolsüz diabetes mellitus (HbA1c > %7) gibi sistemik durumların incelenmesini içermelidir. Yetersiz glisemik kontrolün gecikmiş iyileşme ve peri-implantitis riskinde artış ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Carra et al., 2023).

Sigara kullanımı da dikkatle değerlendirilmesi gereken bir diğer önemli risk faktörüdür. İmplant yerleştirilmeden önce hastaların sigarayı bırakmaları

veya azaltmaları yönünde teşvik edilmesi implant başarısızlığı ve marjinal kemik kaybı riskinin azaltılmasına katkı sağlayabilir (Darby, 2022).

Periodontitis öyküsü bulunan hastalarda implant yerleştirilmeden önce periodontal hastalığın tamamen kontrol altına alınması gerekmektedir. Rezidüel periodontal enfeksiyon varlığı peri-implant hastalık gelişme riskini önemli ölçüde artırmaktadır. Ayrıca ileri yaş hastalarda sistemik sağlık durumu, bilişsel fonksiyonlar ve ağız hijyenini sürdürebilme kapasitesi kapsamlı şekilde değerlendirilmelidir.

4.2. Radyografik ve Dijital Planlama

Modern implant diş hekimliğinde üç boyutlu tedavi planlaması giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT), inferior alveolar sinir ve maksiller sinüs gibi anatomik yapıların doğru şekilde görüntülenmesini sağlamaktadır. Sinir hasarı komplikasyon riskini azaltmak amacıyla implant apeksi ile inferior alveolar sinir arasında yaklaşık 2 mm güvenlik mesafesi bırakılması önerilmektedir.

Cerrahi rehberlerin kullanıldığı dijital planlama protokolleri implant yerleştirme doğruluğunu önemli ölçüde artırmakta ve implantların ideal üç boyutlu konumda yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Doğru konumlandırma implantın yeterli kemik ile çevrenmesini sağlarken aynı zamanda hastaların etkin ağız hijyeni uygulayabileceği protetik tasarımların yapılmasını kolaylaştırmaktadır (Heitz-Mayfield & Salvi, 2018).

4.3. Atravmatik Cerrahi Teknikler

Erken biyolojik komplikasyonların önlenmesinde dikkatli cerrahi teknik büyük önem taşımaktadır. Osteotomi hazırlığı sırasında keskin frezlerin kullanılması ve yeterli irrigasyon sağlanması kemikte oluşabilecek termal hasarı önlemek açısından gereklidir. Kemik dokusunun yaklaşık 47°C üzerindeki sıcaklıklara bir dakika süreyle maruz kalması kemik nekrozuna ve osseointegrasyon sürecinin bozulmasına neden olabilir (Esposito et al., 1998).

Yeterli primer stabilitenin sağlanması erken implant başarısızlığının önlenmesinde kritik bir faktördür. Ayrıca implant yerleştirilmesi sırasında biyolojik mesafelere dikkat edilmesi gerekmektedir. Örneğin implantlar arasında en az 3 mm mesafe bırakılması interproksimal kemiğin korunmasına ve peri-implant yumuşak dokuların stabilitesine katkı sağlamaktadır. Yeterli kemik hacmine sahip uygun vakalarda flep kaldırılmadan implantasyon tekniklerinin uygulanması, postoperatif morbiditeyi azaltabilir ve iyileşme sürecini hızlandırabilir. (Buser et al., 2017).

4.4. Uygun Protetik Tasarım

Protetik tasarım peri-implant dokuların uzun dönem biyolojik stabilitesinde kritik rol oynamaktadır. Oklüzal vidalı protetik restorasyonlar, simante restorasyonlara kıyasla daha çok tercih edilmektedir; çünkü bu restorasyonlar daha kolay çıkarılabilmekte ve submukozal siman artığı oluşma riskini ortadan kaldırmaktadır. Siman artıkları peri-implant inflamasyon için bilinen bir etiyolojik faktördür (Sailer et al., 2012).

Restoratif tasarımda aşırı konturlardan kaçınılmalıdır. 30°'den büyük çıkış profil açıları ve konveks çıkış profilleri peri-implantitis gelişimi ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca abutment yüksekliğinin en az 2 mm olması marjinal kemik seviyeleri üzerinde koruyucu etki sağlayabilmektedir. En önemlisi, protetik konturlar hem hastaların hem de klinisyenlerin biyofilmi etkin şekilde kontrol edebilmesine olanak tanıyacak şekilde tasarlanmalıdır (Heitz-Mayfield & Salvi, 2018).

4.5. Bakım ve Takip Protokolleri

Uzun dönem bakım implant komplikasyonlarının önlenmesinde en kritik unsurlardan biridir. Tüm implant hastalarının destekleyici peri-implant tedavi (Supportive Peri-implant Therapy – SPiT) programına dahil edilmesi önerilmektedir. Bakım aralıkları hastanın risk profiline göre belirlenmeli ve genellikle 3–6 ay arasında planlanmalıdır.

Bu kontroller sırasında kanama indeksi, sondalama derinliği ve radyografik kemik seviyeleri gibi peri-implant sağlık göstergeleri düzenli olarak değerlendirilmelidir. İmplant yüzeyine zarar vermeyen enstrümanlar ile profesyonel biyofilm uzaklaştırılması ve hastaların ağız hijyeni uygulamalarının güçlendirilmesi destekleyici tedavinin temel bileşenleridir. Ayrıca peri-implant hastalıkların biyofilm aracılı doğası hakkında hastaların bilgilendirilmesi, uzun dönem hasta uyumunun sağlanmasında önemli rol oynamaktadır (Wang et al., 2025).

5. İmplant Komplikasyonlarının Yönetimi

Dental implant tedavisi ile ilişkili komplikasyonların yönetimi, koruyucu ve tedavi edici yaklaşımları birlikte içeren sistematik ve etiyoloji temelli bir yaklaşım gerektirmektedir. Etkin bir komplikasyon yönetimi; erken tanı, mikrobiyal biyofilmin ortadan kaldırılması, biyomekanik veya protetik yetersizliklerin düzeltilmesi ve uygun bakım protokollerinin uygulanmasına dayanmaktadır. Biyolojik ve mekanik komplikasyonların her ikisi de

implantların uzun dönem sağkalımını olumsuz etkileyebileceğinden, zamanında müdahale edilmesi ve altta yatan etiyolojik faktörlerin doğru şekilde belirlenmesi başarılı klinik sonuçlar açısından büyük önem taşımaktadır (Berglundh et al., 2018).

Cerrahi komplikasyonlar implant yerleştirilmesi sırasında veya hemen sonrasında ortaya çıkabilmekte ve hızlı tanı ile uygun klinik müdahale gerektirmektedir. Posterior mandibulada implant yerleştirilmesi ile ilişkili en ciddi komplikasyonlardan biri inferior alveolar sinir yaralanmasıdır. İmplantın mandibular kanala komşuluk göstermesi veya bu alana invaze olması durumunda, implantın çıkarılması ya da yeniden konumlandırılması gibi erken müdahaleler nörolojik iyileşme olasılığını anlamlı düzeyde artırabilmektedir (Juodzbals et al., 2011). Farmakolojik yaklaşım kapsamında nöral inflamasyonu ve sekonder iskemik hasarı azaltmaya yönelik antiinflamatuvar ilaçlar ve kortikosteroidler kullanılabilir. Nörosensoryal bozuklukların devam ettiği olgularda ise ileri değerlendirme ve olası mikrocerrahi girişim açısından ilgili uzmana yönlendirme yapılması gerekebilir. Hemoraji, sinüs membranı perforasyonu veya komşu anatomik yapılarda hasar gibi diğer intraoperatif komplikasyonlarda ise yaralanmanın şiddetine göre uygun cerrahi yaklaşım planlanmalıdır.

Erken implant başarısızlığı genellikle başarılı osseointegrasyon oluşmadan önce ortaya çıkar ve çoğunlukla enfeksiyon, yetersiz primer stabilite, osteotomi sırasında oluşan aşırı ısınma veya kemik iyileşmesini olumsuz etkileyen sistemik faktörlerle ilişkilidir. Klinik olarak erken implant başarısızlığı; implant mobilitesi, persistan ağrı veya peri-implant enfeksiyon bulguları ile kendini gösterebilir. Klinik mobilitenin saptanması durumunda implant başarısız kabul edilmeli ve daha fazla kemik yıkımını önlemek amacıyla çıkarılmalıdır. İmplantın uzaklaştırılmasının ardından cerrahi alanın dikkatli şekilde temizlenmesi gerekmekte, sonrasında yeni bir tedavi planlaması yapılmadan önce belirli bir iyileşme süresinin beklenmesi önerilmektedir. Birçok olguda ikinci kez implant uygulaması öncesinde ek kemik augmentasyon prosedürlerine ihtiyaç duyulabilmektedir (Esposito et al., 1998).

Peri-implant dokuları etkileyen biyolojik komplikasyonlar, implant diş hekimliğinde en sık karşılaşılan komplikasyon grubunu oluşturmaktadır. Bu durumun yönetimi esas olarak implant yüzeyindeki mikrobiyal biyofilmin profesyonel olarak uzaklaştırılmasına dayanmaktadır. Bu amaçla titanyum küretler, özel uçlara sahip ultrasonik cihazlar veya air-abrasive sistemler gibi

implant yüzeyine zarar vermeyen enstrümanlar kullanılmaktadır. Bunun yanında hastanın etkin plak kontrolü sağlanması ve uygun ağız hijyeni alışkanlıklarını sürdürmesi inflamasyonun geriletilmesi ve hastalığın ilerlemesinin önlenmesi açısından vazgeçilmezdir (Berglundh et al., 2018).

Peri-implantitisin yönetimi genellikle kademeli bir tedavi yaklaşımı şeklinde planlanır ve ilk aşamada mikrobiyal yükün ve lokal inflamasyonun azaltılmasını amaçlayan cerrahi olmayan tedaviler uygulanır. Mekanik debridman ve ağız hijyeni uygulamalarının iyileştirilmesi çoğu zaman ilk tedavi basamağını oluşturur. Bazı olgularda tedavi etkinliğini artırmak amacıyla yardımcı antimikrobiyal ajanlar da kullanılabilir. Cerrahi olmayan yaklaşımın inflamasyonu ortadan kaldırmada yetersiz kaldığı ve derin peri-implant ceplerin devam ettiği durumlarda cerrahi girişim gereksinimi ortaya çıkabilir. Bu kapsamda rezektif cerrahi işlemler plağın uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak amacıyla uygulanabilirken, uygun defekt morfolojisine sahip olgularda peri-implant kemik defektlerinin rekonstrüksiyonuna yönelik rejeneratif yaklaşımlar tercih edilebilmektedir (Schwarz et al., 2018).

Mekanik ve protetik komplikasyonlar çoğunlukla biyomekanik aşırı yüklenme, protetik uyumsuzluk veya yetersiz protetik tasarım ile ilişkilidir. Vida gevşemesi implant protetiğinde en sık bildirilen teknik komplikasyonlardan biridir ve genellikle üretici firmanın önerdiği tork değerlerine göre yeniden sıkma işlemi ile oklüzal uyumsuzlukların düzeltilmesi yoluyla yönetilmektedir. Tekrarlayan vida gevşemesi veya vida kırığı görülen olgularda oklüzal kuvvetlerin daha uygun biçimde dağıtılabilmesi için protetik tasarımın yeniden düzenlenmesi gerekebilir. Veneer materyallerde chipping veya kırık gelişmesi ile altyapı kırıkları gibi diğer teknik komplikasyonlar ise mevcut protezin onarılmasını ya da tamamen yeni bir restorasyonun yapılmasını gerektirebilir (Sailer et al., 2012).

Uzun dönem bakım, implant komplikasyonlarının hem yönetiminde hem de önlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Destekleyici peri-implant tedavi programları; düzenli klinik değerlendirme, profesyonel plak uzaklaştırılması ve hastanın ağız hijyeni alışkanlıklarının güçlendirilmesini içermektedir. Bakım aralıkları hastaya özgü risk faktörlerine, örneğin sigara kullanımı, periodontal hastalık öyküsü ve sistemik sağlık durumuna göre bireyselleştirilmelidir. Sondalama derinliği, sondalamada kanama ve radyografik kemik seviyelerinin rutin olarak izlenmesi peri-implant hastalıkların erken tanınmasını sağlamakta ve zamanında müdahaleye olanak

tanyarak implant tedavisinin uzun dönem prognozunu iyileştirmektedir (Carra et al., 2023).

6. Gelecek Perspektifleri

Gelecekte komplikasyonların önlenmesi ve yönetimine yönelik stratejiler giderek daha fazla bilgisayar destekli iş akışlarının kullanımına odaklanmakta ve bu sayede cerrahi ile protetik sonuçların öngörülebilirliğinin artırılması hedeflenmektedir.

6.1. Dijital İmplant Planlaması ve Rehberli Cerrahi

Üç boyutlu görüntüleme teknolojilerindeki gelişmeler, özellikle konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT), implant tedavisi planlamasında tanısallık olanakları önemli ölçüde geliştirmiştir. CBCT görüntüleme, anatomik yapıların yüksek doğrulukla değerlendirilmesine olanak tanımakta ve dijital tedavi planlaması için güvenilir bir temel oluşturmaktadır. Gelecekteki gelişmeler, CBCT verilerinin intraoral tarama sistemleri ile entegre edilerek kapsamlı sanal hasta modellerinin oluşturulmasına odaklanmaktadır. Bu sayede konvansiyonel ölçü tekniklerinde ortaya çıkabilen hataların azaltılması hedeflenmektedir (Buser et al., 2017).

Bilgisayar destekli implant cerrahisi (Computer-Assisted Implant Surgery – CAIS), hem statik cerrahi rehberler hem de dinamik navigasyon sistemlerini kapsayacak şekilde implant yerleştirme doğruluğunu artıran önemli bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Rehberli implant cerrahisinin implantların üç boyutlu konumlandırılmasını iyileştirdiği ve iyatrojenik komplikasyon riskini azalttığı gösterilmiştir. Bununla birlikte rehberli cerrahinin sağladığı bu konumsal doğruluğun uzun dönem klinik sonuçlara ne ölçüde yansıdığının belirlenmesi için daha fazla uzun dönem çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Buna rağmen bilgisayar destekli cerrahi yaklaşımlar özellikle implantların inferior alveolar sinir veya maksiller sinüs gibi vital anatomik yapılara yakın yerleştirilmesi gereken kompleks olgularda önemli avantajlar sağlamaktadır (Darby, 2022).

6.2. Yapay Zekâ ve Otomatik Tedavi Planlaması

Yapay zekâ teknolojilerinin implant diş hekimliğinin geleceğinde giderek daha önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Gelişmekte olan dijital sistemler; sistemik sağlık durumları, anatomik özellikler ve davranışsal risk faktörleri gibi karmaşık hasta verilerini analiz edebilen otomatik tanı ve risk değerlendirme algoritmalarını içermeye başlamıştır. Bu tür sistemler

klinisyenlerin öngörüs el risk modellerine dayalı olarak daha bireyselleştirilmiş tedavi protokolleri geliştirmesine olanak sağlayabilir (Wagner et al., 2022).

Bu yaklaşımın erken örneklerinden biri, peri-implant hastalıklar açısından yüksek riskli bireylerin belirlenmesine yardımcı olan Implant Disease Risk Assessment (IDRA) sistemidir. IDRA, klinisyenlere hastaya özgü risk faktörlerini sistematik şekilde değerlendirme imkânı sunmaktadır. Dijital teknolojilerin gelişmesiyle birlikte gelecekte yapay zekâ destekli platformların tedavi planlamasını daha da geliştirmesi, klinik karar verme sürecindeki değişkenliği azaltması ve peri-implant komplikasyonların erken tanısına katkıda bulunması beklenmektedir (Hong et al., 2024).

6.3. İmplant Biyomateryallerindeki Gelişmeler

Biyomateryal bilimi alanındaki yenilikler de implant tedavisinin geleceğini şekillendirmektedir. Titanyum,  st n biyouyumluluğu ve uzun dönem klinik başarısı nedeniyle günümüzde dental implantlar için altın standart materyal olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte geleneksel titanyum implantların bazı sınırlamalarını aşmak amacıyla alternatif materyaller üzerine çalışmalar devam etmektedir (Darby, 2022).

Zirkonya implantlar estetik avantajları ve daha düşük plak birikimi potansiyelleri nedeniyle son yıllarda önemli bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Yapılan erken dönem klinik çalışmalar, zirkonya implantların modern titanyum implantlarla karşılaştırılabilir kısa dönem sonuçlar gösterebildiğini ortaya koymuştur. Ancak zirkonya implantların uzun dönem klinik performansının değerlendirilmesi için daha fazla klinik araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır (Buser et al., 2017).

Bunun yanında implant yüzey modifikasyonlarına yönelik araştırmalar, osseointegrasyonu artırırken aynı zamanda bakteriyel adezyonu azaltmayı hedeflemektedir. Protetik alanda ise implant destekli restorasyonlarda kullanılan altyapı materyallerine alternatif olarak PEEK ve PEKK gibi yüksek performanslı polimerlerin geliştirilmesi dikkat çekmektedir. Bu materyaller geleneksel metal alaşımlarına kıyasla daha hafif ve kırılmaya daha dirençli yapılar sunarak mekanik komplikasyonların azaltılmasına ve uzun dönem protetik stabilitenin artırılmasına katkıda bulunabilir (Sailer et al., 2022).

7. SONUÇ

Dental implant tedavisi günümüzde modern diş hekimliğinde en öngörülebilir tedavi yöntemlerinden biri haline gelmiş olup, farklı klinik durumlarda uzun dönem sağkalım oranlarının sıklıkla %90–95’in üzerinde olduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte implantın ağız içerisinde varlığını sürdürmesi tek başına tedavinin başarılı olduğu anlamına gelmemektedir. Gerçek implant başarısı, peri-implant dokuların uzun dönem stabilitesinin korunması ve restorasyonun fonksiyonunu veya uzun ömürlülüğünü olumsuz etkileyebilecek biyolojik, mekanik ve teknik komplikasyonların bulunmaması ile tanımlanmaktadır (Papaspıridakos et al., 2012). İmplant tasarımı, cerrahi teknikler ve protetik materyallerde önemli ilerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen, komplikasyonlar klinik uygulamada hâlâ sık karşılaşılan bir durumdur. Peri-implant mukozitis ve peri-implantitis gibi biyolojik komplikasyonların yanı sıra vida gevşemesi ve protetik kırıklar gibi mekanik problemler implant tedavisinde önemli klinik zorluklar oluşturmaya devam etmektedir.

İmplant komplikasyonlarının önlenmesi ve yönetimi, bu komplikasyonların multifaktöriyel etiyolojisinin kapsamlı şekilde anlaşılmasını gerektirir. Sigara kullanımı, sistemik hastalıklar, yetersiz ağız hijyeni ve periodontal hastalık öyküsü gibi hasta ile ilişkili faktörler peri-implant hastalıkların gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Bunun yanında implantın hatalı konumlandırılması, yetersiz tedavi planlaması ve biyomekanik aşırı yüklenme gibi cerrahi ve protetik faktörler de komplikasyon riskini artırabilmektedir. Bu nedenle dikkatli hasta seçimi, ayrıntılı tedavi planlaması ve protetik olarak yönlendirilmiş implant yerleştirme yaklaşımı biyolojik ve mekanik komplikasyonların azaltılmasına yönelik temel önleyici stratejiler arasında yer almaktadır.

İmplant tedavisinin uzun dönem başarısı aynı zamanda komplikasyonların erken tanınması ve uygun şekilde yönetilmesine de bağlıdır. Düzenli klinik ve radyografik kontroller sayesinde peri-implant inflamasyonun erken bulguları saptanabilir ve önemli kemik kaybı gelişmeden önce gerekli müdahaleler yapılabilir. Kanıta dayalı tedavi yaklaşımları; mekanik debridman, gerekli durumlarda cerrahi girişimler ve protetik faktörlerin düzeltilmesini içermekte olup hastalığın ilerlemesinin kontrol altına alınması ve implant stabilitesinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır (Renvert & Polyzois, 2018).

Son olarak destekleyici peri-implant tedavi uygulamaları peri-implant dokuların sağlığının korunmasında ve komplikasyonların tekrarlamasının önlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Düzenli profesyonel bakım seansları ile hastaların etkin ağız hijyeni alışkanlıklarının sürdürülmesi implant-protetik kompleksin uzun dönem stabilitesine önemli katkı sağlamaktadır (Carra et al., 2023). Dijital teknolojiler, biyomateryaller ve hassas tedavi planlamasındaki gelişmelerle birlikte dental implant alanı gelişimini sürdürmektedir. Bu bağlamda koruyucu yaklaşımların ve kanıta dayalı klinik uygulamaların entegrasyonu, implant tedavilerinde daha öngörülebilir ve başarılı sonuçların elde edilmesinde temel unsur olmaya devam edecektir.

KAYNAKLAR

- Berglundh, T., Armitage, G., Araujo, M. G., Avila-Ortiz, G., Blanco, J., Camargo, P. M., Chen, S., Cochran, D., Derks, J., Figuero, E., Hämmerle, C. H. F., Heitz-Mayfield, L. J. A., Huynh-Ba, G., Iacono, V., Koo, K., Lambert, F., McCauley, L., Quirynen, M., Renvert, S., ... Zitzmann, N. (2018). Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(S20). <https://doi.org/10.1111/jcpe.12957>
- Buser, D., Sennerby, L., & De Bruyn, H. (2017). Modern implant dentistry based on osseointegration: 50 years of progress, current trends and open questions. *Periodontology* 2000, 73(1), 7–21. <https://doi.org/10.1111/prd.12185>
- Carra, M. C., Blanc-Sylvestre, N., Courtet, A., & Bouchard, P. (2023). Primordial and primary prevention of peri-implant diseases: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 50(S26), 77–112. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13790>
- Chrcanovic, B. R., Albrektsson, T., & Wennerberg, A. (2014). Diabetes and Oral Implant Failure. *Journal of Dental Research*, 93(9), 859–867. <https://doi.org/10.1177/0022034514538820>
- Darby, I. (2022). Risk factors for periodontitis & peri-implantitis. *Periodontology* 2000, 90(1), 9–12. <https://doi.org/10.1111/prd.12447>
- Derks, J., Ichioka, Y., Dionigi, C., Trullenque-Eriksson, A., Berglundh, J., Tomasi, C., & Graziani, F. (2023). Prevention and management of peri-implant mucositis and peri-implantitis: A systematic review of outcome measures used in clinical studies in the last 10 years. *Journal of Clinical Periodontology*, 50(S25), 55–66. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13608>

- E. Jung, R., Zembic, A., Pjetursson, B. E., Zwahlen, M., & S. Thoma, D. (2012). Systematic review of the survival rate and the incidence of biological, technical, and aesthetic complications of single crowns on implants reported in longitudinal studies with a mean follow-up of 5 years. *Clinical Oral Implants Research*, 23(s6), 2–21. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02547.x>
- Esposito, M., Hirsch, J., Lekholm, U., & Thomsen, P. (1998). Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants, (I). Success criteria and epidemiology. *European Journal of Oral Sciences*, 106(1), 527–551. <https://doi.org/10.1046/j.0909-8836.t01-2-.x>
- Ferreira, P. W., Nogueira, P. J., Nobre, M. A. de A., Guedes, C. M., & Salgado, F. (2022). Impact of Mechanical Complications on Success of Dental Implant Treatments: A Case–Control Study. *European Journal of Dentistry*, 16(01), 179–187. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1732802>
- Goodacre, C. J., Bernal, G., Rungcharassaeng, K., & Kan, J. Y. K. (2003). Clinical complications with implants and implant prostheses. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 90(2), 121–132. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(03\)00212-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(03)00212-9)
- Hanif, A., Qureshi, S., Sheikh, Z., & Rashid, H. (2017). Complications in implant dentistry. *European Journal of Dentistry*, 11(01), 135–140. https://doi.org/10.4103/ejd.ejd_340_16
- Heitz-Mayfield, L. J. A. (2008). Peri-implant diseases: diagnosis and risk indicators. *Journal of Clinical Periodontology*, 35(s8), 292–304. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2008.01275.x>
- Heitz-Mayfield, L. J. A., & Salvi, G. E. (2018). Peri-implant mucositis. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(S20). <https://doi.org/10.1111/jcpe.12953>
- Hong, I., Koo, K.-T., Oh, S.-Y., Park, H. W., Sanz-Martín, I., & Cha, J.-K. (2024). Comprehensive treatment protocol for peri-implantitis: an up-to date narrative review of the literature. *Journal of Periodontal & Implant Science*, 54(5), 295. <https://doi.org/10.5051/jpis.2303360168>
- Juodzbals, G., Wang, H.-L., & Sabalys, G. (2011). Injury of the Inferior Alveolar Nerve during Implant Placement: a Literature Review. *Journal of Oral and Maxillofacial Research*, 2(1). <https://doi.org/10.5037/jomr.2011.2101>
- Papaspyridakos, P., Chen, C.-J., Singh, M., Weber, H.-P., & Gallucci, G. O. (2012). Success Criteria in Implant Dentistry. *Journal of Dental Research*, 91(3), 242–248. <https://doi.org/10.1177/0022034511431252>

- Pye, A. D., Lockhart, D. E. A., Dawson, M. P., Murray, C. A., & Smith, A. J. (2009). A review of dental implants and infection. *Journal of Hospital Infection*, 72(2), 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2009.02.010>
- Renvert, S., & Polyzois, I. (2018). Treatment of pathologic peri-implant pockets. *Periodontology* 2000, 76(1), 180–190. <https://doi.org/10.1111/prd.12149>
- Sailer, I., Karasan, D., Todorovic, A., Ligoutsikou, M., & Pjetursson, B. E. (2022). Prosthetic failures in dental implant therapy. *Periodontology* 2000, 88(1), 130–144. <https://doi.org/10.1111/prd.12416>
- Sailer, I., Mühlemann, S., Zwahlen, M., Hämmerle, C. H. F., & Schneider, D. (2012). Cemented and screw-retained implant reconstructions: a systematic review of the survival and complication rates. *Clinical Oral Implants Research*, 23(s6), 163–201. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02538.x>
- Schwarz, F., Alcoforado, G., Guerrero, A., Jönsson, D., Klinge, B., Lang, N., Mattheos, N., Mertens, B., Pitta, J., Ramanauskaite, A., Sayardoust, S., Sanz-Martin, I., Stavropoulos, A., & Heitz-Mayfield, L. (2021). Peri-implantitis: Summary and consensus statements of group 3. The 6th EAO Consensus Conference 2021. *Clinical Oral Implants Research*, 32(S21), 245–253. <https://doi.org/10.1111/clr.13827>
- Schwarz, F., Derks, J., Monje, A., & Wang, H. (2018). Peri-implantitis. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(S20). <https://doi.org/10.1111/jcpe.12954>
- Wagner, J., Spille, J. H., Wiltfang, J., & Naujokat, H. (2022). Systematic review on diabetes mellitus and dental implants: an update. *International Journal of Implant Dentistry*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40729-021-00399-8>
- Wang, H., Avila-Ortiz, G., Monje, A., Kumar, P., Calatrava, J., Aghaloo, T., Barootchi, S., Fiorellini, J. P., Galarraga-Vinueza, M. E., Kan, J., Lin, G., Ravidá, A., Saleh, M. H. A., Tavelli, L., & Rosen, P. S. (2025). AO/AAP consensus on prevention and management of peri-implant diseases and conditions: Summary report. *Journal of Periodontology*, 96(6), 519–541. <https://doi.org/10.1002/JPER.25-0270>
- Wittneben, J.-G., Millen, C., & Brägger, U. (2014). Clinical Performance of Screw- Versus Cement-Retained Fixed Implant-Supported Reconstructions—A Systematic Review. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 29(Supplement), 84–98. <https://doi.org/10.11607/jomi.2014suppl.g2.1>

PERİ-İMLANTİTİS GELİŞİMİNDE İMLANT DESTEKLİ PROTEZ TASARIMININ ETKİSİ

Kalben ŞAŞMAZ

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0002-0830-9187
- ❖ Mail: kalbensasmaz@gmail.com

Işıl KEÇİK BÜYÜKHATİPOĞLU

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0001-7519-2324
- ❖ Mail: isilkecik@gmail.com

Derya DOĞAN EVLİCE

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0001-6313-7616
- ❖ Mail: deryadeniz1538@gmail.com

GİRİŞ

İmplant üstü protezlerin tasarımının, bu protezlerin kısa ve uzun süreli prognozunda ve peri-implant sağlığının idamesinde önemli olduğu bilinmektedir. Sağlıklı peri-implant dokular, dental implantların uzun süreli başarısı için bir gereklilik olup, geç dönem implant başarısızlıklarının en yaygın nedeni peri-implantitistir (Schwarz & Famauskaitė, 2002).

Peri-implant hastalıkların çoğunlukla, peri-implant biyofilm tarafından oluşturulan mikrobiyal etkiye bağlı kronik inflamatuvar bir durumun olduğu genel olarak kabul edilir (Schwarz ve ark., 2018).

Dental protez tasarımı, peri-implant hastalıkların başlangıç ve ilerlemesinde lokal predispozan faktörlerinden biri olarak tanımlanmıştır (Monje ve ark., 2019). Plak birikiminin peri-implant hastalıkların önde gelen nedenlerinden biri olduğu düşünüldüğünden, biyofilm oluşumunu azaltabilecek ve temizlenmesini kolaylaştırabilecek protez özelliklerine özellikle önem verilmiştir.

Daimi protez mekanik dayanıklılık, fonetik ve estetik gereklilikleri ile planlanmalıdır. Aynı zamanda restorasyonun temizlenebilirliği de implant tedavisinin planlama aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır. Tedavinin başlangıç aşamasında biyolojik olarak uygun restorasyon konturlarının oluşturulması için daimi restorasyon konturlarının planlanmaması, restorasyonun sonucunu olumsuz etkileyebilir ve daimi restorasyonun bakımını zorlaştırabilir. Ayrıca, bu planlama hastanın el becerisi ve yeterli ağız hijyenini sağlama kapasitesi temel alınarak yapılmalıdır.

Bu derleme, peri-implant hastalık ve kemik kaybı ile ilişkilendirilen temel protez tasarım unsurlarına dair mevcut literatürü özetlemeyi amaçlamaktadır.

İMLANT POZİSYONU

Daimi restorasyonun koronal konturlar, estetik ve fonksiyonel olarak önceden belirlendiğinden, implant–restorasyon geçiş alanı konturunu belirleyen en önemli faktör implant pozisyonudur (Esquivel ve ark., 2021). Daimi restorasyon düşünülerek, implantın konumu dört farklı düzlemde değerlendirilebilir: apiko-koronal, bukkal-lingual, mesio-distal ve aksiyel eğim. Her bir düzlemin ihlali, restorasyonun daimi konturunu doğrudan etkiler. Ayrıca, bu düzlem değerlendirmesi ideal restorasyon konturlarının elde edilmesi için greftleme veya rezeksiyon gibi pre-protetik cerrahi işlem gerekip

gerekmediğini de belirler. Hem diş pozisyonu hem de implant pozisyonu arasındaki ilişkinin anlaşılması, özellikle tam ark implant tedavisinde kritik öneme sahiptir. Yetersiz konturlar, gıda birikimine ve plak retansiyonuna yol açar bu da peri-implant sağlığının bozulma riskinin artmasına neden olur.

Su ve çalışma arkadaşları ilk kez kritik ve subkritik kontur kavramını tanımlamış (Su ve ark., 2010), Gomez-Meda ve ark. ise estetik-biyolojik kontur yaklaşımıyla restorasyonun farklı bölgelerini açıklamıştır (Gomez-Meda ve ark., 2021). Her iki kavram da implant pozisyonu ile daimi restorasyonun şekli ve çıkış profili arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Bu anlayış doğrultusunda, protetik rehberli implant yerleşimi planlanırken, restorasyonun implant platformundan başlayarak daimi restorasyonun öngörülen mukozal kenarına kadar uzanan çıkış profilinin dikkate alınması gerekmektedir.

Apiko-koronal: İmplantın derinliği, implantın en önemli düzlemsel konumlarından biridir. Bu derinlik, öngörülebilir şekilde komşu dişlerle uyumlu yumuşak doku konturları sağlamak amacıyla, planlanan restorasyonun öngörülen mukozal sınırı ve zeniti ile ilişkilendirilerek değerlendirilmelidir (Buser ve ark., 2004). Literatürde, kemik seviyesindeki implantların ideal yerleşimi için önerilen mukozal sınırdan 3–4 mm derinlikte konumlandırılmasının en uygun referans pozisyon olduğu bildirilmektedir. Linkevicius, yumuşak doku stabilitesinin korunması için 3 mm’lik bir doku kalınlığının kritik öneme sahip olduğunu vurgulamıştır (Linkevicius ve ark., 2017). Eğer yumuşak doku kalınlığı 2 mm ise implantın 1 mm subkrestal yerleştirilmesi gerektiğini; eğer doku kalınlığı yetersiz ise de mutlaka yumuşak doku augmentasyonunun uygulanması gerektiğini bildirmiştir. Bununla birlikte, implantların aşırı derine konumlandırılması peri-implant hastalıkların gelişiminde ve tedavisinde zorluklara yol açmakta, ayrıca sondalama derinliklerindeki artış ile ilişkili olduğuna dair bulgular da bulunmaktadır (Chan ve ark., 2019).

Bukkal-lingual: İmplantın bukkal-lingual yerleşimi, planlanan protezde dişin konumu ve kullanılacak materyalin kalınlık gereksinimi ile uyumlu olmalı ve peri-implant dokuların sağlığını koruyabilmek için çevresinde yeterli kemik ve yumuşak doku desteği sağlamalıdır. İdeal olarak implant boyun kısmının bukkal-lingual pozisyonu, gelecekteki implant kronunun bukkal yüzeyinin çıkış noktasına göre 1,5–2 mm palatinalde konumlandırılmalıdır (Buser ve ark., 2004).

Mezio-distal konum: Mezio-distal yerleşim, esas olarak komşu dişler veya implantlarla olan ilişkiye bağlıdır. Esposito, implant ile komşu diş arasındaki yatay mesafe ile komşu dişteki kemik kaybı arasında güçlü bir ilişki bulunduğunu ilk kez ortaya koymuştur (Esposito ve ark., 1993). Literatürde, kemik kaybını önlemek ve implantlar arasında tam mukozal konturu sağlamak amacıyla implantların komşu dişlerden en az 1,5 mm, komşu implantlardan ise en az 3 mm uzaklıkta konumlandırılması önerilmektedir (Shadid & Sadaqa, 2012; Tarnow ve ark., 2000). Ancak platform switching kullanılan implantlarda, bu mesafenin 2 mm'ye kadar azaltılabileceği bildirilmiştir (Rivara ve ark., 2000)

Aksiyel eğim: İmplantın bukkal-lingual eğimi, yalnızca restorasyon seçeneklerini etkilemekle kalmaz aynı zamanda peri-implant yumuşak dokuların sağlığı ve stabilitesi üzerinde de önemli bir rol oynar. İmplantın eğimi, vida giriş yolu konumunu ve vida tutuculu restorasyonların uygulanabilirliğini doğrudan etkiler (Edmondson ve ark., 2022). İmplant üstü protezlerde kullanılan vida giriş yolunun implantın uzun aksına paralel olmaksızın belirli bir açı ile yönlendirilmesi, açılı vida giriş yolu tasarımı olarak tanımlanmaktadır. Açılı vida giriş yolu tasarımı restorasyonlar ile ilgili teknolojilerin gelişmesi, vida tutuculu restorasyonların uygulanabilirliğini artırmıştır (Rasaie ve ark., 2022). Ancak, vida tutuculu restorasyonun uygulanamadığı durumlarda, simante restorasyon ikinci tercih olarak kullanılmaktadır (Shadid & Sadaqa, 2012; Hebel & Gajjar, 1997). İmplantın aşırı bukkal eğimi, genellikle bukkal malpozisyon ile ilişkilidir ve bukkal doku defektlerine yol açabilir bu durumlarda tek uygulanabilir tedavi seçeneği implantın çıkarılmasıdır.

İmplant yerleşimi, bu pozisyonlar göz önünde bulundurularak yapıldığında ideal restorasyon konturları elde edilebilir ve bu da uzun dönem yumuşak doku stabilitesi ile peri-implant sağlığının korunmasını sağlar.

İMLANT TASARIMI

Protez tasarımında önemli bir unsur, implant–abutment bağlantısıdır. Bu bağlantı, protezin mekanik stabilitesi ve okluzal kuvvetlerin iletilmesi açısından kritik bir rol oynar. Ayrıca, implant–abutment bağlantı tasarımı ve protetik adaptasyonu peri-implant hastalıklar için bir risk faktörü olarak tanımlanmıştır (Koutouzis, 2019; Sasada & Cochran, 2017).

Daha önceki implant platform tasarımları, implant platformu çevresinde kemik rezorpsiyon oluşmasına neden olabilmektedir

(Abrahamsson ve ark., 1997). Başlangıçta oluşan bu kemik kaybı peri-implantitise doğrudan yol açmasa da literatürde erken krestal kemik kaybı genellikle istenmeyen bir bulgu olarak değerlendirilir. Bu durum, implantın pürüzlü yüzeyinin peri-implant sulkusa açılmasına ve dolayısıyla uzun dönem peri-implant sağlığı için bir risk faktörü oluşturmaya neden olur (Windael ve ark., 2021).

Günümüzdeki çoğu implant tasarımı, erken dönemde krestal kemik kaybını minimize etmeye yardımcı olabilecek **platform switching** özelliği içermektedir. Platform shift'in temel mantığı, implant-abutment bağlantısındaki mikro boşluğu kemik kretinden uzaklaştırmaktır. Bu, abutment çapının implant çapından daha dar tasarlanması ile sağlanabilir; böylece abutment kemik krestinden yatay olarak uzaklaştırılmış olur ve literatürde bu yaklaşımın erken krestal kemik kaybını azalttığı sıkça bildirilmiştir (Canullo ve ark., 2020; Meijndert ve ark., 2021).

Ayrıca, platform-switch tasarımı, yumuşak doku kalınlığını artırarak hem estetik hem de biyolojik stabiliteyi desteklemektedir (Su ve ark., 2010).

PROTEZ TASARIMI

Simante ve Vidalı Restorasyonlar

İmplant destekli protezler için iki temel seçenek bulunmaktadır: simante ve vida tutuculu restorasyonlar. Bu iki yöntem arasında seçim yapılırken her birinin avantaj ve dezavantajları dikkate alınmalıdır.

Simante restorasyonların başarısı konusunda literatürde çelişkili bulgular mevcuttur. Bazı çalışmalarda, simante restorasyonlarla restore edilen implantların etrafında, vida tutuculu restorasyonlara kıyasla daha fazla inflamatuvar hücre birikimi ve daha belirgin kemik kaybı rapor edilmiştir (Sailer ve ark., 2012 ; Thoma ve ark., 2018).

Simante restorasyonlarda en sık bildirilen komplikasyon, simanın peri-implant dokulara taşmasıdır. Kalan siman artıkları, peri-implant dokularda akut veya kronik inflamasyona yol açabilmektedir (Valente ve ark., 2020).

Araştırmalar, marjinin 1–1,5 mm'den daha derine, submukozal bölgeye yerleştirildiği simante restorasyonlarda, artık simanın öngörülebilir şekilde uzaklaştırılmadığını ve bu sırada abutment yüzeyinde hasar oluşabildiğini göstermiştir (Agar ve ark., 1997; Linkevicius ve ark., 2013). Klinik gözlemler, implant çevresinde biriken fazla simanın, peri-implant hastalık bulguları ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmalarda, peri-implant

yumuşak dokuların simante kronlara kıyasla vida tutuculu kuronlara daha olumlu yanıt verdiği saptanmıştır (Weber ve ark., 2006; Wilson, 2009).

Çıkış Açısı ve Çıkış Profili

Protetik Terimler Sözlüğü 9'a göre, çıkış profil açısı (Emergence Angle, EA), implant platformu ile protez arasındaki geçiş bölgesinin konturunun ortalama teğeti ile implant gövdesinin uzun aksı arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır (GPT, 2017). "Çıkış profili (Emergence Profile, EP), doğal diş kronunun ya da dental implant ve abutment gibi restorasyonların yumuşak dokudan çıkıştaki konturunu tanımlamakta olup; konveks, konkav ve düz olmak üzere üç farklı morfolojik tipe ayrılmaktadır.

İki kesitsel çalışma, çıkış açısı (EA), çıkış profili (EP) ile peri-implantitis gelişimi arasındaki ilişkiyi incelemiş ve 30 dereceden büyük EA değerinin konveks EP ile birlikte olduğunda kemik seviyesindeki implantlarda peri-implantitis riskini (%37,8) artırdığını bildirmiştir (Katafuchi ve ark., 2018).

Restorasyonun EA'nın 30 derecenin üzerinde olması, aşırı konturlu restorasyon olarak kabul edilmektedir (Katafuchi ve ark., 2018). Katafuchi, restorasyonun konturu ile peri-implantitis riski arasında bir bağlantı olduğunu göstermiştir (Katafuchi ve ark., 2018).

Materyal Seçimi

Kişiyi özel abutment, implant tedavisinin önemli bir bileşeni olarak kabul edilmektedir. Bu tür abutmentler, hasta bazlı şekillendirilmiş olmaları sayesinde yumuşak doku desteği sağlama ve simantasyon sınırının daha uygun bir konumda yerleştirilmesi açısından avantaj sunmaktadır (Dumbrigue ve ark., 2002).

Günümüzde kişiye özel abutmentlerin üretiminde titanyum, döküm metal alaşımları, seramikler ve rezin kompozitler gibi farklı materyaller kullanılabilmektedir (Sasada & Cochran, 2017).

CAD/CAM teknolojisinin kullanıma girmesiyle birlikte, kişiye özel abutmentler için günümüzde en ileri materyaller zirkonya ve titanyum olarak kabul edilmektedir. Uygun materyal seçimi, ideal yumuşak doku sonuçlarının elde edilmesi için biyolojik entegrasyon ve fiziksel özellikler temelinde yapılmalı aynı zamanda teknik ve mekanik komplikasyonların en aza indirilmesine olanak sağlamalıdır.

Temizlenebilirlik

Patolojik biyofilmin varlığı peri-implant hastalıklarıyla ilişkilendirilmiştir (Mombelli & Décaillot, 2011).

Bu nedenle, implant destekli bir protezin yeterli düzeyde oral hijyen ve profesyonel bakıma olanak verecek temizlenebilirliğinin peri-implant hastalıkların önlenmesinde kabul görür.

Uygun olmayan restorasyon tasarımı, biyofilm oluşması ve ardından oluşan kalkülüs gelişimi için predispozan bir faktör olup bu durum biyofilm birikiminin daha da artmasına yol açar. İdeal implant restoratif tasarımının temizlenebilir olması gerekir; bu nedenle konveks form tercih edilen şekildir. Ancak implantın yüzeyel yerleştirilmesi veya aşırı lingual konumlandırılması, "ridge lap" olarak bilinen konkav bir tasarımı zorunlu kılabilir.

Splintlenmemiş tek üye implant destekli restorasyonlar, diş ipi kullanımına olanak tanıyarak temizlik alışkanlıklarının doğal dişlere daha yakın şekilde uygulanmasını sağlar. Bununla birlikte, implant çevresinde diş ipi kullanımının rolü tartışmalıdır; çünkü iplik parçalarının implant bileşenlerinin arasına sıkışması veya açıkta kalan pürüzlü implant yüzeylerine takılma riski mevcuttur (Montevicchi ve ark., 2021). Düzenli diş fırçalamanın yanında interproksimal fırçalar ve oral irrigatörler gibi alternatif oral hijyen destekleyici araçların kullanımı düşünülebilir ve bu yöntemlerin, doğal dişlerde periodontitisin önlenmesi ve diş eti sağlığı idamesinde etkili olduğu gösterilmiştir (Goyal ve ark., 2016).

Tam ark implant rehabilitasyonunun planlanmasında, sabit protezlerin hareketli protezlere üstün olup olmadığı uzun süredir tartışma konusudur. Çalışmaların ortak bulgusu, hastaların sabit protezleri daha konforlu bulmalarına karşın, hareketli protezleri temizlemenin daha kolay olduğunu düşündükleridir (Heydecke ve ark., 2003; Mumcu ve ark., 2020). Ancak, her iki protez türü arasında ortalama marjinal kemik kaybı açısından anlamlı bir fark bulunmamaktadır (Mumcu ve ark., 2020). Bununla birlikte, her iki protez tipindeki implantlar da peri-implantitis gelişimine karşı korunmuş değildir. Grischke ve çalışma arkadaşları, overdenture vakalarında mukozit ve peri-implantitis oranlarının daha yüksek olduğunu saptamışlardır (Grischke ve ark., 2021). Araştırmada, overdenture vakalarında peri-implantitis oranının %25'e kadar çıkabildiği, sabit protezlerde ise bu oranın %12,68 olduğu bildirilmiştir.

Sabit implant destekli köprüler planlanırken, protezin altındaki ve implantlar arasındaki doku teması ve hijyen boşluğu dikkate alınmalıdır. Doku teması gerekli olan durumlarda, sabit protezin konkav doku yüzeyinden kaçınılmalı ve implantlar arasında minimum 3 mm mesafe bırakılmalıdır. Bu hastanın plak birikimini azaltabilme yeteneğini destekler (Abi ve ark., 2015).

Ayrıca, sabit protezlerin altındaki plak birikiminin, temizliğe erişimin daha zor olduğu palatinal tarafta üç kat daha fazla olduğu bildirilmiştir (Abi ve ark., 2015). Bu nedenle, hastanın anatomik özellikleri ve implantların yerleşimi, hijyenik bir sabit protez tasarımını olumsuz etkileyecek durumdaysa dokunun sağlığını korumak için hareketli bir protez çözümü daha uygun bir seçenek olabilir.

SONUÇ

Sonuç olarak, bir implant restorasyonunun protez tasarımı, peri-implant sağlığının geleceği ile yakından ilişkilidir ancak farklı değişkenler (örneğin brüksizm, implant tipi, implant seviyesi, abutment formu) arasında etkileşim bulunmaktadır. Bu nedenle, her hastaya uygun tek bir ideal tasarım formülü yoktur. Restorasyonun konturu ve temizlenebilirliği planlamanın bir parçası olmalıdır. Planlanan implant, gelecekteki restorasyonu olumsuz etkileyebilecekse kemik ve yumuşak doku augmentasyonu gibi ek cerrahi girişimler uygulanmalı veya alternatif bir protez planlanmalıdır. Stabil ve sağlıklı peri-implant dokuların sağlanabilmesi için hem implant yerleşimi hem de daimi protezin tasarımı dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abi Nader S, Eimar H, Momani M, Shang K, Daniel NG, Tamimi F. Plaque accumulation beneath maxillary All-on-4™ implant-supported prostheses. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2015;17(5):932–937.
- Abrahamsson I, Berglundh T, Lindhe J. The mucosal barrier following abutment dis/reconnection: An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol*. 1997;24(8):568–572.
- Agar JR, Cameron SM, Hughbanks JC, Parker MH. Cement removal from restorations luted to titanium abutments with simulated subgingival margins. *J Prosthet Dent*. 1997;78(1):43–47.
- Buser D, Martin W, Belser UC. Optimizing esthetics for implant restorations in the anterior maxilla: Anatomic and surgical considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004;19(Suppl):43–61.
- Canullo L, Menini M, Santori G, Rakic M, Sculean A, Pesce P. Titanium abutment surface modifications and peri-implant tissue behavior: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*. 2020;24(3):1113–1124.
- Chan D, Pelekos G, Ho D, Cortellini P, Tonetti MS. The depth of the implant mucosal tunnel modifies the development and resolution of experimental peri-implant mucositis: A case-control study. *J Clin Periodontol*. 2019;46(2):248–255.
- Dumbrigue HB, Abanomi AA, Cheng LL. Techniques to minimize excess luting agent in cement-retained implant restorations. *J Prosthet Dent*. 2002;87(1):112–114.
- Edmondson EK, Trejo PM, Soldatos N, Weltman RL. The ability to screw-retain single implant-supported restorations in the anterior maxilla: A CBCT analysis. *J Prosthet Dent*. 2022;128(3):443–449.
- Esposito M, Ekestubbe A, Gröndahl K. Radiological evaluation of marginal bone loss at tooth surfaces facing single Brånemark implants. *Clin Oral Implants Res*. 1993;4(3):151–157.
- Esquivel J, Meda RG, Blatz MB. The impact of 3D implant position on emergence profile design. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2021;41(1):79–86.
- Gomez-Meda R, Esquivel J, Blatz MB. The esthetic biological contour concept for implant restoration emergence profile design. *J Esthet Restor Dent*. 2021;33(1):173–184.

- Goyal CR, Lyle DM, Qaqish JG, Schuller R. Comparison of water flosser and interdental brush on reduction of gingival bleeding and plaque: A randomized controlled pilot study. *J Clin Dent*. 2016;27(2):61–65.
- GPT. The glossary of prosthodontic terms: Ninth edition. *J Prosthet Dent*. 2017;117(5S):e1–e105.
- Grischke J, Szafranski SP, Muthukumarasamy U, Haeussler S, Stiesch M. Removable denture is a risk indicator for peri-implantitis: A cross-sectional study. *BMC Oral Health*. 2021;21:173.
- Hebel KS, Gajjar RC. Cement-retained versus screw-retained implant restorations: Achieving optimal occlusion and esthetics in implant dentistry. *J Prosthet Dent*. 1997;77(1):28–35.
- Heydecke G, Pierre Boudrias MA, de Albuquerque RF Jr, Lund JP, Feine JS. Within-subject comparisons of maxillary fixed and removable implant prostheses. *Clin Oral Implants Res*. 2003;14(1):125–130.
- Katafuchi M, Weinstein BF, Leroux BG, Chen YW, Daubert DM. Restoration contour is a risk indicator for peri-implantitis: A cross-sectional radiographic analysis. *J Clin Periodontol*. 2018;45(2):225–232.
- Koutouzis T. Implant-abutment connection as contributing factor to peri-implant diseases. *Periodontol 2000*. 2019;81(1):152–166.
- Linkevicius T, Puisys A, Linkeviciene L, Peciuliene V, Schlee M. Crestal bone stability around implants with horizontally matching connection after soft tissue thickening: A prospective clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2015;17(3):497–508.
- Linkevicius T, Vindasiute E, Puisys A, Linkeviciene L, Maslova N, Puriene A. The influence of the cementation margin position on the amount of undetected cement. *Clin Oral Implants Res*. 2013;24(1):71–76.
- Meijndert CM, Raghoobar GM, Vissink A, Delli K, Meijer HJA. The effect of implant-abutment connections on peri-implant bone levels: A systematic review and meta-analysis. *Clin Exp Dent Res*. 2021;7(6):1025–1036.
- Mombelli A, Décaillot F. The characteristics of biofilms in peri-implant disease. *J Clin Periodontol*. 2011;38(Suppl 11):203–213.
- Monje A, Insua A, Wang HL. Understanding peri-implantitis as a plaque-associated and site-specific entity. *J Clin Med*. 2019;8(2):279.
- Montevecchi M, Valeriani L, Franchi L, Sforza NM, Piana G. Evaluation of floss remnants after implant flossing. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2021;36(3):569–573.

- Mumcu E, Dayan SC, Genceli E, Geckili O. Four implant-retained overdentures vs fixed prostheses using All-on-4 concept: A 2-year study. *Quintessence Int.* 2020;51(5):388–396.
- Rasaie V, Abduo J, Falahchai M. Clinical outcomes of angled screw channel implant prostheses: A systematic review. *Eur J Dent.* 2022;16(3):488–499.
- Rivara F, Macaluso GM, Toffoli A, Calciolari E, Goldoni M, Lumetti S. Effect of 2-mm inter-implant distance on esthetics: A randomized clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2020;22(4):486–496.
- Sailer I, Mühlemann S, Zwahlen M, Hämmerle CHF, Schneider D. Cemented vs screw-retained implant reconstructions: Review. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23(Suppl 6):163–201.
- Sasada Y, Cochran DL. Implant-abutment connections: Biological consequences. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2017;32(6):1296–1307.
- Schwarz F, Derks J, Monje A, Wang HL. Peri-implantitis. *J Periodontol.* 2018;89(Suppl 1):S267–S290.
- Schwarz F, Ramanauskaite A. Peri-implant tissue health. *Periodontol* 2000. 2022;88(1):9–12.
- Shadid R, Sadaqa N. Screw- vs cement-retained implant prostheses: Review. *J Oral Implantol.* 2012;38(3):298–307.
- Su H, Gonzalez-Martin O, Weisgold A, Lee E. Implant abutment and crown contour: Critical & subcritical contour. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2010;30(4):335–343.
- Tarnow DP, Cho SC, Wallace SS. Effect of inter-implant distance on bone crest height. *J Periodontol.* 2000;71(4):546–549.
- Thoma DS, Wolleb K, Bienz SP, Wiedemeier D, Hämmerle CHF, Sailer I. Response to cemented vs screw-retained crowns. *Clin Oral Implants Res.* 2018;29(10):996–1006.
- Valente NA, Wu M, Toti P, Derchi G, Barone A. Transmucosal profile and peri-implant tissues: Systematic review. *Int J Prosthodont.* 2020;33(5):553–564.
- Weber HP, Kim DM, Ng MW, Hwang JW, Fiorellini JP. Peri-implant soft-tissue health in cement- vs screw-retained restorations. *Clin Oral Implants Res.* 2006;17(4):375–379.
- Wilson TG Jr. Excess cement and peri-implant disease. *J Periodontol.* 2009;80(9):1388–1392.

Windael S, Collaert B, De Buyser S, De Bruyn H, Vervaeke S. Early peri-implant bone loss as predictor for peri-implantitis. Clin Implant Dent Relat Res. 2021;23(3):298–308

İMMEDİAT İMPLANTASYONDA YUMUŞAK DOKU YÖNETİMİ: FARKLI KLİNİK SENARYOLARDA BİYOLOJİK PRENSİPLER VE KLİNİK YAKLAŞIMLAR

Özkan KARATAŞ

- ❖ Kurum Bilgisi: Periodontoloji Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0001-9891-7172
- ❖ Mail: dtokaratas@hotmail.com

GİRİŞ

Dental implantlar, eksik dişlerin fonksiyon ve estetiğini yeniden kazandırmada günümüz diş hekimliğinin en öngörülebilir tedavi seçeneklerinden biri haline gelmiştir. Bununla birlikte, geleneksel implant protokollerinde gerekli olan bekleme süresi hem tedavi sürecini uzatmakta hem de çekim sonrası sert ve yumuşak dokularda meydana gelen değişimlerin yönetimini daha önemli hale getirmektedir. Bu nedenle immediat implantasyon, diş çekimini takiben aynı seansta implant yerleştirilmesine olanak sağlaması bakımından güncel implant tedavisinde önemli bir yer edinmiştir. Bu yaklaşım; tedavi süresinin kısalması, cerrahi seans sayısının azalması ve uygun olgularda post-ekstraksiyon dokuların daha kontrollü yönetilebilmesi gibi nedenlerle hem klinisyenler hem de hastalar açısından cazip bulunmaktadır. Bununla birlikte immediat implantasyonun başarısı yalnızca implantın sağkalımı ile değerlendirilmemeli; peri-implant sert ve yumuşak dokuların hacmi, konturu, stabilitesi ve uzun dönem sağlığı da tedavinin ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmalıdır (Wittneben ve ark., 2023).

İmmediat implantasyon denildiğinde literatürün önemli bir kısmı estetik bölgedeki tek diş eksikliklerine odaklanmaktadır. Bunun temel nedeni, bu bölgedeki tedavi başarısının yalnızca fonksiyonel değil, aynı zamanda görsel bütünlük ve yumuşak doku devamlılığı ile de yakından ilişkili olmasıdır. Papil yüksekliği, marjinal doku seviyesi, mukozal kalınlık ve restorasyon çevresindeki yumuşak doku morfolojisi; özellikle anterior bölgede tedavinin klinik sonucunu doğrudan etkileyen unsurlar arasında yer alır (Seyssens ve ark., 2021; Morton ve ark., 2023).

Bununla birlikte immediat implantasyonun klinik uygulama alanı estetik bölge ile sınırlı değildir. Posterior bölgede, özellikle molar çekim soketlerinde uygulanan immediat implantasyon; anatomik yapı, soket morfolojisi, primer stabilite ihtiyacı ve yumuşak doku kapanışının yönetimi açısından anterior bölgeden belirgin farklılıklar göstermektedir. Çok köklü dişlerin çekim soketleri daha geniş ve düzensiz bir boşluk oluşturduğundan, posterior immediat implantasyonda implant ile soket duvarları arasındaki uyumsuzluk daha belirgin hale gelebilir (Ragucci ve ark., 2020; Mustakim ve ark., 2023).

Bu bölümde, immediat implantasyonda yumuşak doku yönetiminin biyolojik temelleri, farklı klinik senaryolarda karşılaşılan zorluklar ve güncel literatür ışığında geliştirilen çözüm yolları kapsamlı bir şekilde ele alınacaktır. Böyle bir yaklaşım, tek bir cerrahi protokol tarif etmekten çok, farklı klinik

durumlarda hangi yumuşak doku hedeflerinin öncelikli hale geldiğini göstermesi bakımından daha işlevsel görünmektedir (Chen ve ark., 2004).

İmmediat İmplantasyonda Yumuşak Doku Yönetiminin Biyolojik Temeli

İmmediat implantasyonda yumuşak doku yönetimini doğru değerlendirebilmek için ilk olarak diş çekimini takiben gelişen biyolojik olayların anlaşılması gerekir. Diş çekimi sonrasında alveol çevresinde başlayan iyileşme süreci yalnızca yumuşak doku kapanışından ibaret değildir; aynı zamanda çekim soketinin duvarlarında, özellikle kortikal yapıya daha bağımlı olan bukkal bölgede hacimsel değişiklikler ortaya çıkar. Araştırmacılar, diş çekiminden sonraki ilk 8 hafta içinde alveolar krette dramatik boyut değişiklikleri meydana geldiğini gözlemlemişlerdir (Araújo & Lindhe, 2005).

Bu sürecin merkezinde "bundle bone" (demetsi kemik) yer alır. Bundle bone, dişin periodontal ligament liflerinin gömülü olduğu ve diş bağlantılı olan kemik tabakasıdır (Araújo & Lindhe, 2005; Smith & Tarnow, 2013). Bukkal kemik duvarının özellikle koronal kısmı, neredeyse tamamen bundle bone dokusundan oluşur. Diş çekildiğinde, bu kemik dokusu biyolojik fonksiyonunu kaybeder ve hızla rezorbe olur (Araújo & Lindhe, 2005). Bu durum, bukkal kemik duvarında ciddi bir dikey ve yatay yükseklik kaybına yol açar. Yapılan ölçümler, çekimden sonraki 4 ay içinde bukkal kemik kalınlığının %56 oranında azaldığını, lingual/palatinal kemik duvarında ise bu oranın %30 civarında kaldığını göstermiştir (Araújo & Lindhe, 2005; Levine ve ark., 2022).

Sert dokuların yeniden şekillenmesi, zaman içinde üzerindeki yumuşak dokunun profilini ve seviyesini de etkiler. Dolayısıyla implant immediat yerleştirilmiş olsa bile çekim sonrası doğal remodelasyon tamamen ortadan kalkmaz; yalnızca bazı olgularda daha kontrollü hale getirilebilir (Chen ve ark., 2004; Linkevicius ve ark., 2009).

Peri-implant yumuşak dokular, doğal diş çevresindeki gingivadan histolojik ve vasküler açıdan bazı farklılıklar gösterir. Doğal dişte periodontal ligamentin varlığı ve suprakrestal bağ dokusu liflerinin organizasyonu daha fizyolojik bir doku bütünlüğü sağlarken, implant çevresinde bağ dokusu liflerinin yönelimi ve damar ağı daha sınırlıdır. Bu nedenle implant çevresindeki mukozanın kalınlığı, keratinizasyon düzeyi ve çevre kemik desteği klinik olarak daha hassas hale gelir. Özellikle ince fenotipli olgularda

ya da bukkal kemik duvarının zayıf olduğu senaryolarda, küçük hacim değişiklikleri bile zaman içinde marjinal doku seviyesinde çekilme olarak bulgu verebilir (Lin ve ark., 2014; Seyssens ve ark., 2021).

Linkevicius ve arkadaşları, implant çevresinde sağlıklı bir biyolojik genişliğin oluşabilmesi ve krestal kemik gerekçesiyle dikeyde minimum bir yumuşak doku kalınlığına ihtiyaç duyulduğunu kanıtlamıştır (Linkevicius ve ark., 2009; Puisys & Linkevicius, 2015). Eğer mevcut yumuşak doku kalınlığı 2.0 mm'nin altındaysa, vücut, ideal biyolojik genişliği oluşturmak için kemiği rezorbe ederek kendisine alan açmaktadır. Bu bağlamda implant çevresinde yaklaşık 3 mm'lik yumuşak doku kalınlığı, sağlıklı bir peri-implant mukoza bariyeri ve ideal biyolojik genişliğin oluşması için gerekli minimum değer olarak kabul edilmektedir. Yumuşak doku profilinin bu ideal kalınlığa ulaşması, yalnızca biyolojik bariyerin kalitesi açısından değil, uzun dönemde krestal kemik kaybı riskinin azaltılması bakımından da önem taşımaktadır (Linkevicius ve ark., 2009; Puisys & Linkevicius, 2015).

Bu biyolojik çerçeve içinde yumuşak doku yönetiminin temel amacı, yalnızca cerrahi sahanın kapanmasını sağlamak değil; peri-implant mukozanın hacmini, kalınlığını ve uzun dönem stabilitesini desteklemektir. Başka bir ifadeyle, başarılı bir yumuşak doku yönetimi; çekim soketinin doğal iyileşme eğilimini dikkate alan, doku çökmesini mümkün olduğunca sınırlayan ve restoratif aşamayla uyumlu bir peri-implant profil oluşturan yaklaşım olarak düşünülmelidir (Ragucci ve ark., 2020; Wittneben ve ark., 2023).

Bu biyolojik temel, ideal yumuşak doku profilinin yalnızca çekim sonrası iyileşme ile değil; implantın konumu, cerrahi yaklaşım, geçici restorasyon ve gerektiğinde uygulanacak augmentasyon stratejileriyle birlikte şekillendiğini göstermektedir. Bu nedenle immedat implantasyonda yumuşak doku yönetimi, tek bir teknikten çok, biyolojik koşullara göre uyarlanan bir karar süreci olarak değerlendirilmelidir.

İmmedat İmplantasyonda Yumuşak Doku Yönetimini Belirleyen Temel Faktörler

İmmedat implantasyonda klinik senaryo ne olursa olsun, yumuşak doku sonucunu belirleyen bazı temel değişkenler vardır. Bunların başında doku fenotipi ve peri-implant mukozanın özellikleri gelir. İnce fenotipli olgularda çekim sonrası meydana gelen sert doku remodelasyonu daha fark edilir yumuşak doku değişikliklerine yol açabilmekte, özellikle fasiyal kontur

kaybı ve çekilme riski artabilmektedir. Kalın fenotip ise çoğu zaman hacim kaybını tamamen önlemese de klinik görünürlüğünü azaltmakta ve doku stabilitesini desteklemektedir (Linkevicius ve ark., 2009; Atieh & Alsabeeha, 2020). Benzer şekilde keratinize mukoza genişliği de hem estetik hem de biyolojik açıdan önem taşır. Keratinize mukoza genişliğinin en az 2 mm olması, peri-implant dokuların inflamasyona karşı dirençli kalması ve hastanın konforlu bir şekilde oral hijyen sağlayabilmesi için altın standart olarak kabul edilmektedir (Linkevicius ve ark., 2009). Bu nedenle fenotip ve mukozal özellikler, yalnızca tanımlayıcı bulgular olarak değil, tedavi planını doğrudan etkileyen biyolojik belirleyiciler olarak değerlendirilmelidir (Seyssens ve ark., 2021; Rondone ve ark., 2024; Zhang ve ark., 2025).

Bir diğer önemli unsur, bukkal kemik desteğidir. İmmediat implantasyon sırasında implantın alveol içinde yer alması, tek başına bukkal kemik duvarın korunacağı anlamına gelmez. Özellikle ince veya hasarlı kemik varlığında, implantın osseointegrasyonu başarılı olsa bile yumuşak doku seviyesinin korunması güçleşebilir. Bu nedenle yumuşak dokuya altyapı sağlayacak kemik desteğinin mevcut olup olmadığı dikkatle değerlendirilmelidir. Bu noktada atravmatik çekim de kritik bir rol oynar. Çekim sırasında papiller dokunun, marjinal gingivanın ve bukkal kemik duvarın korunması, cerrahi sonrası elde edilecek doku mimarisinin başlangıç noktasını oluşturur (Chen ve ark., 2004).

İmplantın üç boyutlu pozisyonu da yumuşak doku yönetiminin merkezinde yer alır. İmplant, çekim soketinin palatinal duvarına yakın yerleştirilmelidir (Smith & Tarnow, 2013). Bukkal kemik ile implant arasında bırakılan boşluk, bukkal plakanın remodelasyonu sonrası oluşacak doku kaybını telafi etmek için hayati öneme sahiptir (Levine ve ark., 2022). Çok bukkal konumlandırılmış bir implant, özellikle anterior bölgede fasiyal doku kaybına ve çekilmeye zemin hazırlayabilir; çok palatinal veya lingual konum ise restorasyon konturunun aşırı çıkıntılı hale gelmesine neden olarak doku uyumu ve temizlenebilirlik açısından sorun yaratabilir (Levine ve ark., 2022).

Meziodistal olarak; komşu dişler ile implant arasında en az 1.5 mm mesafe bırakılmalıdır. İki implant komşu ise bu mesafe papil bütünlüğünü korumak için en az 3 mm olmalıdır (Smith & Tarnow, 2013). Apikokoronal yönde ise; implant platformu, ideal olarak komşu dişlerin mine-sement sınırının yaklaşık 3 mm apikalinde veya bukkal kemik kretinin 2 mm altında konumlandırılmalıdır (Smith & Tarnow, 2013). Bu derinlik, protez için yeterli

alanı sağlayarak doğal bir çıkış profili oluşturulmasına imkan tanır (Morton ve ark., 2023; Mustakim ve ark., 2023).

Restorasyonun tasarım da yumuşak doku sağlığı ile doğrudan ilişkilidir. İmplant üstü çıkış profil açısının 30°'nin üzerine çıkması, peri-implant dokularında plak birikimi ve temizlenebilirlik güçlüğü ile birlikte peri-implantitis riskinde artışa zemin hazırlayabilmektedir. Bu nedenle uygun bir çıkış profilinin elde edilmesi yalnızca protetik tasarımla değil, yeterli yumuşak doku hacminin sağlanması ve peri-implant dokuların doğru yönetilmesi ile mümkündür (Katafuchi ve ark., 2018; Soulami ve ark., 2022).

Flepli ve flepsiz yaklaşımlar da peri-implant yumuşak doku sonucunu etkileyen faktörler arasındadır. Flepsiz yaklaşım, mevcut doku mimarisinin ve periostal dolaşımın korunması bakımından avantaj sağlayabilir; ancak her olgu için uygun değildir. Soket duvarlarının değerlendirilmesi, augmentasyon gereksinimi ve yeterli cerrahi görüş alanının sağlanabilmesi gibi nedenlerle bazı vakalarda flep kaldırılması kaçınılmaz olabilir. Bu nedenle yaklaşım seçimi, biyolojik gereksinim ve cerrahi hedefler doğrultusunda yapılmalıdır (Rondone ve ark., 2024).

İmmediat restorasyon da, özellikle estetik bölgede, papil desteği sağlaması ve çıkış profilini yönlendirmesi bakımından önemli olabilir. (Tortamano ve ark., 2010). İmmediat restorasyon, çekim soketini bir "protetik mühür" gibi kapatarak pıhtının stabilizasyonuna ve yumuşak doku iyileşmesine yardımcı olur (Chu ve ark., 2012). Ancak bu uygulama için implantın primer stabilitesinin yeterli olması ve immediat restorasyonun oklüzal yüklerden tamamen uzak tutulması önemlidir (Tortamano ve ark., 2010). Bununla birlikte her olguda belirgin üstünlük sağladığı söylenemez. Bunun temel nedeni, restorasyonun yumuşak dokuyu destekleme potansiyeline karşın, uygun olmayan olgularda doku üzerine istenmeyen basınç oluşturabilmesi, hijyen kontrolünü zorlaştırabilmesi ve yetersiz primer stabilite varlığında biyolojik ve mekanik riskleri artırabilmesidir. Bu nedenle geçici restorasyon, otomatik olarak uygulanacak bir basamak değil; biyolojik ve protetik koşullar uygunsa değerlendirilecek bir seçenek olarak görülmelidir (Godani ve ark., 2024).

İmmediat implantasyon sırasında bağ dokusu grefti kullanımı, özellikle ince fenotipli hastalarda artık bir standart haline gelmektedir (Chu ve ark., 2012; Atieh & Alsabeeha, 2020). Meta-analizler, bağ dokusu greftinin mukoza kalınlığını artırdığını, marjinal doku kaybını azalttığını ve "Pembe Estetik Skor" değerlerini iyileştirdiğini doğrulamaktadır (Atieh & Alsabeeha,

2020). Bağ dokusu grefti ile birlikte uygulanan immedat implantasyon ve restorasyon, uygulanmayan vakalara göre anlamlı derecede daha stabil bir yumuşak doku profili sunmaktadır. Graft, bukkal kemik rezorpsiyonunu engellemese de, doku kalınlığını artırarak bu kaybın estetik yansımaları maskeler ve bölgede arzu edilen konveks konturu korur (Chu ve ark., 2012; Atieh & Alsabeeha, 2020).

Yumuşak doku augmentasyonu tüm olgularda rutin uygulanacak bir müdahale olarak değerlendirilmemelidir. Anterior bölgede bu gereksinim daha çok fasyal kontur ve marjinal doku stabilitesi ile ilişkiliyken, posterior bölgede keratinize doku genişliği, mukozal kalınlık ve bakım kolaylığı daha fazla önem taşır. Bu nedenle augmentasyon, biyolojik riskleri dengelemeye yönelik seçici bir yaklaşım olarak ele alınmalıdır (Seyssens ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2025).

Tek Diş Estetik Bölge İmmedat İmplantasyonunda Yumuşak Doku Yönetimi

Estetik bölgedeki tek diş immedat implantasyon, yumuşak doku yönetiminin en hassas olduğu klinik senaryodur. Bu bölgede tedavi başarısı yalnızca implantın osseointegrasyonu ile değil; marjinal doku seviyesinin korunması, papiller dokuların simetrisi ve restoratif konturun doğal dişlerle uyumu ile de değerlendirilir. Bu nedenle estetik bölgedeki immedat implantasyon, biyolojik ve protetik kararların dikkatle birleştirilmesini gerektirir (Morton ve ark., 2023).

Bu klinik senaryoda en önemli hedeflerden biri marjinal doku seviyesinin korunmasıdır. Çekim sonrası fasyal kemik duvarın remodelasyonu, fasyal yumuşak doku miktarında azalmaya zemin hazırlayabilir. Bu nedenle ince fenotip, çok ince bukkal kemik, fasyal dehisens veya travmatik çekim öyküsü gibi durumlarda yumuşak doku çökmesi riski daha yüksektir. Meta-analitik veriler, bağ dokusu greftinin bu tür yüksek riskli olgularda marjinal doku stabilitesine de olumlu katkı sağlayabildiğini düşündürmektedir. Bununla birlikte greftleme kararı, teknik alışkanlıktan çok olgunun yukarıda bahsedilen doku profiline göre verilmelidir (Seyssens ve ark., 2021).

Papiller dokuların korunması da estetik bölgede ayrı bir öneme sahiptir. Papil yüksekliği yalnızca interproksimal kemik desteği ile değil; komşu dişlerin periodontal durumu, çekim travması, restoratif kontak noktalarının planlanması ve geçici restorasyonun dokuya verdiği destek ile de ilişkilidir.

Bu nedenle estetik bölgede papil korunumu, cerrahi ve protetik aşamaların birlikte ele alınmasını gerektirir. Yumuşak doku yönetimi, cerrahi işlemle sınırlı bir süreç değil; restorasyon ve kontur şekillendirme ile devam eden dinamik bir yaklaşım olarak düşünülmelidir (Wittneben ve ark., 2023).

İmmediat restorasyonun bu bölgede en sık kullanım gerekçesi, çekim soket bölgesinin ve peri-implant yumuşak dokunun desteklenmesidir. Geçici restorasyon sayesinde marjinal ve submarjinal kontur alanlarının daha kontrollü yönetilebilmesi, papil desteğinin korunması ve hastanın estetik beklentisinin hemen karşılanması mümkün olabilir. Bununla birlikte mevcut veriler, immediat restorasyonun tüm olgularda daha iyi yumuşak doku sonucu vereceğini kesin biçimde göstermemektedir. Bu nedenle immediat restorasyonun yararı, implantın primer stabilitesi, oklüzal yükten korunabilme durumu ve yumuşak dokunun mevcut durumu ile birlikte değerlendirilmelidir (Godani ve ark., 2024).

Flap tasarımı da bu bölgede önemlidir. Flepsiz veya minimal flep yaklaşımı, marjinal yumuşak dokuların ve periostal kanlanmanın korunması bakımından avantaj sağlayabilir. Ancak bu yaklaşım yalnızca soket duvarları yeterli derecede korunmuş ve cerrahi manipülasyonun sınırlı tutulabileceği olgularda daha güvenlidir. Gerekli durumlarda augmentasyon veya soket duvarının manipülasyonu için flep kaldırılması kaçınılmaz olabilir. Burada amaç, flepsiz yaklaşımı zorla uygulamak değil; en atravmatik ve en öngörülebilir yumuşak doku sonucunu sağlayacak cerrahi planı oluşturmaktır (Domínguez ve ark., 2015; Rondone ve ark., 2024).

Klinik olarak en sık karşılaşılan sorun marjinal doku kaybıdır. Bu tablo genellikle tek bir etkene bağlı değildir; ince fenotip, yetersiz bukkal kemik, implantın bukkale yakın yerleşimi, yetersiz yumuşak doku hacmi ve restorasyon kontur hataları birlikte rol oynayabilir. Bu nedenle estetik bölgede elde edilen sonuç, belirli bir materyal ya da tekniğin uygulanmasından çok, risk değişkenlerinin doğru okunmasına bağlıdır. Başarılı olgularda ortak nokta çoğu zaman doğru hasta seçimi ve biyolojik sınırları zorlamayan planlamadır (Lin ve ark., 2014).

Posterior İmmediat İmplantasyonda Yumuşak Doku Yönetimi

Posterior bölgede uygulanan immediat implantasyon, yumuşak doku hedefleri bakımından anterior tek diş senaryosundan belirgin şekilde ayrılmaktadır. Bu bölgede temel amaç çoğu zaman estetik bütünlükten çok,

fonksiyonel iyileşme, keratinize doku devamlılığı, yumuşak doku kollapsının sınırlandırılması ve uzun dönem biyolojik devamlılığın sağlanmasıdır. Molar soketlerin geniş ve çok köklü anatomisi nedeniyle hem implant konumlandırması hem de yumuşak doku desteğinin korunması daha güç olabilir. Bu nedenle posterior immediat implantasyonda yumuşak doku yönetimi, soket morfolojisinin doğru değerlendirilmesi ve cerrahi alanın kontrollü yönlendirilmesi üzerine kuruludur (Linkevicius ve ark., 2009; Ragucci ve ark., 2020).

Bu bölgede karşılaşılan temel teknik güçlüklerden biri, implantın geniş çekim soketi içinde ideal pozisyonda yerleştirilmesi ve eş zamanlı olarak yeterli primer stabilitenin sağlanmasıdır. İmplant pozisyonunun merkezden sapması veya restoratif platformun uygunsuz olması, asimetrik yumuşak doku iyileşmesine ve kontur düzensizliklerine neden olabilir. Özellikle interradiküler septumun kullanılabildiği olgularda implantın daha kontrollü konumlandırılması mümkün olurken, septumun yetersiz olduğu durumlarda yumuşak doku koruma stratejileri daha dikkatli planlanmalıdır. Bu olgularda papil simetrisi ya da fasiyal doku seviyesi çoğu zaman birincil belirleyici değildir; buna karşılık keratinize mukozanın korunması, temizlenebilir bir kontur elde edilmesi ve soket bölgesinde doku büzülmesinin kontrol altına alınması daha ön plandadır (Ragucci ve ark., 2020; Mustakim ve ark., 2023; Bahaa ve ark., 2024; Zhang ve ark., 2025).

Flep tasarımı ve primer yara kapanması da seçici değerlendirilmelidir. Güncel eğilim, posterior immediat implantasyonda gereksiz geniş fleplerden kaçınmak ve mevcut keratinize dokuyu olabildiğince korumak yönündedir. Primer kapatma her olguda mutlak amaç olarak görülmemeli; asıl önemli olan, iyileşme süresince doku stabilitesini ve bakım yapılabilirliği sağlayan bir yumuşak doku mimarisi oluşturabilmektir. Benzer şekilde, geçici restorasyon anterior bölgedeki kadar yaygın veya zorunlu değildir; ancak özellikle tek posterior diş eksikliklerinde özelleştirilmiş iyileşme başlıkları veya geçici restorasyonlar, soket bölgesinin biçimlendirilmesine ve yumuşak doku konturunun desteklenmesine katkı sağlayabilir (Mustakim ve ark., 2023; Waltenberger ve ark., 2024; Dias ve ark., 2025).

Posterior bölgede greftleme gereksinimi de estetik bölgeden farklı bir mantıkla değerlendirilmelidir. Burada amaç çoğu zaman fasiyal estetik destekten çok, implant çevresindeki sert ve yumuşak doku hacmini korumak, soket ile implant arasındaki boşluğu biyolojik olarak daha öngörülebilir hale getirmek ve uzun dönem doku stabilitesini desteklemektir. Bu nedenle

greftleme kararı, soket morfolojisi, implant çevresindeki boşluk, yumuşak doku kalitesi ve restoratif plan ile birlikte ele alınmalıdır. Sonuç olarak posterior immedat implantasyonda yumuşak doku yönetimi, estetik beklentiden çok biyolojik dayanıklılık ve bakım kolaylığı etrafında şekillenmektedir. Bu bölgedeki başarılı sonuç, çoğu zaman doğal görünen bir gingival konturdan ziyade; stabil, keratinize, temizlenebilir ve enflamasyona dirençli bir peri-implant mukozanın elde edilmesiyle tanımlanmalıdır (Ragucci ve ark., 2020).

Çoklu İmmedat İmplant Olgularında Yumuşak Doku Yönetimi

Birden fazla dişin komşu olduğu durumlarda immedat implantasyon, papil kaybı riski nedeniyle klinisyenler için en zorlayıcı senaryolardan biridir (Araújo & Lindhe, 2005; Khoury ve ark., 2020). Tek bir implant çevresindeki yumuşak doku seviyesini korumak çoğu zaman daha öngörülebilirken, çoklu implant sahalarında hem fasiyal profilin hem de inter-implant papiller görünümünün korunması daha zor olabilir. Doğal dişler arasındaki papil yüksekliği, interdental kemik seviyesi ve periodontal ligament lifleri tarafından desteklenir. Diş çekildiğinde bu liflerin %50'si kaybedilir. İki komşu implant yerleştirildiğinde, aradaki papili destekleyecek kemik desteğinin korunması son derece güçtür (Khoury ve ark., 2020). Mevcut literatürde bu senaryolara ait kanıt düzeyi sınırlı olduğundan, daha temkinli bir biyolojik ve protetik planlama yaklaşımı benimsenmelidir (Dias ve ark., 2025).

Bu tür olgularda bazı klinisyenler, papil desteğini daha iyi koruyabilmek için aşamalı veya “one-by-one” yaklaşımları tercih etmektedir. Bu tekniğin uygulanışında komşu dişlerden biri çekilir, implant yerleştirilir ve geçici restorasyonu yapılır. Bu aşamada yanındaki diş çekilmez; bu sayede aradaki papil, doğal dişin ataşmanı sayesinde korunur (Khoury ve ark., 2020). İlk implantın osseointegrasyonu tamamlandıktan sonra diğer komşu diş çekilir ve aynı protokol uygulanır. Bu anlayışta amaç, tüm sahayı aynı anda agresif biçimde dönüştürmek yerine, mevcut yumuşak doku mimarisini mümkün olduğunca koruyarak implant tedavisini kademeli biçimde yürütmektir. Bu yaklaşım her olgu için standart bir protokol olarak görülmemelidir; ancak çoklu komşu çekim soketlerinde papil desteğinin kırılma riski düşünüldüğünde, yumuşak doku koruma bakış açısını güçlendirdiği söylenebilir (Khoury ve ark., 2020).

Çoklu implant olgularında geçici restorasyonların rolü de önemlidir. Geçici protetik yapı, yalnızca estetik amaçla değil, bölgesel yumuşak doku konturunu yönlendirmek ve çökme eğilimindeki dokulara destek olmak için de kullanılabilir. Bununla birlikte, bu olgularda geçici restorasyonun tasarımı tek diş senaryosuna göre daha zordur; çünkü bir bölgede aşırı destek sağlamak diğer bölgede basınç ve doku düzensizliği yaratabilir. Bu nedenle çoklu immediat implantasyon, protetik aşamanın gerçekten yumuşak doku yönetiminin bir parçası haline geldiği senaryolardan biridir (Dias ve ark., 2025).

Klinik olarak bu grup olgularda en akılcı yaklaşım, beklentileri kontrollü tutmak ve biyolojik sınırları zorlamamaktır. Tek diş estetik bölge vakalarında elde edilebilen yüksek yumuşak doku başarısını çoklu implant bölgelerinde tekrar etmek her zaman mümkün olmayabilir. Buna karşılık, iyi planlanmış yumuşak doku yönetimi ile bakım yapılabilir, stabil ve estetik açıdan kabul edilebilir bir sonuç elde etmek mümkündür. Bu nedenle çoklu immediat implantasyon, aşırı estetik beklentilerden çok dengeli doku koruma prensipleri üzerinden değerlendirilmelidir.

Komplikasyonlar ve Riskli Klinik Senaryolar

İmmediat implantasyonda yumuşak doku yönetimi başarısız olduğunda en sık karşılaşılan sonuçlardan biri marjinal yumuşak doku kaybıdır. Estetik bölgede bu durum daha çok çekilme şeklinde ortaya çıkarken, posterior bölgede hacim kaybı, keratinize doku genişliğinin azalması veya oral hijyenin sağlanamaması olarak gözlenebilir. Çoğu komplikasyonun ortak noktasında ince fenotip, zayıf bukkal kemik, travmatik çekim, ideal olmayan implant pozisyonu ve uygunsuz restorasyon konturları gibi biyolojik sınırların yeterince dikkate alınmadığı durumlar yer alır (Tortamano ve ark., 2010; Chu ve ark., 2012; Lin ve ark., 2014; Katafuchi ve ark., 2018; Seyssens ve ark., 2021).

Papil kaybı ve kontur düzensizliği, özellikle estetik bölge ve çoklu implant senaryolarında klinik olarak rahatsız edici olabilir. Papil desteği kaybı çoğu zaman yalnızca yumuşak doku manipülasyonuna bağlı değildir; alttaki kemik düzeyi, komşu diş veya implant ilişkisi ve protetik temas noktalarının tasarımı da bu sonucu etkiler. Bu nedenle papil kaybı ortaya çıktığında sorunu yalnızca cerrahi yumuşak doku eksikliği olarak yorumlamak yetersiz kalabilir. Cerrahi ve protetik faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerekir (Katafuchi ve ark., 2018; Khoury ve ark., 2020; Waltenberger ve ark., 2024; Dias ve ark., 2025).

SONUÇ

İmmediat implantasyonda yumuşak doku yönetimi, tedavinin estetik ve biyolojik başarısını belirleyen temel unsurlardan biridir. Ancak bu başarı, tek bir cerrahi yaklaşımın rutin uygulanmasından çok, klinik senaryoya uygun biyolojik ve protetik planlamaya bağlıdır. Estetik bölgede öncelik marjinal doku seviyesinin ve papil desteğinin korunması iken, posterior bölgede keratinize mukoza, temizlenebilirlik ve uzun dönem peri-implant sağlığın sürdürülmesi daha fazla önem taşır.

Klinik açıdan bakıldığında birkaç temel nokta öne çıkmaktadır. İlk olarak, diş çekimi sonrasında gelişen kemik rezorpsiyonu biyolojik bir gerçekliktir; bu nedenle implant pozisyonu ve augmentasyon stratejileri bu gerçeği kompanze edecek şekilde planlanmalıdır (Araújo & Lindhe, 2005; Chu ve ark., 2012). İkinci olarak, sağlıklı ve stabil bir peri-implant mukoza bariyeri için yaklaşık 3 mm dikey yumuşak doku kalınlığının hedeflenmesi önemlidir; yeterli doku kalınlığı sağlandığında hem biyolojik genişlik daha sağlıklı oluşmakta hem de uzun dönem kemik kaybı riski azalmaktadır (Linkevicius ve ark., 2009; Puisys & Linkevicius, 2015). Üçüncü olarak, atravmatik çekim, uygun olgularda flepsiz yaklaşım ve implantın palatinal ya da septal konumlandırılması cerrahi başarının temel bileşenleri arasında yer alır (Smith & Tarnow, 2013; Stoupel ve ark., 2016; Pitman ve ark., 2023; Zhang ve ark., 2025). Son olarak, protetik aşamada uygun çıkış profilinin oluşturulması da kritik önemdedir. Özellikle 30°'nin üzerindeki çıkış profili açılarının peri-implant hastalık riski ile ilişkili olabileceği göz önünde bulundurulduğunda, geçici restorasyon desteğiyle yumuşak dokunun kontrollü biçimde şekillendirilmesi nihai peri-implant doku mimarisinin korunmasına katkı sağlar (Tortamano ve ark., 2010; Katafuchi ve ark., 2018).

KAYNAKLAR

- Araújo, M. G., & Lindhe, J. (2005). Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *Journal of Clinical Periodontology*, 32(2), 212-218.
- Atieh, M. A., & Alsabeeha, N. H. (2020). Soft tissue changes after connective tissue grafts around immediately placed and restored dental implants in the esthetic zone: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(3), 280-290.
- Bahaa, A., Bahaa, A. M., El-Bagoury, N., Khaled, N., & Ibrahim, A. M. (2024). Immediate implants in posterior extraction sites: a case series

- applying the dual-zone therapeutic concept with a three-year follow-up. *Cureus*, 16(2).
- Chen, S. T., Wilson Jr, T. G., & Hämmerle, C. (2004). Immediate or early placement of implants following tooth extraction: review of biologic basis, clinical procedures, and outcomes. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 19(Suppl), 12-25.
- Chu, S. J., Saloma, M. A., Salama, H., Garter, D. A., Saito, H., Sarnachiaro, G. O., & Tornow, D. P. (2012). The dual-zone therapeutic concept of managing immediate implant placement and provisional restoration in anterior extraction sockets. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* (15488578), 33(7).
- Dias, D. R., Hermann, F., Liñares, A., Blanco, J., & Araújo, M. G. (2025). Immediate Implant Placement and Restorations in Single-Unit and Multiple-Unit FDPs: A Scoping Review of the Current Evidence, Indications, and Clinical Protocols. *The International journal of prosthodontics*, 38(5), 11-34.
- Domínguez, G. C., Fernández, D., Calzavara, D., & Fábrega, J. G. (2015). Immediate placement and restoration of implants in the esthetic zone: Trimodal Approach therapeutic options. *Int J Esthet Dent*, 10(1), 100-121.
- Godani, A., Iyer, J., Nadgere, J., Mohite, A., & Gaikwad, A. (2024). Impact of immediate interim restoration on peri-implant tissues around immediately placed single dental implants in the esthetic region: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*.
- Katafuchi, M., Weinstein, B. F., Leroux, B. G., Chen, Y. W., & Daubert, D. M. (2018). Restoration contour is a risk indicator for peri-implantitis: a cross-sectional radiographic analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(2), 225-232.
- Khoury, G., Chamieh, F., & Fromentin, O. (2020). One-by-one immediate dental implants: A papillae preservation concept for adjacent implants in a compromised periodontal case. *Clinical Case Reports*, 8(12), 2664-2672.
- Levine, R. A., Dias, D. R., Wang, P., & Araújo, M. G. (2022). Effect of the buccal gap width following immediate implant placement on the buccal bone wall: A retrospective cone-beam computed tomography analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 24(4), 403-413.
- Lin, G. H., Chan, H. L., & Wang, H. L. (2014). Effects of currently available surgical and restorative interventions on reducing midfacial mucosal

- recession of immediately placed single-tooth implants: a systematic review. *Journal of periodontology*, 85(1), 92-102.
- Linkevicius, T., Apse, P., Grybauskas, S., & Puisys, A. (2009). The influence of soft tissue thickness on crestal bone changes around implants: a 1-year prospective controlled clinical trial. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 24(4).
- Morton, D., Wismeijer, D., Chen, S., Hamilton, A., Wittneben, J., Casentini, P.,...Molinero-Mourelle, P. (2023). Group 5 ITI Consensus Report: Implant placement and loading protocols. *Clinical Oral Implants Research*, 34, 349-356.
- Mustakim, K. R., Eo, M. Y., Lee, J. Y., Myoung, H., Seo, M. H., & Kim, S. M. (2023). Guidance and rationale for the immediate implant placement in the maxillary molar. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 49(1), 30-42.
- Pitman, J., Christiaens, V., Callens, J., Glibert, M., Seyssens, L., Blanco, J., & Cosyn, J. (2023). Immediate implant placement with flap or flapless surgery: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 50(6), 755-764.
- Puisys, A., & Linkevicius, T. (2015). The influence of mucosal tissue thickening on crestal bone stability around bone-level implants. A prospective controlled clinical trial. *Clinical Oral Implants Research*, 26(2), 123-129.
- Ragucci, G. M., Elnayef, B., Criado-Cámara, E., Del Amo, F. S.-L., & Hernández-Alfaro, F. (2020). Immediate implant placement in molar extraction sockets: a systematic review and meta-analysis. *International journal of implant dentistry*, 6(1), 40.
- Rondone, E. M., Leitão-Almeida, B., Pereira, M. S., Fernandes, G. V. O., & Borges, T. (2024). The use of tissue grafts associated with immediate implant placement to achieve better peri-implant stability and efficacy: a systematic review and meta-analysis. *Journal of clinical medicine*, 13(3), 821.
- Seyssens, L., De Lat, L., & Cosyn, J. (2021). Immediate implant placement with or without connective tissue graft: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 48(2), 284-301.
- Smith, R. B., & Tarnow, D. P. (2013). Classification of molar extraction sites for immediate dental implant placement. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 28(3).
- Soulami, S., Slot, D. E., & van der Weijden, F. (2022). Implant-abutment emergence angle and profile in relation to peri-implantitis: a

- systematic review. *Clinical and Experimental Dental Research*, 8(4), 795-806.
- Stoupel, J., Lee, C. T., Glick, J., Sanz-Miralles, E., Chiuzan, C., & Papapanou, P. N. (2016). Immediate implant placement and provisionalization in the aesthetic zone using a flapless or a flap-involving approach: a randomized controlled trial. *Journal of Clinical Periodontology*, 43(12), 1171-1179.
- Tortamano, P., Otávio Alves Camargo, L., Stella Bello-Silva, M., & Hirokuni Kanashiro, L. (2010). Immediate implant placement and restoration in the esthetic zone: a prospective study with 18 months of follow-up. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 25(2).
- Waltenberger, L., Reich, S., Zwahlen, M., & Wolfart, S. (2024). Effect of immediate all-digital restoration of single posterior implants: The SafetyCrown concept on patient-reported outcome measures, accuracy, and treatment time—A randomized clinical trial. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 26(6), 1135-1148.
- Wittneben, J. G., Molinero-Mourelle, P., Hamilton, A., Alnasser, M., Obermaier, B., Morton, D.,...Wismeijer, D. (2023). Clinical performance of immediately placed and immediately loaded single implants in the esthetic zone: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 34, 266-303.
- Zhang, S., Sheng, R., Fan, Z., Wang, F., Di, P., Shi, J.,...Chen, Z. (2025). Expert consensus on peri-implant keratinized mucosa augmentation at second-stage surgery. *International Journal of Oral Science*, 17(1), 51.

İMLANT VE RESTORATİF TEDAVİLERDE UZUN DÖNEM KLİNİK BAŞARIYI BELİRLEYEN FAKTÖRLER

Ayşe Gözde TÜRK

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-6397-7084
- ❖ Mail: ayse.gozde.turk@ege.edu.tr

Ayşe Nur GURAN

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0004-9984-463X
- ❖ Mail: ayse.nur.guran@ege.edu.tr

GİRİŞ

Dental implant tedavisi, eksik dişlerin rehabilitasyonunda güncel diş hekimliğinin en öngörülebilir yaklaşımlarından biri haline gelmiştir. Özellikle son yarım yüzyılda implant tasarımı, implant yüzey özellikleri, cerrahi protokoller ve restoratif seçeneklerde kaydedilen ilerlemeler, hem kısmi hem de tam dişsiz hastalarda yüksek implant sağkalım oranlarına ulaşılmasını mümkün kılmıştır. Buna karşın güncel yaklaşım, implantın yalnızca kemik içinde ağızda kalmasını yeterli bir başarı ölçütü olarak görmemekte; peri-implant doku sağlığı, üst yapı restorasyonunun komplikasyonsuz işlevi, marjinal kemik stabilitesi ve hastanın uzun dönem memnuniyeti gibi daha geniş bir başarı çerçevesini esas almaktadır (Addy, 2024; Kupka ve ark., 2024; Sailer ve ark., 2022).

Uzun dönem takip verileri, implant tedavisinin klinik olarak güçlü bir seçenek olduğunu desteklemektedir. Yirmi yıllık meta-analizlerde dental implant sağkalımının prospektif çalışmalarda yaklaşık %92, retrospektif çalışmalarda %88 olduğu; takipten çıkan hastaların başarısız kabul edildiği daha katı analizlerde ise yaklaşık %78'e düştüğü bildirilmiştir. Bu durum uzun dönem başarının mümkün ancak koşullu olduğunu göstermektedir. Benzer biçimde 12 ve 15 yıllık klinik çalışmalarda implant sağkalımının %96 civarında seyretmesi, uzun dönem sonuçların yalnızca cerrahi başarıya değil, protetik planlama ve bakım sürekliliğine de bağlı olduğunu düşündürmektedir (Kupka ve ark., 2024; Velasco-Ortega ve ark., 2022; Velasco-Ortega ve ark., 2025).

Bu noktada “uzun dönem klinik başarı” kavramı, implant, çevre yumuşak ve sert dokular ile restoratif bileşenlerin bütüncül değerlendirilmesini gerektirir. Aynı implant sistemi farklı hasta gruplarında, farklı bağlantı tipleri ve farklı üst yapı materyalleri ile kullanıldığında biyolojik ve teknik sonuçlar değişebilmektedir. Özellikle marjinal kemik kaybı, peri-implant mukozitis ve peri-implantitis gibi biyolojik sorunlar ile seramik kırığı, chipping, vida gevşemesi ve üst yapı onarımı gereksinimi gibi teknik olaylar, restoratif tedavinin gerçek başarısını belirleyen başlıca parametrelerdir (Papasparyidakos ve ark., 2019; Papasparyidakos ve ark., 2020; Sailer ve ark., 2022).

Bu bölümde implant ve restoratif tedavilerde uzun dönem klinik başarıyı etkileyen faktörler; hasta ve bakım faktörleri, cerrahi ve implantla ilişkili faktörler, protetik planlama ve bağlantı tasarımı ve üst yapı materyalleri başlıkları altında ele alınacaktır. Ardından biyolojik ve teknik

komplikasyonlar güncel klinik ve sistematik derleme verileri eşliğinde tartışılacak; bölüm sonunda uzun dönem başarıyı destekleyen temel klinik ilkeler özetlenecektir.

İmplant Tedavisinde Klinik Başarı Kavramı

İmplant tedavisinde sağkalım ile başarı kavramlarının birbirinden ayrılması gerekir. Sağkalım, implantın veya restorasyonun belirli bir takip süresi sonunda ağızda bulunmaya devam etmesini ifade ederken; klinik başarı, bunun komplikasyonsuz, işlevsel ve biyolojik olarak kabul edilebilir koşullarda gerçekleşmesini içerir. Bu nedenle bir implantın ağızda kalması her zaman başarılı olduğu anlamına gelmez. Özellikle marjinal kemik kaybının kabul edilebilir sınırların üzerine çıkması, peri-implant inflamasyonun ortaya çıkması ya da restoratif bileşenlerin tekrarlayan onarımlar gerektirmesi başarı değerlendirmesini olumsuz etkiler (Addy, 2024; Sailer ve ark., 2022).

Uzun dönem başarı değerlendirmesinde implant düzeyi ile protez düzeyi birlikte ele alınmalıdır. Tek kron, çok üyeli sabit restorasyon ve tam ark restorasyonlarda protez sağkalımı çoğu zaman implant sağkalımından daha düşüktür; çünkü üst yapılar fonksiyon sırasında daha fazla mekanik yüke maruz kalması ve daha fazla bakım gereksinimine ihtiyaç duymalarıdır. Özellikle sabit tam ark restorasyonlarda teknik bakım yükünün yüksek olduğu, buna rağmen implant ve protez sağkalımının kabul edilebilir düzeyde seyrettiği bildirilmektedir (Papaspriidakos ve ark., 2019; Papaspriidakos ve ark., 2020).

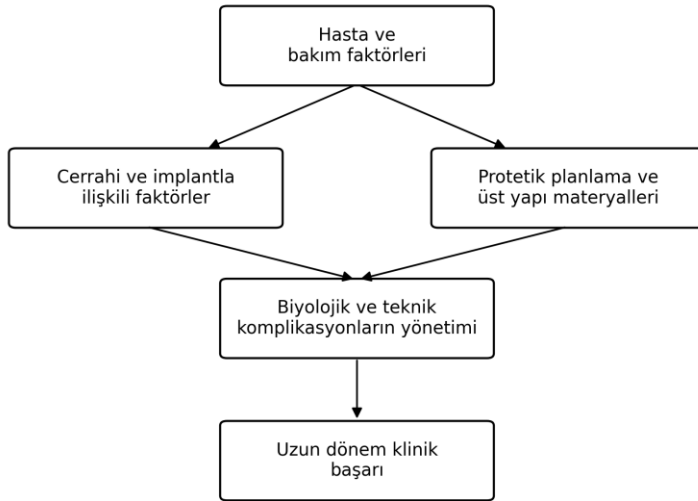
Klinik başarı değerlendirmesinde marjinal kemik seviyeleri ayrıca önem taşır. Üst yapı materyali, implant-abutment bağlantısı, restorasyon konturu ve plak kontrolü gibi değişkenler kemik düzeyi üzerinde etkili olabilmektedir. Bu nedenle implant restorasyonlarında estetik ve mekanik beklentilerin yanı sıra biyolojik genişliğin korunması, restorasyonun temizlenebilirliği ve oral hijyenin sürdürülebilmesi de tedavi planlamasında kritik rol oynayan faktörlerdir. (Türk ve ark., 2013; Addy, 2024; Zhang ve ark., 2024).

Uzun Dönem Klinik Başarıyı Etkileyen Faktörler

İmplant tedavisinde uzun dönem başarıyı belirleyen başlıca faktörler Tablo 1’de özetlenmiştir. Şekil 1 ise bu faktörler arasındaki ilişkiyi şematik olarak göstermektedir. Hasta, cerrahi ve protetik etkenlerin birbirleriyle ilişkisi Şekil 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. İmplant tedavisinde uzun dönem klinik başarıyı belirleyen başlıca faktörler

Faktör grubu	Uzun dönem başarı üzerindeki etkiler
Hasta ve bakım faktörleri	Bruksizm, hijyen uyumu, gece plağı kullanımı, düzenli çağrı ve profesyonel bakım
Cerrahi ve implantla ilişkili faktörler	İmplant yüzeyi, bağlantı tipi, platform switching, kemik seviyesi ve yükleme protokolü
Protetik planlama	Restorasyon tipi, vidalı/simante tasarım, çıkış profili, temizlenebilirlik ve oklüzal düzenleme
Üst yapı materyalleri	Metal-seramik, veneered zirkonya, monolitik veya mikro-veneered zirkonya, lityum disilikat ve bunların komplikasyon profili



Şekil 1. İmplant ve restoratif tedavilerde uzun dönem klinik başarıyı belirleyen faktörlerin şematik gösterimi

Hasta ve Bakım Faktörleri

Uzun dönem sonuçları etkileyen ilk grup, hastaya ve bakım sürekliliğine bağlı değişkenlerdir. Literatür, implant kayıplarının ve komplikasyonların tek bir nedene bağlanamayacağını, çoğu zaman çok etkenli bir yapı sergilediğini göstermektedir. Yirmi yıllık meta-analizler, implant başarısızlığının multifaktöriyel bir süreç olduğunu ve uzun dönem takip

kaybının tedavi etkinliğinin olduğundan yüksek görünmesine yol açabileceğini göstermektedir. Bu durum, implant tedavisinde başarının yalnızca cerrahi yerleştirmeye değil, düzenli kontrol ve profesyonel bakımın sürdürülmesine de bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. (Kupka ve ark., 2024).

Bruksizm varlığında koruyucu gece plağı kullanımı ve hastanın bakım uyumu, özellikle tam ark restorasyonlarda teknik komplikasyon yükünü anlamlı biçimde etkileyebilir. İmplant destekli sabit tam protezlerde bruksizmin teknik komplikasyonlar için potansiyel bir risk faktörü olduğu ve protetik materyal chippingi açısından artmış risk ile ilişkilendirildiği belirtilmiştir. Benzer şekilde, tam ark restorasyonlarda teknik komplikasyonsuz protez oranının zaman içinde belirgin biçimde azaldığı bildirilmektedir. Bu durum, hasta eğitimi ve düzenli kontrol programlarının uzun dönem başarının önemli belirleyicileri olduğunu göstermektedir. (Papaspıridakos ve ark., 2019; Papaspıridakos ve ark., 2020).

Cerrahi ve İmplantla İlişkili Faktörler

Cerrahi ve implantla ilişkili faktörler, osseointegrasyonun kalitesi ve peri-implant dokuların uzun dönem stabilitesi üzerinde doğrudan etkilidir. İmplant yüzey özellikleri, bağlantı tipi, kemik içi konumlanma düzeyi ve yükleme protokolü bu grupta öne çıkan değişkenlerdir. Modern yüzey modifikasyonları ile elde edilen pürüzlü implant yüzeylerinin kemik-implant temasını artırabildiği ve buna paralel olarak erken ve geç dönem implant stabilitesini olumlu etkileyebildiği bildirilmiştir. Nitekim on iki ve on beş yıllık klinik çalışmalarda yüzeyi modifiye edilmiş implantlarla %96'nın üzerinde sağkalım oranları bildirilmesi bu yaklaşımı desteklemektedir (Velasco-Ortega ve ark., 2022; Velasco-Ortega ve ark., 2025).

İmplant-abutment bağlantısının biyomekanik ve biyolojik davranışı da önemlidir. İç konik bağlantıların lateral ve aksiyel kuvvetlere daha dirençli olabileceği, mikroaralığın ve buna bağlı biyolojik risklerin azaltılmasına katkı sağlayabileceği belirtilmiştir. Kilitlenmeli konik bağlantılı implantlarla yapılan retrospektif bir çalışmada beş yıllık komplikasyonsuz oran %83,34 olarak bildirilmiş, buna karşın veneer chipping yine de en sık görülen protetik komplikasyon olarak ortaya çıkmıştır. Bu durum, bağlantı tasarımının tek başına yeterli olmadığını, materyal seçimi ve restorasyon tasarımının da birlikte değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir (Gao ve ark., 2021).

Kemik seviyesinin korunması açısından platform switching uygulaması ile doku seviyesi ve kemik seviyesi implantların uygun endikasyonlarda

seçimi literatürde tartışılan önemli konular arasında yer almaktadır. Platform switching konseptinin erken krestal kemik kaybını azaltma potansiyeline sahip olduğu, ancak yumuşak doku kalınlığı ve estetik gereksinimlerle birlikte düşünülmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle implant tedavisinde cerrahi planlama yalnızca implantın yerleştirilmesi değil, restoratif sonucun öngörülmesi anlamına da gelir (Addy, 2024).

Protetik Planlama ve Bağlantı Tasarımı

Protetik planlama, implant tedavisinin uzun dönem sonuçlarını belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Restorasyonun tek kron, çok üyeli sabit protez veya tam ark protez olarak tasarlanması, vidalı ya da simante olması, restoratif konturların temizlenebilirliği ve oklüzal yüklerin aksiyel yönde aktarılması, implant üstü restorasyonların komplikasyon profilini doğrudan etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Posterior bölgede implant destekli çok üyeli sabit protezlerde farklı protetik tasarımların sağkalım oranlarının benzer olduğu bildirilmekle birlikte, veneered restorasyonlarda özellikle seramik chipping gibi teknik komplikasyonların daha sık görüldüğü rapor edilmiştir (Pjetursson ve ark., 2023).

Restorasyon konturu biyolojik başarı açısından da önemlidir. Beş ile on yıllık takipli zirkonya kısmi sabit restorasyonların değerlendirildiği bir çalışmada, aşırı konturlu çıkış profili implant kaybı ve biyolojik komplikasyonlar için anlamlı risk faktörü olarak saptanmıştır. Bu nedenle protetik tasarım yalnızca estetik profil oluşturmak amacıyla değil, aynı zamanda peri-implant dokuların temizlenebilirliğini ve biyolojik stabilitesini destekleyecek şekilde planlanmalıdır (Zhang ve ark., 2024).

Vida retansiyonlu ve siman retansiyonlu tasarımlar arasındaki seçim de uzun dönem komplikasyon örüntüsünü etkileyebilmektedir. Derleme çalışmaları verileri, tek kron restorasyonlarda vida gevşemesinin sık görülen teknik sorunlardan biri olduğunu, simante restorasyonlarda ise retansiyon kaybının ayrıca dikkate alınması gereken bir komplikasyon olduğunu göstermektedir. Bu nedenle uygun restorasyon tipi, bağlantı geometrisi ve restorasyonun temizlenebilirliği birlikte değerlendirilmelidir (Sailer ve ark., 2022).

Üst Yapı Materyalleri

Üst yapı materyalleri, implant restorasyonlarında hem mekanik performans hem de peri-implant dokuların biyolojik yanıtı bakımından belirleyici rol oynar. Bir sistematik derlemede tek kron metal-seramik

restorasyonların beş yıllık sağkalımının %98,3, zirkonya-seramik restorasyonların ise %97,6 düzeyinde olduğu; buna karşın zirkonya-seramik kronlarda materyal kırığının metal-seramik kronlara göre daha sık görüldüğü bildirilmiştir. Aynı sistematik derlemede biyolojik sonuçların iki grup arasında benzer olduğu, ancak estetik komplikasyonların zirkonya grubunda daha düşük seyrettiği vurgulanmıştır (Pjetursson ve ark., 2018).

Posterior çok üyeli restorasyonlarda da materyal seçimi önemini korumaktadır. Sistematik derleme verilerine göre üç yıllık sağkalım metal destekli seramik restorasyonlarda %98,3, veneered zirkonya restorasyonlarda %97,5, monolitik veya mikro-veneered zirkonya restorasyonlarda %98,9 ve lityum disilikat restorasyonlarda %97,0 düzeyindedir. Ancak veneered restorasyonlarda chipping ve seramik kırığı monolitik tasarımlara kıyasla daha sık görülmektedir. Benzer şekilde seramik implantlar üzerinde tam seramik restorasyonları değerlendiren bir derlemede, monolitik lityum disilikat tek kronlarda beş yıllık sağkalım oranının %100 olduğu ve chipping oranının %2'de kaldığı bildirilmiştir. Buna karşılık veneered zirkonya kronlarda chipping oranı %38'e, veneered zirkonya köprülerde ise %57'ye ulaşmıştır (Spitznagel ve ark., 2022; Pjetursson ve ark., 2023).

Klinik kohort çalışmalar da bu eğilimi desteklemektedir. Zirkonya sabit restorasyonlarda tam veneer kullanılan tasarımların, monolitik ya da kısmi veneerli seçeneklere göre daha fazla chipping oluşturduğu bildirilmiştir. Tam veneerli zirkonya köprülerde beş yıllık chipping insidansının %39'a kadar yükselmesi, materyal seçiminin yalnızca estetik değil, bakım yükü açısından da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Titanyum base abutment üzerinde kullanılan monolitik veya mikro-veneered zirkonya restorasyonlarda ise ortalama 72,35 aylık takipte komplikasyonsuz protez oranı %78,43 bulunmuş; en sık komplikasyon chipping (%5,88), ardından vida gevşemesi (%4,57) ve zirkonya-ti-base ayrılması (%2,61) olarak bildirilmiştir (Rammelsberg ve ark., 2021; Saponaro ve ark., 2023).

Üst yapı materyallerinin marjinal kemik düzeyi ile ilişkisi de göz ardı edilmemelidir. İki implant sistemi ve üç farklı üst yapı materyalinin değerlendirildiği randomize klinik çalışmada, implant sisteminden bağımsız olarak protetik materyalin krestal kemik kaybı üzerinde daha belirgin etki gösterdiği; özellikle baz metal destekli porselen grubunda krestal kemik kaybının diğer materyallere göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu bulgu, materyal seçiminin yalnızca kırılma direnci ve estetik değil, biyolojik doku

yanıtı açısından da yorumlanması gerektiğini ortaya koymaktadır (Türk ve ark., 2013).

Biyolojik Komplikasyonlar

Biyolojik komplikasyonlar marjinal kemik kaybı, peri-implant mukozitis ve peri-implantitis olmak üzere üç ana başlık değerlendirilebilir. Uzun dönem implant çalışmaları, bu komplikasyonların tedavi başarısını sınırlandıran başlıca nedenler arasında yer aldığını göstermektedir. On beş yıllık bir izlemde peri-implantitis oranı %11,8, on iki yıllık izlemde ise %13 olarak bildirilmiştir. Ayrıca uzun dönem zirkonya sabit kısmi restorasyonlarda biyolojik komplikasyon görülme oranı implant düzeyinde %14,86'ya ulaşmıştır. Bu sonuçlar, implantın ağızda kalmasının biyolojik açıdan sorunsuz olduğu anlamına gelmediğini göstermektedir (Velasco-Ortega ve ark., 2022; Velasco-Ortega ve ark., 2025; Zhang ve ark., 2024).

İmplant üstü tam ark implant restorasyonlarda, özellikle düzenli bakımın yetersiz olduğu durumlarda biyolojik komplikasyon riski belirgin hale gelmektedir. Hem üst hem alt çenede tam ark implant destekli sabit protezlerin değerlendirildiği ve ortalama takip süresi 5,1 yıl olan bir çalışmada en sık majör biyolojik komplikasyonun peri-implantitis olduğu bildirilmiştir. 5 yıl içinde implantların %9,5'inde peri-implantitis görülmüştür. Aynı çalışmada biyolojik komplikasyon görülmeyen protez oranı %50,7 olarak bildirilmiştir. Bu bulgular, özellikle tam ark implant restorasyonlarında düzenli profesyonel bakımın ve hastanın oral hijyen uyumunun kritik önem taşıdığını göstermektedir (Papaspnyridakos ve ark., 2019).

Biyolojik komplikasyonların azaltılmasında restorasyon konturları, implant-abutment bağlantı tasarımı ve peri-implant doku yönetimi önemli belirleyiciler arasında yer almaktadır. Aşırı konturlu çıkış profilinin implant kaybı ve biyolojik komplikasyonlar ile ilişkilendirilmesi, restoratif tasarımın yalnızca mekanik değil, biyolojik sonuçları da etkileyebildiğini göstermektedir. Benzer şekilde platform switching ve uygun bağlantı tasarımının erken kemik yeniden şekillenmesini sınırlayabileceği yönündeki bulgular, cerrahi ve protetik planlamanın birbirinden ayrı düşünülemeyeceğini ortaya koymaktadır (Addy, 2024; Zhang ve ark., 2024).

Teknik (Protetik) Komplikasyonlar

Teknik komplikasyonlar, implant üstü restorasyonların uzun dönem bakım yükünü en görünür şekilde belirleyen olaylardır. Vida gevşemesi, seramik chippingi, üst yapı veya abutment kırığı, retansiyon kaybı ve oklüzal

aşınma en sık bildirilen sorunlardır. Geniş kapsamlı bir derlemede, tek implant destekli kronlarda beş yıllık vida gevşemesi oranı %8,8, simante kronlarda retansiyon kaybı %4,1 ve veneering seramik chippingi %3,5 olarak bildirilmiştir. Aynı derleme, veneered zirkonya kronlarda chipping oranının metal-seramik restorasyonlardan daha yüksek olabildiğini vurgulamaktadır (Sailer ve ark., 2022).

Klinik veriler, özellikle veneer seramik restorasyonlarda komplikasyon riskinin arttığını göstermektedir. Tek implant destekli kronlara ilişkin bir sistematik derlemede metal-seramik ve zirkonya-seramik kronlarda chipping oranlarının birbirine yakın olduğu, ancak zirkonya-seramik grupta materyal kırığının daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Posterior çok üyeli restorasyonlara ilişkin bir sistematik derlemede ise veneered restorasyonlarda monolitik restorasyonlara kıyasla daha fazla seramik kırığı ve chipping görüldüğü bildirilmiştir. Seramik implantlar üzerinde kullanılan veneerli zirkonya köprülerde beş yıllık chipping oranının %57'ye kadar ulaşabildiği bildirilmiştir. Bu bulgu, chipping riskinin materyal özellikleri ile restorasyon tasarımının etkileşiminden etkilenebileceğini düşündürmektedir (Pjetursson ve ark., 2018; Spitznagel ve ark., 2022; Pjetursson ve ark., 2023).

Retrospektif kohort verileri, teknik komplikasyonların zaman içinde ortaya çıkabildiğini doğrulamaktadır. Kilitlenmeli konik bağlantılı implant restorasyonlarında veneer seramik chippingi en sık gözlenen protetik sorun olarak tanımlanmış; zirkonya destekli sabit protezlerde teknik komplikasyon oranı %29,81 bulunmuş; tam ark sabit protezlerde ise en sık minör teknik sorun protetik materyal aşınması olarak bildirilmiştir. Takip süresi ortalama 5,2 yıl olan bir çalışmada protez sağkalımı %91,6 olarak bulunmasına rağmen, protetik materyal aşınmasının tahmini beş yıllık oranı %49,0 olarak bildirilmiştir. Bu bulgular, uzun dönem başarı değerlendirmesinde sağkalım oranlarının tek başına yeterli olmadığını göstermektedir (Gao ve ark., 2021; Papaspyridakos ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2024).

Bu nedenle teknik komplikasyonların azaltılması için monolitik veya sınırlı veneer tasarımların seçilmesi, oklüzal yüklerin dengelenmesi, düzenli bakım protokollerinin uygulanması ve gerektiğinde koruyucu gece plağı kullanılması önerilebilir. Klinik karar verme sürecinde yalnızca ilk yerleştirme başarısı değil, restorasyonun yıllar içindeki bakım gereksinimi de dikkate alınmalıdır. Tablo 2'de seçilmiş çalışmalardan elde edilen uzun dönem komplikasyon oranları özetlenmiştir (Rammelsberg ve ark., 2021; Saponaro ve ark., 2023).

Tablo 2. Seçilmiş çalışmalarda bildirilen implant üstü protez komplikasyon oranları

Çalışma	Restorasyon tipi	İzlem	Başlıca bulgu / oran
Pjetursson ve ark., 2018	Tek implant kron	5 yıl	Metal-seramik sağkalım %98,3; zirkonya-seramik %97,6; chipping %2,9 ve %2,8
Spitznagel ve ark., 2022	Tam seramik restorasyon	5 yıl	Monolitik lityum disilikat chipping %2; veneered zirkonya kron %38; veneered köprü %57
Gao ve ark., 2021	Tek kron / köprü	5 yıl	Komplikasyonsuz oran %83,34; en sık komplikasyon veneer chipping
Papaspyridakos ve ark., 2019	Alt/üst tam ark sabit protez	5,1 yıl	İmplant sağkalımı %99,2; protez sağkalımı %92,1; peri-implantitis %9,5
Papaspyridakos ve ark., 2020	Sabit tam protez	5,2 yıl	Protez sağkalımı %91,6; protetik materyal aşınması için tahmini 5 yıllık oran %49,0
Saponaro ve ark., 2023	Monolitik/ mikro-veneered zirkonya	72,35 ay	Komplikasyonsuz protez oranı %78,43; chipping %5,88; vida gevşemesi %4,57
Zhang ve ark., 2024	Vidalı zirkonya kısmi protez	82,4 ay	Biyolojik komplikasyon %14,86; teknik komplikasyon %29,81; tam veneer daha fazla chipping

SONUÇ

İmplant destekli restoratif tedavilerde uzun dönem klinik başarı, yalnızca implantın osseointegrasyonunu sürdürmesine indirgenemeyecek kadar çok boyutlu bir kavramdır. Güncel literatür, yüksek implant ve protez sağkalım oranlarının mümkün olduğunu; ancak bu sonucun uygun hasta seçimi, biyolojik ilkelere uygun olarak cerrahi yerleştirme, temizlenebilir protetik tasarım, uygun üst yapı materyali seçimi ve düzenli bakım ile sürdürülebileceğini göstermektedir.

Özellikle veneer seramik restorasyonlarda chipping ve materyal kırığı gibi teknik komplikasyonların daha sık görülebildiği bildirilmektedir. Bu nedenle, monolitik ya da sınırlı veneer restorasyonların teknik açıdan daha öngörülebilir bir performans sunabildiği belirtilmektedir. Ayrıca materyal seçiminin marjinal kemik seviyeleri ve peri-implant biyolojik yanıt ile ilişkili

olabileceğinin gösterilmesi, üst yapı materyallerinin yalnızca estetik ve dayanıklılık açısından değil, biyolojik etkileri bakımından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak implant destekli restorasyonlarda uzun dönem klinik başarı, hasta, implant, bağlantı, tasarım ve materyal faktörlerinin birlikte ve dengeli bir şekilde değerlendirilmesine bağlıdır. Bu bütüncül yaklaşım benimsendiğinde implant tedavisi, uzun dönem işlev ve hasta memnuniyeti sağlayan etkili bir tedavi seçeneği olarak önemini korumaktadır.

KAYNAKLAR

- Addy, L. D. (2024). An introduction to dental implants. *British Dental Journal*, 236(10), 753–757.
- Gao, W., Geng, W., & Luo, C. (2021). Prosthetic complications of fixed dental prostheses supported by locking-taper implants: A retrospective study with a mean follow-up of 5 years. *BMC Oral Health*, 21, 476.
- Kupka, J. R., König, J., Al-Nawas, B., Sagheb, K., & Schiegnitz, E. (2024). How far can we go? A 20-year meta-analysis of dental implant survival rates. *Clinical Oral Investigations*, 28, 541.
- Papaspyridakos, P., Bordin, T. B., Kim, Y.-J., El-Rafie, K., Pagni, S. E., Natto, Z. S., Teixeira, E. R., Chochlidakis, K., & Weber, H.-P. (2020). Technical complications and prosthesis survival rates with implant-supported fixed complete dental prostheses: A retrospective study with 1- to 12-year follow-up. *Journal of Prosthodontics*, 29, 3–11.
- Papaspyridakos, P., Bordin, T. B., Natto, Z. S., Kim, Y.-J., El-Rafie, K., Tsigarida, A., Chochlidakis, K., & Weber, H.-P. (2019). Double full-arch fixed implant-supported prostheses: Outcomes and complications after a mean follow-up of 5 years. *Journal of Prosthodontics*, 28, 387–397.
- Pjetursson, B. E., Valente, N. A., Strasding, M., Zwahlen, M., Liu, S., & Sailer, I. (2018). A systematic review of the survival and complication rates of zirconia-ceramic and metal-ceramic single crowns. *Clinical Oral Implants Research*, 29(Suppl. 16), 199–214.
- Pjetursson, B. E., Sailer, I., Merino-Higuera, E., Spies, B. C., Burkhardt, F., & Karasan, D. (2023). Systematic review evaluating the influence of the prosthetic material and prosthetic design on the clinical outcomes of implant-supported multi-unit fixed dental prosthesis in the posterior area. *Clinical Oral Implants Research*, 34(Suppl. 26), 86–103.
- Rammelsberg, P., Meyer, A., Lorenzo-Bermejo, J., Kappel, S., & Zenthöfer, A. (2021). Long-term chipping and failure rates of implant-supported

- and combined tooth-implant-supported metal-ceramic and ceramic fixed dental prostheses: A cohort study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 126, 196–203.
- Sailer, I., Karasan, D., Todorovic, A., Ligoutsikou, M., & Pjetursson, B. E. (2022). Prosthetic failures in dental implant therapy. *Periodontology* 2000, 88, 130–144.
- Saponaro, P. C., Karasan, D., Donmez, M. B., Johnston, W. M., & Yilmaz, B. (2023). Prosthetic complications with monolithic or micro-veneered implant-supported zirconia single-unit, multiple-unit, and complete-arch prostheses on titanium base abutments: A single center retrospective study with mean follow-up period of 72.35 months. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 25, 99–106.
- Spitznagel, F. A., Balmer, M., Wiedemeier, D. B., Jung, R. E., & Gierthmuehlen, P. C. (2022). Clinical outcomes of all-ceramic single crowns and fixed dental prostheses supported by ceramic implants: A systematic review and meta-analyses. *Clinical Oral Implants Research*, 33, 1–20.
- Türk, A. G., Ulusoy, M., Toksavul, S., Güneri, P., & Koca, H. (2013). Marginal bone loss of two implant systems with three different superstructure materials: A randomised clinical trial. *Journal of Oral Rehabilitation*, 40, 457–463.
- Velasco-Ortega, E., Jiménez-Martin, I. del R., Moreno-Muñoz, J., Núñez-Márquez, E., Rondón-Romero, J. L., Cabanillas-Balsera, D., Jiménez-Guerra, Á., Ortiz-García, I., López-López, J., & Monsalve-Guil, L. (2022). Long-term treatment outcomes of implant prostheses in partially and totally edentulous patients. *Materials*, 15, 4910.
- Velasco-Ortega, E., Pato-Mourelo, J., López-López, B., Monsalve-Guil, L., Moreno-Muñoz, J., López-López, J., Núñez-Márquez, E., Matos Garrido, N., Rondón-Romero, J. L., Jiménez-Guerra, Á., & Ortiz-García, I. (2025). Long-term clinical study on sandblasted-acid-etched surface dental implants: 12-year follow-up. *Materials*, 18, 183.
- Zhang, Y., Luo, J., Di, P., Chen, B., Li, J., Yu, Z., & Lin, Y. (2024). Screw-retained ceramic-veneered/monolithic zirconia partial implant-supported fixed dental prostheses: A 5 to 10-year retrospective study on survival and complications. *Journal of Prosthodontics*, 33, 221–230.

ENDODONTİDE MULTİSONİK AKTİVASYON SİSTEMLERİ: GENTLEWAVE TEKNOLOJİSİ

Muhammed Emir PEZİK

- ❖ Kurum Bilgisi: Endodonti, Diş Hekimliği Fakültesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0000-4386-558X
- ❖ Mail: emir.pezik@erzincan.edu.tr

Damla GÜR ÇETİN

- ❖ Kurum Bilgisi: Endodonti, Diş Hekimliği Fakültesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0003-5607-6012
- ❖ Mail: damla.cetin@erzincan.edu.tr

1.GİRİŞ

Başarılı bir endodontik tedavinin temel amacı; mikrobiyal kontrolü sağlamak, mevcut enfekte dokuları ortadan kaldırmak ve periapikal dokuların iyileşmesini desteklemektir. Bu amaçla; enfekte pulpa dokusunun ve kök kanal sisteminde bulunan çeşitli mikroorganizmaların uzaklaştırılarak dezenfeksiyonunun sağlanması gerekmektedir (Ng ve ark., 2011).

Kök kanal sisteminin üç boyutlu ve karmaşık anatomik yapı (lateral kanallar, isthmus, apikal delta, anastomozlar, dentin tübülleri gibi) içermesi nedeniyle, mekanik preparasyon tek başına yeterli dezenfeksiyonu sağlayamamaktadır. Bu durum, etkin mikrobiyal eliminasyonun sağlanabilmesi için irrigasyonun endodontik tedavinin vazgeçilmez bir bileşeni olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı zamanda irrigasyon sistemlerinin etkinliğini artırmak ve endodontik tedavinin başarı oranlarını yükseltmek için aktivasyon sistemleri geliştirilmiştir.

Konvansiyonel iğne irrigasyonu ve manuel dinamik aktivasyon gibi klasik metotlar yaygın olarak kullanılmasına rağmen kompleks kök kanal anatomisine sahip dişlerde mikroorganizmalar ve biyofilm tabakası tamamen uzaklaştırılamamaktadır (Ahmad ve ark., 2019; Choi ve ark., 2019a). Bu bağlamda, irrigasyon etkinliğini artırmak ve kök kanal sisteminin anatomik karmaşıklığını daha etkili şekilde yönetebilmek amacıyla çeşitli güncel aktivasyon teknikleri geliştirilmiştir. Bunlar arasında sonik ve ultrasonik aktivasyon, negatif basınç irrigasyonu, lazer destekli sistemler ve daha yakın dönemde geliştirilen multisonik irrigasyon sistemleri yer almaktadır (Urban ve ark., 2017; Coaguila-Llerena ve ark., 2022). Multisonik aktivasyon sistemlerinde yer alan GentleWave irrigasyon sistemi (GW) (Sonendo, Laguna Hills, Kaliforniya, ABD) ise multisonik enerji ve gelişmiş akış dinamikleri ile irrigasyon etkinliğini optimize etmeyi hedefleyen yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Molina ve ark., 2023).

2.GentleWave Teknolojisinin Temelleri

GW aktivasyon sistemi 2014 yılında ortaya çıkmış, modern endodontide kök kanal sisteminin temizliği ve dezenfeksiyonunu amaçlayan multisonik bir irrigasyon teknolojisidir. Bu teknoloji ile genel olarak geleneksel irrigasyon protokollerinin ulaşmakta zorlandığı lateral kanallar, isthmuslar, derin dentin tübülleri gibi karmaşık anatomik yapıların; multisonik akustik enerjiyle optimize edilmiş akışkan dinamiği sayesinde temizliği hedeflenmektedir (de Araújo ve ark., 2025). Ayrıca üreticisine göre GW

sistemi geleneksel preparasyon ile dişin direncinin azaltılmasına sebep olmadan; minimal preparasyonla çalışan bir sistemdir. Bu sayede kökün kırılma riskinin ve kök kanal şekillendirmesi sırasında yaşanabilecek komplikasyonların azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak minimal preparasyonun kök kırılma riskini azalttığı yönünde henüz bir fikir birliğine varılamamıştır (Coaguila-Llerena ve ark., 2022). Sistem, irrigasyon solüsyonlarını kanal ağızlarından geçirirken türbülans ve mikro kabarcıklar oluşturmaktadır. Bu kabarcıklar patladığında akustik şok dalgaları ortaya çıkmakta ve bu dalgalar tüm kanal sistemindeki bakteriyel biyofilm, organik doku ve smear tabakası üzerinde mekanik ve hidrodinamik açıdan etkin bir temizlik sağlamaktadır (Haapasalo ve ark., 2014; Haapasalo ve ark., 2016). Ayrıca sistemin, irrigasyon solüsyonlarının kök kanal duvarları boyunca sürekli yenilenmesini sağlayarak etkinliği artırdığı ve dentin yüzeyinde daha homojen bir temizlik sağladığı bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2019).

3. Cihazın Klinik Kurulumu ve Çalışma Prensipleri

GW sistemi bir konsol, geleneksel irrigasyonda kullanılan şırıngaya benzeyen bir el aleti ve bir atık kabından oluşmaktadır (Coaguila-Llerena ve ark., 2022). Sistemin klinik kullanımı, yalnızca cihazın temin edilmesiyle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda sistemin doğru yerleşimi, steril saha hazırlanması ve uygulanacak protokolün takibi de kritik öneme sahip olmaktadır (Sonendo, 2025a). Cihazın klinik kurulumu, öncelikle sistemin dental ünitenin uygun bir alanına yerleştirilmesini ve ağı güvenli bağlantısını gerektirmektedir. Konsola entegre edilen kontrol yazılımı, kullanılan irrigasyon solüsyonlarının konsantrasyonlarını duruma göre ayarlamaya olanak sağlamaktadır (Sonendo, 2025b). Cihazın arayüzü bir dokunmatik ekran üzerinden kontrol edilmektedir. Burada prosedür öncesi irrigant tipinin, konsantrasyonunun ve akış parametrelerinin girişi yapılmaktadır.

Klinik protokol konservatif bir giriş kavitesi açılması ile başlamaktadır. Ardından açılan giriş kavitesindeki pulpa odasının ağız boşluğuyla bağlantısını önlemek için sızdırmaz hale getirilmesi gerekmektedir. Bunun için genellikle akışkan kompozit kullanılarak bir oklüzal platform inşa edilmektedir. Böylece çalışılan irrigasyon solüsyonunun çalışma alanından uzaklaşması önlenmekte ve GW enstrümanının dişe sızdırmaz biçimde adaptasyonu sağlanmaktadır. Ayrıca irrigasyon sırasında kapalı sistem basıncı da korunmuş olmaktadır. İzolasyonu sağlanan giriş kavitesindeki kanalların aşırı genişletilmesine gerek kalmadan apikal bölgeye ulaşacak minimal bir

şekillendirme yapılmaktadır. Bu şekillendirmede genellikle #15.04 boyutunda ucu olan S1 ProTaper eğe, F1 ProTaper eğe veya #20.04 ve #20.06 gibi küçük eğeler kullanılmaktadır (Coaguila-Llerena ve ark., 2022). Yapılan başka bir çalışmaya göre ise şekillendirmenin ISO 15 boyutunun ötesine geçmesine gerek olmadığı ve böylece diş yapısının korunduğu bildirilmiştir (Lazzarotto ve ark., 2025). Minimal şekillendirme yapıldıktan sonra el aletinin ucu kanal ağzlarına girmemesi için pulpa odası tabanının 1 mm üzerinde konumlandırılmalıdır (Coaguila-Llerena ve ark., 2022). Ardından oklüzal yüzeye yerleştirilen GW enstrümanı bir bilgisayar konsoluna bağlanmakta; bu konsol üzerinden irrigasyon solüsyonlarının kontrolü ve aktivasyonları sağlanmaktadır. Enstrüman pulpa odasının içindeki durağan irrigasyon solüsyonu ile etkileşime girerek akışını değiştirmekte ve hidrodinamik kaviteye neden olan bir kesme kuvveti ile mikro kabarcıklar oluşturmaktadır. (Lazzarotto ve ark., 2025). İrrigasyon solüsyonu dişe bağlı enstrümandan 45 mL/dk hızında uygulanırken (Haapasalo ve ark., 2016) eş zamanlı olarak fazla solüsyon 5 noktalı havalandırmalı emme sistemi ile kök kanal sisteminden uzaklaştırılmaktadır (Charara ve ark., 2016; Coaguila-Llerena ve ark., 2022). GW sistemi, irrigasyon solüsyonlarını cihaz tarafından yüksek frekanslı akustik enerji ile yönlendirmektedir. Bu enerji, akustik şok dalgaları ve hidrodinamik akış oluşturarak kanal içerisindeki biyofilmlerin, organik kalıntıların ve smear tabakasının uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Klinik protokol genellikle 8–10 dakikalık bir işlem süresini kapsamaktadır. Bu süre içinde sistem, sodyum hipoklorit (NaOCl) ve etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) gibi irrigasyon solüsyonlarını belirlenen sırayla kök kanal sistemine uygulamaktadır. Bu irrigantlar, işlemten sonra kontrollü şekilde vakumlanarak uzaklaştırılmaktadır. Prosedür tamamlandığında enstrüman çıkartılmakta ve kanal sistemleri kuru hale getirilmektedir. Ardından kanal obtürasyonu ve restoratif işlemler yapılabilmektedir (de Araújo ve ark., 2025).

4.GentleWave Teknolojisinin Diğer İrrigasyon Protokolleri ile Karşılaştırmaları

Ordinola-Zapata ve ark.nın yaptığı çalışmada 12 adet alt molar diş 30 gauge kapalı uçlu iğne, 30 gauge açık uçlu iğne ve GW ile irrigasyona tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonuçlarında GW sisteminin negatif basınç oluşturduğu bildirilmiştir (Ordinola-Zapata ve ark., 2021). Ayrıca Haapasalo ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, 4 adet çekilmiş üst molar diş farklı kanal şekillendirme protokolleri altında incelenmiştir. Dişler; şekillendirme yapılmadan, minimal şekillendirme uygulanarak (#15/.04

boyutuna kadar) ve geleneksel şekillendirme yapılarak (#40/.04 boyutuna kadar) irrigasyona tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda GW sisteminin kök kanal temizliği sırasında, kanal şekillendirme boyutundan bağımsız olarak apikal foramende negatif basınç oluşturduğu ve irrigasyon sırasında apikal ekstrüzyonun olmadığı doğrulanmıştır. (Haapasalo ve ark., 2015).

GW sisteminin doku çözme yeteneği üzerinde araştırma yapan Haapasalo ve ark.; sığır kas dokusunu farklı cihazlarda 5 dk irrigasyona maruz bıraktıktan sonra doku çözünme hızlarını hesapladığında GW sisteminin, ultrasonik cihazlara ve geleneksel irrigasyona göre sırasıyla sekiz ve on kat daha hızlı doku çözünmesi sağladığını bildirmiştir (Haapasalo ve ark., 2016).

Grigsby ve ark.nın yaptığı çalışmada, GW sistemi ile irrigasyon solüsyonlarının kullanımından sonra ağrının sıklığı veya yoğunluğunda geleneksel irrigasyona kıyasla anlamlı bir fark olmadığı gösterilmiştir (Grigsby ve ark., 2020).

Kök kanal sisteminde irrigasyon yöntemlerinin biyofilm uzaklaştırma etkinliğini inceleyen Zhang ve ark. tarafından yapılan çalışmada, GW sistemi ile ProUltra PiezoFlow Aktif Ultrasonik Sistem (Dentsply Tulsa, Tulsa, Oklahoma, ABD) karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları, GW sisteminin ultrasonik sisteme kıyasla daha istikrarlı bir temizlik sağladığını ve hem toplam mikrobiyal DNA düzeyinde hem de *Enterococcus faecalis* ve *Streptococcus* türlerinin DNA miktarlarında anlamlı derecede daha yüksek bir azalma oluşturduğunu göstermiştir (Zhang ve ark., 2019). Çekimi yeni yapılmış 47 adet alt ve üst molar dişe pasif ultrasonik aktivasyon ve GW sistemini uygulayan Choi ve ark. da GW sistemi uygulanan dişlerde *Enterococcus faecalis* biyofilm miktarının anlamlı miktarda daha az olduğunu tespit etmiştir (Choi ve ark., 2019b).

Park ve ark. tarafından yapılan çalışmada, çekilmiş 23 adet alt molar diş pasif ultrasonik aktivasyon ve GW sistemine maruz bırakılmıştır. Kök kanal sistemindeki *Eubacterium* ve *Prevotella* miktarları karşılaştırıldığında, GW sistemi uygulanan dişlerde bakteriyel azalma daha belirgin olarak görülmüştür (Park ve ark., 2024).

GW sisteminin kalsifikasyonları giderme yeteneğini araştıran Chen ve ark. distal kanalları kalsifiye 15 adet alt molar dişi mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) görüntüleri kullanılarak değerlendirmiştir. GW sistemi uygulanan kanalların ortalama toplam hacmi 5,11 m³'ten 5,50 m³'e yükseldiği ve kalsifikasyonların %86,4'ü azaldığı bildirilmiştir. Hatta daha önce kök kanal aleti kullanılmamış bile olsa GW sisteminin kalsifikasyonları tamamen

veya kısmen ortadan kaldıracılabileceği görüşü ortaya atılmıştır (Chen ve ark., 2020).

Kök kanal sisteminden kalsiyum hidroksitin ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) uzaklaştırılmasını araştıran Ma ve ark.; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile doldurulmuş 30 adet alt molar dişte geleneksel irrigasyon, pasif ultrasonik aktivasyon ve GW sistemini karşılaştırmıştır. Sonuçlarda GW sisteminin kanallarda herhangi bir alet kullanılmadan bile anlamlı derecede daha fazla $\text{Ca}(\text{OH})_2$ uzaklaştırdığı görülmüştür (Ma ve ark., 2015).

GW ve pasif ultrasonik aktivasyonda NaOCl'nin dentine penetrasyon derinliğini araştıran Vandrangi P.; 15 adet alt molar ve 17 adet üst molar dişi değerlendirmiştir. Araştırmacı GW sisteminin ultrasonik sisteme göre yaklaşık dört kat daha fazla NaOCl penetrasyon derinliği sağladığını göstermiştir (Vandrangi P. 2016)

Enfekte kök kanal sisteminde bulunan *Enterococcus faecalis* virülans faktörlerinden biri olan lipoteikoik asit (LTA) ile *Escherichia coli*nin endotoksini olan lipopolisakkaritin (LPS) irrigasyon yoluyla uzaklaştırılmasını araştıran Velardi ve ark.; GW sistemi ile pasif ultrasonik irrigasyonu karşılaştırmış ve GW sisteminin daha üstün olduğunu göstermiştir (Velardi ve ark., 2022a, 2022b). Aynı konu üzerinde çalışma yapan Alquria ve ark.; 70 adet alt premolar dişi çeşitli çalışma gruplarına ayırarak GW sistemi, pasif ultrasonik aktivasyon ve XP-Endo Finisher ile tedavi uygulamış; GW sisteminin bu yöntemler arasında en etkili dezenfeksiyon protokolü olduğunu bildirmiştir (Alquria ve ark., 2023).

Dash ve ark. tarafından yapılan çalışmada, 75 adet üst ikinci premolar diş farklı kontrol gruplarına ayrılarak Erbiyum:ittriyum-alüminyum-garnet lazeri (Er:YAG lazer), GW sistemi ve fotodinamik terapiye (PDT) maruz bırakılmış; elde edilen sonuçlar taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarında, GW sisteminin Er:YAG lazere kıyasla debris ve smear tabakasını uzaklaştırmada anlamlı derecede daha düşük etkinlik göstermesine rağmen, PDT'ye göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Dash ve ark., 2020).

Minimal invaziv enstrümantasyon sonrasında nekrotik kök kanallarında geleneksel ve gelişmiş irrigasyon tekniklerinin etkinliğini histolojik analiz ile değerlendirmeyi amaçlayan Gündoğar ve ark., 70 adet çekilmiş nekrotik alt premolar dişi #20.04 genişliğine kadar hazırlamıştır. Daha sonra dişler farklı çalışma gruplarına ayrılarak pasif ultrasonik aktivasyon, Er:YAG lazer (SWEEPS), Er,Cr:YSGG lazer (Waterlase iPlus) ve GW sistemine maruz

bırakılmıştır. Çalışma sonuçları GW sisteminin; Er,Cr:YSGG lazer ve pasif ultrasonik aktivasyona kıyasla nekrotik doku ve sert doku debrisinin uzaklaştırılmasında daha üstün olduğunu, ancak etkinliğinin SWEEPS tekniği ile benzer düzeyde olduğunu göstermiştir (Gündoğar ve ark., 2025).

5.GentleWave Teknolojisinin Limitasyonları

GW sistemi giriş kavitesi hazırlanmış bir dişin oklüzal yüzeyine yerleştirilmiş bir enstrüman ile çalışmaktadır. Bu durum, sistemin oklüzal pozisyona ulaşmasını gerektirmekte; bu da ağız açma yeteneği kısıtlı hastalarda cihazı yerleştirme sorunları ile karşılaşılmasına sebep olmaktadır (Lazzarotto ve ark., 2025). Bir diğer limitasyon ise maliyettir. GW sisteminin 85.000 ABD dolarına kadar ulaşan bir maliyete sahip olduğunu belirtmek önemlidir (Coaguila-Llerena ve ark., 2022). Bu özellikle klinik çalışmaların ve verilerin halen yetersiz sayıda olmasının başlıca nedenidir. Dikkate alınması gereken bir diğer önemli husus ise GW hakkındaki çalışmaların çoğunun in vitro olması ve halen yeteri kadar sayıda çalışmanın olmamasıdır. Dolayısıyla, GW sisteminin diğer irrigasyon yöntemlerine göre kullanımını haklı çıkarmak için özellikle daha fazla klinik araştırmaya ihtiyaç vardır (Coaguila-Llerena ve ark., 2022).

6. SONUÇ

Başarılı bir endodontik tedavinin temel taşı olan kök kanal sisteminin dezenfeksiyonu; sistemdeki karmaşık anatomik varyasyonlar nedeniyle günümüzde halen zorlu bir klinik aşama olmaktadır. Geleneksel irrigasyon tekniklerinin bu kompleks alanlardaki limitasyonları, minimal invaziv yaklaşımları destekleyen yenilikçi aktivasyon sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda multisonik akustik enerji ve hidrodinamik teori prensipleriyle çalışan GW sistemi; kök kanal preparasyonunu minimal düzeyde tutarak diş bütünlüğünü korumayı amaçlayan umut verici bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Mevcut in vitro ve histolojik çalışmalar; GW sisteminin, geleneksel irrigasyon protokolleri ve pasif ultrasonik aktivasyon gibi yöntemlere kıyasla doku çözme hızı, mikrobiyal biyofilm eliminasyonu, smear tabakası ile kalsifikasyonların uzaklaştırılması ve irrigant penetrasyonunun artırılmasında klinik olarak anlamlı düzeyde etkinlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca apikal foramenden irrigasyon solüsyonlarının ekstrüzyon riskini azaltan negatif basınç mekanizması, sistemin güvenilirliğini gösteren kritik bir özelliğidir. Bununla birlikte, sistemin yüksek maliyeti ve ağız açıklığı kısıtlı hastalardaki yerleştirilme

zorlukları cihazın rutin olarak klinik kullanımında engeller oluşturmaktadır. Sonuç olarak; geleneksel irrigasyon tekniklerine göre GW sistemi birçok alanda daha üstün özelliklere sahip olsa da standart bir tedavi prosedürü olarak kabul görmesi için ulaşılabilirliğinin artırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Alquria, T. A., Alfirdous, R. A., Gupta, S., Santamaria, M. P., Santamaria, I. F., Gomes, A. P. M., et al. (2023). Comparison of conventional and contemporary root canal disinfection protocols against bacteria, lipoteichoic acid (LTA), and lipopolysaccharide (LPS). *Scientific Reports*, 13, 1206.
- Ahmad, M., Roy, R. A., Kamarudin, A. G., & Safavi, K. E. (2019). Effectiveness of the GentleWave system in root canal disinfection: A systematic review. *International Endodontic Journal*, 52(12), 1723–1735.
- Charara, K., Friedman, S., Sherman, A., Kishen, A., Malkhassian, G., Khakpour, M., & Basrani, B. (2016). Assessment of apical extrusion during root canal irrigation with the novel GentleWave system in a simulated apical environment. *Journal of Endodontics*, 42(1), 135–139.
- Chen, B., Szabo, D., Shen, Y., Zhang, D., Li, X., Ma, J., & Haapasalo, M. (2020). Removal of calcifications from distal canals of mandibular molars by a non-instrumentational cleaning system: A micro-CT study. *Australian Endodontic Journal*, 46(1), 11–16.
- Choi, H. W., Kim, H. C., & Shin, S. J. (2019). Biofilm removal efficacy of the GentleWave system. *Materials*, 12(21), 3492. A
- Choi, H. W., Park, S. Y., Kang, M. K., & Shon, W. J. (2019). Comparative analysis of biofilm removal efficacy by multisonic ultracleaning system and passive ultrasonic activation. *Materials*, 12(21), 3492. B
- Coaguila-Llerena, H., Gaeta, E., & Faria, G. (2022). Outcomes of the GentleWave system on root canal treatment: A narrative review. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 47(1), e11.
- Coaguila-Llerena, H., Ordinola-Zapata, R., Staley, C., Dietz, M., Chen, R., & Faria, G. (2022). Multispecies biofilm removal by a multisonic irrigation system in mandibular molars. *International Endodontic Journal*, 55(11), 1252–1261.
- Dash, S., Ismail, P. M., Singh, J., Agwan, M. A., Ravikumar, K., & Annadurai, T. (2020). Assessment of effectiveness of erbium:yttrium–aluminum–garnet laser, GentleWave irradiation, photodynamic therapy, and sodium hypochlorite in smear layer removal. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 21(11), 1266–1269.

- de Araújo, L. P., de Araújo, B. C. C., Immich, F., das Neves Cavalcanti, B., & McDonald, N. J. (2025). Clinical and laboratory insights into the GentleWave system: a scoping review. *Journal of Endodontics*.
- Gündoğar, M., Özdemir, O., Gündoğar, Ö., Bektaş, S., Demir, F. N., & Bolat, N. (2025). Multisonic ultracleaning and laser-activated irrigation effect compared to passive ultrasonic activation for debridement in minimally invasive instrumentation of necrotic oval root canals: An ex vivo histological analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 14, 2597.
- Grigsby, D. J., Jr., Ordinola-Zapata, R., McClanahan, S. B., & Fok, A. (2020). Postoperative pain after treatment using the GentleWave system: A randomized controlled trial. *Journal of Endodontics*, 46(8), 1017–1022.
- Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., & Gao, Y. (2014). Irrigation in endodontics. *British Dental Journal*, 216(6), 299–303.
- Haapasalo, M., Wang, Z., Shen, Y., Curtis, A., Patel, P., & Khakpour, M. (2016). Tissue dissolution by a novel multisonic ultracleaning system and sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 42(3), 467–472.
- Lazzarotto, D. J., Prado, M. C., Dotto, L., & Sarkis-Onofre, R. (2025). Use of the GentleWave system in endodontics: Scoping review. *Brazilian Journal of Oral Sciences*, 24, e254250.
- Ma, J., Shen, Y., Yang, Y., Gao, Y., Wan, P., Gan, Y., Patel, P., Curtis, A., Khakpour, M., & Haapasalo, M. (2015). In vitro study of calcium hydroxide removal from mandibular molar root canals. *Journal of Endodontics*, 41(4), 553–558.
- Molina, B., Glickman, G. N., Vandrangi, P., & Watanabe, I. (2023). Clinical and laboratory insights into the GentleWave system: A scoping review. *Journal of Endodontics*, 49(3), 289–300.
- Ng, Y.-L., Mann, V., & Gulabivala, K. (2011). Factors that affect the outcomes of root canal treatment and retreatment: A reframing of the principles. *International Endodontic Journal*, 44(7), 593–609.
- Orozco-Gallego, M. J., Pineda-Vélez, E. L., & Rojas-Gutiérrez, W. J., et al. (2025). Effectiveness of irrigation protocols in endodontic therapy: An umbrella review. *Dentistry Journal*, 13(6), 273.
- Ordinola-Zapata, R., Crepps, J. T., Arias, A., & Lin, F. (2021). In vitro apical pressure created by 2 irrigation needles and a multisonic system in mandibular molars. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46(1), e14.
- Ordinola-Zapata, R., Mansour, D., Saavedra, F., Staley, C., Chen, R., & Fok, A. S. (2022). In vitro efficacy of a non-instrumentation technique to remove intracanal multispecies biofilm. *International Endodontic Journal*, 55, 495–504.

- Park, K. H., Ordinola-Zapata, R., Noblett, W. C., Lima, B. P., & Staley, C. (2024). The effect of ultrasonic and multisonic irrigation on root canal microbial communities: An ex vivo study. *International Endodontic Journal*, 57(6), 895–906.
- Sonendo, Inc. (2025a). The GentleWave® System [Company brochure]. Retrieved from [URL] A
- Sonendo, Inc. (2025b). Sonendo Launches ProControl™ for the GentleWave® G4 System [Press release]. B
- Urban, K., Donnermeyer, D., Schäfer, E., & Bürklein, S. (2017). Contemporary irrigant activation techniques in endodontics: A comprehensive review. *Clinical Oral Investigations*, 21(2), 431–438.
- Vandrangi, P. (2016). Evaluating penetration depth of treatment fluids into dentinal tubules using the GentleWave® System. *Dentistry*, 6(3), 366.
- Vandrangi, P., Basrani, B., & Haapasalo, M. (2015). Multisonic ultracleaning in endodontics: A review. *Journal of Endodontics*, 41(8), 1239–1245.
- Velardi, J. P., Alquria, T. A., Alfirdous, R. A., Corazza, B. J. M., Gomes, A. P. M., Silva, E. G., et al. (2022). Comparison of GentleWave system and passive ultrasonic irrigation with minimally invasive and conventional instrumentation against LPS in infected root canals. *Scientific Reports*, 12, 4894. A
- Velardi, J. P., Alquria, T. A., Alfirdous, R. A., Griffin, I. L., Tordik, P. A., & Martinho, F. C. (2022). Efficacy of GentleWave system and passive ultrasonic irrigation with minimally invasive and conventional instrumentation technique against *Enterococcus faecalis* lipoteichoic acid in infected root canals. *Journal of Endodontics*, 48, 768–774. B
- Zhang, D., Shen, Y., de la Fuente-Núñez, C., & Haapasalo, M. (2019). In vitro evaluation of the effectiveness of a multisonic irrigation system on multispecies biofilms. *Clinical Oral Investigations*, 23(2), 913–920.

ENDODONTİDE MİNİMAL İNVAZİV YAKLAŞIMLAR VE GÜNCEL BİYOLOJİK PERSPEKTİFLER

Nevzat KOÇ

- ❖ Kurum Bilgisi: Endodonti Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0001-8482-7387
- ❖ Mail: nevokoc2@gmail.com

GİRİŞ

Başarılı kök kanal tedavisi, dişin ağızda uzun bir süre boyunca işlev görme ihtimalini artırır (Taneja, 2021). Kanal tedavisi yapılan dişin başarısı, kök kanal dolgusunun kalitesi ve kök kanal tedavisinden sonra dişin yapısal bütünlüğü gibi faktörlerden etkilenir (Mathew & Rajan, 2014). Bundan dolayı kanal tedavisinde konservatif yaklaşımlar her geçen gün önem kazanmaktadır. Bu konservatif yaklaşımlar birçok yeni teknoloji ve süreç sayesinde uygulanabilir hale gelmektedir (Chethan et al., 2021).

Minimal invaziv kavramı, dokuların yapısal bütünlüğünü koruyarak hastalara verilen zararı en aza indirmeyi ve bağışıklık sisteminin hastalıklarla mücadele için kendini iyileştirme gücünü en üst düzeye çıkarmayı tanımlar (Murdoch-Kinch & McLEAN, 2003). Minimal invaziv endodonti (MİE), kök kanal tedavisi sırasında diş yapısının maksimum düzeyde korunmasını amaçlamaktadır. Son 15 yılda endodonti alanında hızlı bir ilerleme kaydedilmiş ve tedavi prosedürleri daha güvenli hale gelmiştir (Bürklein & Schäfer, 2015). Apikal periodontitis ve pulpal hastalıkların tedavisi ile mümkün olduğunca fazla sağlıklı dokunun korunması, güvenli, doğru ve zaman kazandıran MİE yönteminin bir parçasıdır (Gluskin et al., 2014). Bu bölümde MİE yaklaşımları ele alınacak ve vital pulpa tedavileri, rejeneratif endodonti, biyoseramik materyaller gibi güncel endodontik perspektifler değerlendirilecektir.

1. Minimal İnvaziv Endodonti

1.1. Yapısal Bütünlüğün Korunması

Dişin yapısal bütünlüğü, restorasyon sonrası işlev görmede prognozu belirleyen önemli bir faktördür. Özellikle endodontide olmak üzere tüm restoratif tedavilerin amacı, yapısal deformasyona direnç gösteren güç ve sertliği korumaktır. Geçmişte kullanılan “korumak için genişletme” prensibi, sağlam diş yapısının uzaklaştırılmasını gerektirdiği için günümüzde yaygın olarak kabul görmemektedir. Restoratif sistemlerde en zayıf halka olan dentinin biyomekanik davranışını anlamak, ona daha fazla zarar vermemek için çok önemlidir (Celikten et al., 2021; Kapetanaki et al., 2021).

Giriş kavitesi ve kök kanal şekillendirmesi sırasında dentin dokusunun olabildiğince korunması son derece önemlidir. Günümüzde benzersiz özellikleri nedeniyle kaybedilen dentin dokusunu telafi edebilen hiçbir yapay madde bulunmamaktadır (E. Silva et al., 2021).

1.2. Dentinin Biyomekanik Davranışı

Endodontik tedavi görmüş dişlerin işlevsel olarak başarısızlığı dişin belirli yük altında maruz kaldığı stres derecesine ve kırılmaya karşı dirençli kalan yapının biyomekanik özelliklerine bağlıdır. Kök kanal tedavisinin teknik unsurları arasında, giriş kavitesi ve post hazırlığı dişi önemli ölçüde güçsüzleştirmeye yol açan unsurlar olarak görünmektedir (Lang et al., 2006).

Biyomekanik, biyolojik yapıların ve işlevlerinin mekanik ilkeler açısından incelenmesiyle ilgilenen mühendisliğin bir dalıdır. Doğal kolajen dayanıklılık sağlarken, dentinin inorganik bileşeni, su bazlı yapısı sayesinde dentinin sertliğine ve yüksek basınç özelliklerine dayanabilir. Pulpa ve dentin tübüllerindeki sıvı, dentin çatlaklarının oluşmasını önlemek için birlikte çalışır (Wolters et al., 2017). Endodontik tedavi, dentin su içeriğinde azalmaya neden olabilir ve bu da dentin dokusunun büzülmesine hatta dişin kırılmasına neden olabilir (Soares et al., 2007).

Yaşla birlikte, fizyolojik ve patolojik süreçlerin sonucu olarak dentin daha kırılğan hale gelir. Bu durum dişlerin mekanik özelliklerinde bir bozulmaya yol açar. Dentin sertliği (mineralizasyon) ile dokunun dayanıklılığı (elastikiyet) arasında uygun bir denge olmalıdır (Wolters et al., 2017). Periservikal dentin ve tedavi edilen dişlerin yapısal bütünlüğü, tek bir dişin kök kanal tedavisinin uzun vadeli başarısını belirlemede önemli faktörlerdir. Sert dokusu korunmuş endodontik tedavili dişler, kırılmaya karşı daha dirençlidir ve özellikle servikal bölgede daha düşük gerilme konsantrasyonlarına sahiptir (M. Y. C. Chan et al., 2022).

1.3. Minimal İnvaziv Giriş Kavitesi

Clark ve Khademi, minimal invaziv giriş kavitelerinin (MİGK) geliştirilmesine öncülük etmişlerdir. MİGK, sağlam diş yapısını korumayı amaçlayan kök kanal sistemine ulaşmak için açılan kavite olarak tanımlanmaktadır. MİGK hazırlığında yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar şunlardır:

- Daraltılmış (contracted) giriş kavitesi
- Ninja (ultra konservatif) giriş kavitesi
- Truss giriş kavitesi (Silva et al., 2020).

MİGK tasarımlarının etkisi çekilmiş dişler üzerinde de test edilmiştir. Krishan ve ark., mikro bilgisayarlı tomografi ve yük-kırılma yaklaşımını birleştirerek yaptığı çalışmada, premolar dişlerinde şekillendirmenin kavite

tasarımından etkilenmediğini ve MİGK tasarımına sahip dişlerde yük-kırılma oranının önemli ölçüde daha yüksek olduğunu bulmuştur (Krishan et al., 2013).

Şekil 1’de üst maksiller premolar diş için farklı giriş kavitesi tasarımları gösterilmiştir (M. Chan et al., 2022)



Şekil 1: Farklı Giriş Kavitesi Tasarımları (M. Chan et al., 2022)

Bu yaklaşımların savunucuları, MİGK'nin aşırı dentin kaybını önleyerek endodontik tedavili dişlerin uzun vadede sağkalımını korumaya yardımcı olacağına ve böylece diş kırılmasına karşı direncini artıracığına inanmaktadır (Clark & Khademi, 2010). MİGK yaklaşımlarının diş kırılmasını önlediği iddiası henüz klinik olarak doğrulanmamış olsa da, MİGK yaklaşımlarının olası dezavantajları konusunda endişeler bulunmaktadır. Örneğin, dar giriş kavitesi tasarımı, pulpa odası ve kanalın görüşünün bozulması, kanal enstrümantasyonu ve dezenfeksiyonunda etkinliğin ve verimliliğin azalması gibi sonraki tedavi prosedürlerinde zorluklar yaratmaktadır (Augusto et al., 2020; Rover et al., 2017).

1.4. Kök Kanallarının Şekillendirilmesi

Kök kanallarını şekillendirmede karmaşık kanal anatomisi en önemli zorluklardan biri olarak düşünülmelidir. Biyomekanik şekillendirmenin ardından tamamlanmış bir kök kanal tedavisi, dolumun iç basınç kuvvetlerine dayanmalı; yumuşatılmış ve sıkıştırılabilir dolgu malzemelerini tutacak yeterli direnç sağlamalı ve çiğneme için yeterli mukavemeti korumalıdır (Gluskin et al., 2014).

Kök kanallarının aşırı şekillendirilmesi nedeniyle endodontik tedaviden kaynaklanan kök dentini çatlağı veya vertikal kök kırığı (VKK) riski bildirilmiştir (Kim et al., 2010; Nishad & Shivamurthy, 2018). Bu tür olumsuz durumları azaltmak için, çeşitli ısıtma işlemleri ve geometrik değişiklikler yoluyla martensit fazda nikel-titanyum (NiTi) eğeler geliştirilmiştir (Zupanc et al., 2018). Isıtma işlemi görmüş eğelerin, geleneksel NiTi alaşımından yapılan eğelere göre daha düşük sertlik ve daha yüksek esneklik özellikleri sayesinde kanal merkezini iyi koruyarak kırılmayı önlemesi ve daha az transportasyona neden olması gibi çeşitli avantajları olduğu bildirilmiştir (Kim et al., 2013; Pedullà et al., 2017).

Perikervikal dentinin (PSD) korunmasının, endodontik tedavili dişlerin uzun vadeli prognozu için önemli olduğu öne sürülmüştür (Gluskin et al., 2014). Yeterli miktardaki PSD'nin, dişte VKK'yi azalttığı ve kök kanal tedavisi sonrası başarıyı arttırdığı bildirilmiştir (L. R. Silva et al., 2021). Bu gelişmelerden sonra minimal invaziv endodontide düşük eğim açılı (taper) NiTi eğelerin kullanımı ve konservatif giriş kavileri popülerlik kazanmıştır (Kang et al., 2025).

TruNatomy sisteminde (Dentsply Sirona, Ballaigues, İsviçre), eğe çapı yaklaşık 1,2 mm'den 0,8 mm'ye düşürülüp PSD'i korumak amaçlanmıştır. TruNatomy eğesi, merkezden uzak bir tasarıma sahip kare kesitli, değişken konikli ve apikalde %4 konikliğe sahiptir (Silva et al., 2022). Minimal invaziv kök kanal şekillendirmeyi amaçlayan bir başka eğe sistemi olan EndoRoad (Maruchi, Wonju, Kore), yüzey işlemi uygulanmış MT telinden üretilmiştir ve yakın zamanda piyasaya sunulmuştur. EndoRoad eğe sistemi, ısıtma işlemi görmüş alaşım (MT tel) kullanılarak esnekliği artırılmış ve üçgen kesit şekline sahiptir (Hong et al., 2023).

1.5. Kök Kanallarının Dezenfeksiyonu

Mevcut şekillendirme ve dezenfeksiyon yöntemlerinin, kök kanal sistemindeki mikroorganizmaları tamamen ortadan kaldırması olası görünmemektedir. Bu nedenle, özellikle apikal daralımda daha az genişletme yaparak, irrigasyon etkinliğini artıracak tekniklerin araştırılması devam etmektedir. Gelişmiş dezenfeksiyon sağlayan fiziksel yöntemlerin olanakları, ultrasonik veya sonik aktivasyondan lazer aktivasyonuna kadar çeşitlilik göstermektedir (Huffaker et al., 2010; Klyn et al., 2010).

GentleWave sistemi (Sonendo, Orange, CA, ABD) (GWS), minimal şekillendirme sonrası kök kanal sistemini temizlemek için geliştirilen yeni bir

irrigasyon sistemidir (Chan et al., 2019). Bu sistem, irrigasyon solüsyonunun gazdan arındırılması, negatif basınç kullanımı, kapalı devrede sıvı sirkülasyonu, kök kanalından uzak bölgelere ulaşmak için gazdan arındırılmış sıvıyı yayabilen ultrasonik spektrumun altında ve üstünde ses dalgalarının kullanımı gibi çeşitli ilkelere dayanmaktadır. GWS, kısmen klinisyen tarafından oluşturulan ve diş ile el aleti arasında conta görevi gören reçine platformu ile oluşturulan “kapalı devre” sistemi sayesinde negatif basınç üretebilir (Charara et al., 2016).

1.6. Üst Restorasyonun Önemi

Endodontik tedavi görmüş dişlerin restorasyonu ile ilgili yapılan çalışmalarda, sağlam koronal ve radiküler diş yapısının korunması, özellikle de önemli bir “ferrule etkisi” sağlamak için perikervikal yapının korunması, restore edilmiş dişlerin optimal biyomekanik davranışı için çok önemli kabul edilmektedir (Dietschi et al., 2007). Kalan dentinin duvarlarını kron ile çevrelemek, diş içindeki gerilimleri azaltarak koruyucu bir etki sağlayan bir ferrule oluşturur. 1,5 ila 2 mm'lik bir ferrule varlığı, endodontik tedavi görmüş dişlerin kırılma direncine olumlu etki eder (Barkhordar et al., 1989; Ross, 1980). 1 mm'lik ferrule'ye sahip dişler, ferrule olmadan restore edilmiş dişlere kıyasla kırılma direncini iki katına çıkarmıştır (Sorensen & Martinoff, 1984).

Koronal yapısı çok az olan veya hiç olmayan dişlerde, ferrule için yer açmak amacıyla cerrahi kron boyu uzatma yerine ortodontik ekstrüzyon düşünülmelidir. Bu yaklaşım, diş yapısını daha fazla korur ve kalan dentin yapısının daha uygun bir biyomekanik davranış sergilemesini sağlar (Meng et al., 2009; Meng et al., 2007). Ferrule sağlamak için alternatif yöntemlerin hiçbirini uygulanamıyorsa, mevcut kanıtlar, tedavi sonucunun kötü olacağını ve nihayetinde dişin kaybedilme olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir (Nagasiri & Chitmongkolsuk, 2005; Salehrabi & Rotstein, 2004).

2. Güncel Biyolojik Perspektifler

2.1. Vital Pulpa Tedavileri

Güncel endodontik tedavilerin temel taşı haline gelen vital pulpa tedavileri (VPT), pulpanın çürük ve travmaya maruz kalması durumlarında, zarar görmüş pulpa dokusunun canlılığını ve işlevselliğini korumayı amaçlamaktadır (Aguilar & Linsuwanont, 2011). VPT, genel bir terim olarak, invaziv prosedürlerden kaçınmak için pulpa sağlığını korumak üzere tasarlanmış teknikleri içerir (Ghoddusi et al., 2013). Dolaylı (indirekt) pulpa kaplaması gibi minimal invaziv yaklaşımlardan, doğrudan (direkt) pulpa

kaplaması, kısmi pulpotomi, tam pulpotomi ve kısmi pulpektomi gibi daha invaziv tekniklere kadar uzanan yöntemler, farklı yaş gruplarında incelenmiş, geliştirilmiş ve uygulanmıştır (Asgary et al., 2014).

VPT yöntemleri, pulpa koruyucu / kaplama ajanı olarak kullanılan malzemelere göre de sınıflandırılabilir. Geleneksel pulpa koruyucu malzeme olan kalsiyum hidroksit (CH), erişilebilirliği, antibakteriyel özellikleri ve dentin yapımını uyarıcı özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır; ancak, zayıf mekanik mukavemet ve yüksek çözünürlük gibi sınırlamaları nedeniyle daha gelişmiş biyomalzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Mineral trioksit agregat (MTA) ve Biodentine gibi biyoaktif malzemeler, CH'den üstün klinik sonuçlar göstermiştir (Zanini et al., 2019). Araştırmalar, yukarıda bahsedilen endodontik biyoaktif malzemelerin pulpa iyileşmesini destekleyebileceğini, dentin yapımını artırabileceğini ve uzun vadeli sızdırmazlık sağlayabileceğini göstermiştir; bu özellikler de onları VPT için uygun hale getirmektedir (Bossù et al., 2020).

Pulpanın kısmi çıkarılması ve hemostaz teknikleri VPT' nin başarısı için çok önemlidir. Geleneksel el aletleri dokusal geri bildirim sağlarken, soğutucu kullanan yüksek hızlı döner sistemler daha yüksek verimlilik sunar. Ayrıca, lazer destekli ve elektrocerrahi yaklaşımlar gibi yenilikçi yöntemler, daha fazla sterilizasyon ve hemostatik fayda ile minimal invaziv çalışmayı mümkün kılar (Chandran et al., 2020). Salin irrigasyonu ve ıslak pamuk uygulaması gibi doğal pıhtılaşma yöntemleriyle hemostaz sağlanması yaygındır; ancak kanama devam ettiğinde NaOCl ve ferrik sülfat gibi kimyasal ajanlar kullanılır. Ayrıca MTA gibi biyoaktif malzemelerle tampon uygulaması kanamanın kontrolünü sağlar, iyileşmeyi ve prognozu iyileştirebilir (Ardavan et al., 2023).

2.2. Rejeneratif Endodonti

2.2.1. Pulpa Rejenerasyonu

Son zamanlarda, pulpa mühendisliği ve rejeneratif tıp ilgi görmüş ve daha iyi pulpa rejenerasyonu için çok sayıda araştırma yapılmıştır.

Genel olarak, pulpa rejenerasyonu iki temel yaklaşımı içerir:

- pulpa revaskülarizasyonu
- pulpa mühendisliği

Diş pulpa revaskülarizasyonunun amacı, dişin doğal yapısını ve işlevini korumak için otolog kan veya kan bileşenleri kullanarak vaskülarize

pulpa rejenerasyonunu sağlamaktır. Tedavinin başarısı, bireysel koşullara ve tedavi tekniklerine bağlı olarak değişebilir. Ekzojen hücre nakline dayalı pulpa mühendisliğinin ana hedefi ise, yeni ve işlevsel pulpa-dentin kompleksi oluşturmak için hazırlanan kök kanallarına kök hücreler, doku iskelelerini ve büyüme faktörleri yerleştirmektir (Ahmed et al., 2021).

Pulpa rejenerasyon teknolojisi, geleneksel kök kanal tedavisinin bir alternatifi olarak umut vaat etmektedir. Geleneksel kök kanal tedavisine kıyasla, pulpa rejenerasyonu dişlerin doğal onarım sürecini daha etkili bir şekilde destekleyebilir. Ayrıca, kök kanal tedavisiyle ilişkili kök kırığı ve kök kanalının yeniden enfeksiyon olasılığını da azaltabilir (Cao et al., 2015). Bununla birlikte, kök hücre pulpa rejenerasyonu ile ilgili klinik prosedürlerin karmaşıklığı, hücre kaynağı, greft reddi, etik sorunlar ve potansiyel tedavi komplikasyonları gibi zorluklar hala mevcuttur (Yildirim et al., 2011).

2.2.2. Rejeneratif Endodontide Kök Hücre Uygulamaları

Kök hücreler, pulpa-dentin kompleksini oluşturmak için gerekli olan özel hücre tiplerine farklılaşabilme özelliği nedeniyle rejeneratif endodonti için çok önemlidir. Rejeneratif endodontiye kullanılan başlıca kök hücre tipleri arasında dental papilla, dental apikal papilla, periodontal ligament ve dental folikül kök hücreleri bulunur (Murray et al., 2007). Bu kök hücreler, diş dokularından doğrudan veya biyobankacılık yoluyla elde edilir, çıkarılan hücreler gelecekte kullanılmak üzere saklanır ve böylece hastaya özel tedaviler uygulanabilir (Almutairi et al., 2019). Umut verici sonuçlara rağmen, kök hücrelerin canlılığındaki değişkenlik ve allojenik uygulamalarda bağışıklık reddi riski nedeniyle klinik uygulamaya geçilmesi hala zorlu bir süreçtir (Brizuela et al., 2022).

2.2.3. Rejeneratif Endodontide Doku İskeleleri (Scaffold)

İskeleler, hücresel büyümeyi, farklılaşmayı ve organizasyonu destekleyen bir matris sağladıkları için rejeneratif endodontide kullanılır. İdeal bir iskele biyouyumlu, biyolojik olarak parçalanabilir ve pulpa dokusunun doğal hücre dışı matrisini taklit etmelidir. Yaygın iskele türleri arasında kolajen ve kitosan gibi doğal polimerler, polikaprolakton, polilaktik asit ve hidrojeller gibi sentetik polimerler bulunur (Gong et al., 2016). Hidrojeller, besin difüzyonunu ve atıkların uzaklaştırılmasını destekleyen yüksek su içeriği sayesinde rejeneratif endodonti alanında popülerlik kazanmıştır ve hücresel aktivite için optimal bir ortam yaratır (Aksel & Serper, 2014).

2.2.4. Rejeneratif Endodontide Sinyal Molekülleri

Kök hücre farklılaşmasını ve doku büyümesini yönlendiren sinyal molekülleri rejeneratif endodonti için vazgeçilmezdir. Bu alanda önemli sinyal molekülleri arasında kemik morfogenetik proteinler (BMP'ler), vasküler endotelyal büyüme faktörü (VEGF) ve dönüştürücü büyüme faktörü-beta (TGF- β) bulunur. BMP'ler, odontojenik farklılaşmayı indüklemeye ve dentin oluşumunu teşvik etmede kritik rol oynar (Murray et al., 2007). VEGF ise, sağlıklı bir pulpa dokusu ortamı oluşturmak için gerekli olan vaskülarizasyonu artırır (Huang et al., 2009).

2.2.5. Klinik Protokoller ve Dezenfeksiyon Teknikleri

Rejeneratif endodontinin kritik yönü, hem etkili dezenfeksiyon hem de doku rejenerasyonu için destekleyici bir ortam sağlayan klinik protokollerin geliştirilmesidir. Dezenfeksiyon genellikle sodyum hipoklorit, EDTA ve klorheksidin gibi solüsyonlar kullanılarak gerçekleştirilir. Bunlar, kanal duvarlarını hücre yapışması için hazırlarken patojenlerin ortadan kaldırılmasına yardımcı olur (Nosrat et al., 2012). Sodyum hipoklorit, dezenfeksiyonda oldukça etkili olmakla birlikte, yüksek konsantrasyonlarda kullanıldığında kök hücreler üzerinde sitotoksik olabilir (Murray et al., 2007). Düşük konsantrasyonlu sodyum hipoklorit ve ardından EDTA uygulanması gibi yöntemler, sitotoksiteyi en aza indirmek, kök hücrelerin hayatta kalmasını desteklemek ve rejeneratif potansiyeli en üst düzeye çıkarmak için uygulanabilir (Huang et al., 2009).

2.2.6. Gelecekteki Yönelimler ve Ortaya Çıkan Teknikler

Rejeneratif endodonti alanındaki son gelişmeler, gen terapisi, gelişmiş iskele tasarımları ve hücresiz rejeneratif yaklaşımlar konusunda umut verici ilerlemeler göstermektedir. Genetiği değiştirilmiş hücreler, farklılaşma ve doku oluşumunu yönlendirmek için gerekli olan sinyal moleküllerini ifade edebilir, ancak endodontide uygulamaları hala deneysel aşamadır (Alothman et al., 2024). 3D biyobaskı teknolojisindeki yenilikler, pulpa dokusunun doğal yapısını taklit eden özelleştirilmiş iskeletlerin geliştirilmesine olanak tanır. Bu teknik, kök kanal ortamında daha etkili hücresel hizalama ve besin akışını sağlayarak pulpa-dentin rejenerasyonunun sonuçlarını iyileştirebilir (Kim et al., 2016). Bir başka umut verici araştırma alanı, kök hücrelerin doğrudan nakledilmesi yerine biyoaktif iskeletlere ve büyüme faktörü dağıtım sistemlerine dayanan hücresiz rejeneratif yaklaşımların araştırılmasıdır. Hücresiz tedavilerle ilgili klinik çalışmalar,

bağışıklık reddi riskini ve kök hücre kullanımıyla ilgili etik endişeleri azaltmayı amaçlamaktadır (Lee et al., 2015).

SONUÇ

Endodontide minimal invaziv yaklaşımlar diş dokusunun biyomekanik bütünlüğünü korumayı amaçlayan bir felsefedir. Bu yaklaşım, yalnızca daha konservatif giriş kaviteleri oluşturmayı değil, aynı zamanda kök kanal sisteminin biyolojik ve anatomik özelliklerine saygılı ve kontrollü bir tedavi planlamasını gerektirir. Güncel endodontik perspektifler ise tedavinin yalnızca enfeksiyonun ortadan kaldırılmasıyla sınırlı olmadığını, aynı zamanda pulpa-dentin kompleksinin biyolojik kapasitesinin desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Vital pulpa tedavileri ve rejeneratif endodontik uygulamalar, doku iyileşmesi ve fonksiyonel devamlılığı hedefleyen biyolojik temelli yaklaşımları güçlendirmektedir. Minimal invaziv prensiplerle uyumlu olarak geliştirilen bu güncel tedaviler, daha konservatif yaklaşımla daha öngörülebilir sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Sonuç olarak, endodontide minimal invaziv yaklaşımlar ve güncel biyolojik perspektifler, dişin uzun dönem ağızda tutulmasını amaçlayan modern endodontik tedavinin temel yapı taşlarını oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aguilar, P., & Linsuwanont, P. (2011). Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: a systematic review. *Journal of endodontics*, 37(5), 581-587.
- Ahmed, G. M., Abouauf, E. A., AbuBakr, N., Fouad, A. M., Dörfer, C. E., & Fawzy El-Sayed, K. M. (2021). Cell-Based transplantation versus cell homing approaches for pulp-dentin complex regeneration. *Stem cells international*, 2021(1), 8483668.
- Aksel, H., & Serper, A. (2014). Recent considerations in regenerative endodontic treatment approaches. *Journal of Dental Sciences*, 9(3), 207-213.
- Almutairi, W., Yassen, G. H., Aminoshariae, A., Williams, K. A., & Mickel, A. (2019). Regenerative endodontics: a systematic analysis of the failed cases. *Journal of endodontics*, 45(5), 567-577.
- Alothman, F. A., Hakami, L. S., Alnasser, A., AlGhamdi, F. M., Alamri, A. A., Almutairii, B. M.,...Alamri, A. (2024). Recent advances in regenerative endodontics: a review of current techniques and future directions. *Cureus*, 16(11).

- Ardavan, A., Roghanizadeh, L., & Asgary, S. (2023). Tampon vital pulp therapy in the management of excessive haemorrhage in inflamed pulps: A hypothesis. *Iranian endodontic journal*, 18(4), 274.
- Asgary, S., Fazlyab, M., Sabbagh, S., & Eghbal, M. J. (2014). Outcomes of different vital pulp therapy techniques on symptomatic permanent teeth: a case series. *Iranian endodontic journal*, 9(4), 295.
- Augusto, C., Barbosa, A., Guimarães, C., Lima, C., Ferreira, C., Sassone, L., & Silva, E. (2020). A laboratory study of the impact of ultraconservative access cavities and minimal root canal tapers on the ability to shape canals in extracted mandibular molars and their fracture resistance. *International endodontic journal*, 53(11), 1516-1529.
- Barkhordar, R. A., Radke, R., & Abbasi, J. (1989). Effect of metal collars on resistance of endodontically treated teeth to root fracture. *The Journal of prosthetic dentistry*, 61(6), 676-678.
- Bossù, M., Iaculli, F., Di Giorgio, G., Salucci, A., Polimeni, A., & Di Carlo, S. (2020). Different pulp dressing materials for the pulpotomy of primary teeth: a systematic review of the literature. *Journal of clinical medicine*, 9(3), 838.
- Brizuela, C., Huang, G. T.-J., Diogenes, A., Botero, T., & Khoury, M. (2022). The four pillars for successful regenerative therapy in endodontics: stem cells, biomaterials, growth factors, and their synergistic interactions. *Stem cells international*, 2022(1), 1580842.
- Bürklein, S., & Schäfer, E. (2015). Minimally invasive endodontics. *Quintessence Int*, 46(2), 119-124.
- Cao, Y., Song, M., Kim, E., Shon, W., Chugal, N., Bogen, G.,...Kang, M. (2015). Pulp-dentin regeneration: current state and future prospects. *Journal of dental research*, 94(11), 1544-1551.
- Celikten, B., Koohnavard, M., Oncu, A., Sevimay, F. S., Orhan, A. I., & Orhan, K. (2021). A new perspective on minimally invasive endodontics: a systematic review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 35(1), 1758-1767.
- Chan, M., Cheung, V., Lee, A., & Zhang, C. (2022). A literature review of minimally invasive endodontic access cavities—past, present and future. *Eur Endod J*. 2022; 7 (1): 1–10. In.
- Chan, M. Y. C., Cheung, V., Lee, A. H. C., & Zhang, C. (2022). A literature review of minimally invasive endodontic access cavities-past, present and future. *European endodontic journal*, 7(1), 1-10.
- Chan, R., Versiani, M. A., Friedman, S., Malkhassian, G., Sousa-Neto, M. D., Leoni, G. B.,...Basrani, B. (2019). Efficacy of 3 supplementary

irrigation protocols in the removal of hard tissue debris from the mesial root canal system of mandibular molars. *Journal of endodontics*, 45(7), 923-929.

- Chandran, V., Ramanarayanan, V., Menon, M., Varma, B., & Sanjeevan, V. (2020). Effect of LASER therapy Vs conventional techniques on clinical and radiographic outcomes of deciduous molar pulpotomy: A systematic review and meta-analysis. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 12(6), e588.
- Charara, K., Friedman, S., Sherman, A., Kishen, A., Malkhassian, G., Khakpour, M., & Basrani, B. (2016). Assessment of apical extrusion during root canal irrigation with the novel GentleWave system in a simulated apical environment. *Journal of endodontics*, 42(1), 135-139.
- Chethan, M., Revathi, K., Natesan, R., Rashmi, M., Soubhagya, M., & Nair, V. (2021). Preserved for endurance: minimal invasive endodontics. *IP Indian J Conserv Endod*, 6, 88-91.
- Clark, D., & Khademi, J. (2010). Modern molar endodontic access and directed dentin conservation. *Dental Clinics*, 54(2), 249-273.
- Dietschi, D., Duo, O., Krejci, I., & Sadan, A. (2007). Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: A systematic review of the literature--Part 1. Composition and micro-and macrostructure alterations. *Quintessence international*, 38(9).
- Ghoddusi, J., Forghani, M., & Parisay, I. (2013). New approaches in vital pulp therapy in permanent teeth. *Iranian endodontic journal*, 9(1), 15.
- Gluskin, A. H., Peters, C. I., & Peters, O. A. (2014). Minimally invasive endodontics: challenging prevailing paradigms. *British dental journal*, 216(6), 347-353.
- Gong, T., Heng, B. C., Lo, E. C. M., & Zhang, C. (2016). Current advance and future prospects of tissue engineering approach to dentin/pulp regenerative therapy. *Stem cells international*, 2016(1), 9204574.
- Hong, J., Kwak, S. W., Ha, J.-H., Sigurdsson, A., Shen, Y., & Kim, H.-C. (2023). Effect of Different Heat Treatments and Surface Treatments on the Mechanical Properties of Nickel-Titanium Rotary Files. *Metals*, 13(10), 1769.
- Huang, G.-J., Gronthos, S., & Shi, S. (2009). Critical reviews in oral biology & medicine: mesenchymal stem cells derived from dental tissues vs. those from other sources: their biology and role in regenerative medicine. *Journal of dental research*, 88(9), 792.
- Huffaker, S. K., Safavi, K., Spangberg, L. S., & Kaufman, B. (2010). Influence of a passive sonic irrigation system on the elimination of

- bacteria from root canal systems: a clinical study. *Journal of endodontics*, 36(8), 1315-1318.
- Kang, Y. J., Kwak, S. W., Ha, J.-H., Gambarini, G., & Kim, H.-C. (2025). Fracture resistances of heat-treated nickel-titanium files used for minimally invasive instrumentation. *BMC Oral Health*, 25(1), 126.
- Kapetanaki, I., Dimopoulos, F., & Gogos, C. (2021). Traditional and minimally invasive access cavities in endodontics: a literature review. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46(3).
- Kim, H.-C., Lee, M.-H., Yum, J., Versluis, A., Lee, C.-J., & Kim, B.-M. (2010). Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture. *Journal of endodontics*, 36(7), 1195-1199.
- Kim, H.-C., Sung, S. Y., Ha, J.-H., Solomonov, M., Lee, J.-M., Lee, C.-J., & Kim, B.-M. (2013). Stress generation during self-adjusting file movement: minimally invasive instrumentation. *Journal of endodontics*, 39(12), 1572-1575.
- Kim, S. G., Kahler, B., & Lin, L. M. (2016). Current developments in regenerative endodontics. *Current Oral Health Reports*, 3(4), 293-301.
- Klyn, S. L., Kirkpatrick, T. C., & Rutledge, R. E. (2010). In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator™ System, the F File™, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human Mandibular molars. *Journal of endodontics*, 36(8), 1367-1371.
- Krishan, R., Paqué, F., Dao, T., Kishen, A., & Friedman, S. (2013). Root Canal Instrumentation Performed Through Conservative Endodontic Access: A Micro-CT Assessment in Incisors, Premolars and Molars: OR 66. *Journal of endodontics*, 39(3), e18.
- Lang, H., Korkmaz, Y., Schneider, K., & Raab, W.-M. (2006). Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root. *Journal of dental research*, 85(4), 364-368.
- Lee, B.-N., Moon, J.-W., Chang, H.-S., Hwang, I.-N., Oh, W.-M., & Hwang, Y.-C. (2015). A review of the regenerative endodontic treatment procedure. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 40(3), 179.
- Mathew, S. T., & Rajan, J. S. (2014). Minimally invasive endodontics. *Journal of Dentistry and Oral Hygiene*, 6(4), 36-38.
- Meng, Q.-F., Chen, L.-J., Meng, J., Chen, Y.-M., Smales, R. J., & Yip, K. H. (2009). Fracture resistance after simulated crown lengthening and forced tooth eruption of endodontically-treated teeth restored with a fiber post-and-core system. *American journal of dentistry*, 22(3), 147.

- Meng, Q.-F., Chen, Y.-M., Guang, H.-B., Yip, K. H., & Smales, R. J. (2007). Effect of a ferrule and increased clinical crown length on the in vitro fracture resistance of premolars restored using two dowel-and-core systems. *Operative dentistry*, 32(6), 595-601.
- Murdoch-Kinch, C. A., & McLEAN, M. E. (2003). Minimally invasive dentistry. *The Journal of the American Dental Association*, 134(1), 87-95.
- Murray, P. E., Garcia-Godoy, F., & Hargreaves, K. M. (2007). Regenerative endodontics: a review of current status and a call for action. *Journal of endodontics*, 33(4), 377-390.
- Nagasiri, R., & Chitmongkolsuk, S. (2005). Long-term survival of endodontically treated molars without crown coverage: a retrospective cohort study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 93(2), 164-170.
- Nishad, S. V., & Shivamurthy, G. (2018). Comparative Analysis of Apical Root Crack Propagation after Root Canal Preparation at Different Instrumentation Lengths Using ProTaper Universal, ProTaper Next and ProTaper Gold Rotary Files: An: In vitro: Study. *contemporary clinical dentistry*, 9(Suppl 1), S34-S38.
- Nosrat, A., Homayounfar, N., & Oloomi, K. (2012). Drawbacks and unfavorable outcomes of regenerative endodontic treatments of necrotic immature teeth: a literature review and report of a case. *Journal of endodontics*, 38(10), 1428-1434.
- Pedullà, E., Genovesi, F., Rapisarda, S., La Rosa, G. R., Grande, N. M., Plotino, G., & Adorno, C. G. (2017). Effects of 6 single-file systems on dentinal crack formation. *Journal of endodontics*, 43(3), 456-461.
- Ross, I. F. (1980). Fracture susceptibility of endodontically treated teeth. *Journal of endodontics*, 6(5), 560-565.
- Rover, G., Belladonna, F. G., Bortoluzzi, E. A., De-Deus, G., Silva, E. J. N. L., & Teixeira, C. S. (2017). Influence of access cavity design on root canal detection, instrumentation efficacy, and fracture resistance assessed in maxillary molars. *Journal of endodontics*, 43(10), 1657-1662.
- Salehrabi, R., & Rotstein, I. (2004). Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study. *Journal of endodontics*, 30(12), 846-850.
- Silva, E., Pinto, K., Ferreira, C., Belladonna, F., De-Deus, G., Dummer, P., & Versiani, M. (2020). Current status on minimal access cavity preparations: a critical analysis and a proposal for a universal nomenclature. *International endodontic journal*, 53(12), 1618-1635.

- Silva, E., Versiani, M., Souza, E., & De-Deus, G. (2021). Minimally invasive access cavities: does size really matter? In (Vol. 54, pp. 153-155).
- Silva, E. J., Martins, J. N., Ajuz, N. C., Antunes, H. S., Vieira, V. T., Braz Fernandes, F. M.,... Versiani, M. A. (2022). A multimethod assessment of a new customized heat-treated nickel–titanium rotary file system. *Materials*, 15(15), 5288.
- Silva, L. R., de Lima, K. L., Santos, A. A., Leles, C. R., Estrela, C., de Freitas Silva, B. S., & Yamamoto-Silva, F. P. (2021). Dentin thickness as a risk factor for vertical root fracture in endodontically treated teeth: a case-control study. *Clinical oral investigations*, 25(3), 1099-1105.
- Soares, C. J., Santana, F. R., Silva, N. R., Pereira, J. C., & Pereira, C. A. (2007). Influence of the endodontic treatment on mechanical properties of root dentin. *Journal of endodontics*, 33(5), 603-606.
- Sorensen, J. A., & Martinoff, J. T. (1984). Intracoronar reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *The Journal of prosthetic dentistry*, 51(6), 780-784.
- Taneja, S. (2021). Minimally invasive endodontics: Saving the precious dentin. *J Dent Spec*, 9, 44-45.
- Wolters, W., Duncan, H., Tomson, P., Karim, I., McKenna, G., Dorri, M.,... Van Der Sluis, L. (2017). Minimally invasive endodontics: a new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *International endodontic journal*, 50(9), 825-829.
- Yildirim, S., Fu, S. Y., Kim, K., Zhou, H., Lee, C. H., Li, A.,... Mao, J. J. (2011). Tooth regeneration: a revolution in stomatology and evolution in regenerative medicine. *International Journal of Oral Science*, 3(3), 107-116.
- Zanini, M., Hennequin, M., & Cousson, P. (2019). Which procedures and materials could be applied for full pulpotomy in permanent mature teeth? A systematic review. *Acta Odontologica Scandinavica*, 77(7), 541-551.
- Zupanc, J., Vahdat-Pajouh, N., & Schäfer, E. (2018). New thermomechanically treated NiTi alloys—a review. *International endodontic journal*, 51(10), 1088-1103.

DEVİTAL DİŞLERDE BEYAZLATMA

Hakkı Talha YILDIZ

- ❖ Kurum Bilgisi: Endodonti Ana Bilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0008-8028-4790
- ❖ Mail: hakkitalhayildiz@aydin.edu.tr

Sana MAHROOS AL-SHAMMARI

- ❖ Kurum Bilgisi: Endodonti Ana Bilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0003-2251-1162
- ❖ Mail: sanamahroosmkhailefa@aydin.edu.tr

Işıl KAYA BÜYÜKBAYRAM

- ❖ Kurum Bilgisi: Endodonti Ana Bilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-3118-9665
- ❖ Mail: isilkayabuyukbayram@aydin.edu.tr

GİRİŞ

Dişlerde renklenme hastaların tedavi olmak için başvurduğu yaygın bir sorundur. Farklı yaşlarda, süt dişlerinde ve daimi dişlerde izlenebilir. Etiyolojisi çok faktörlüdür ve dişlerin farklı kısımlarını etkileyebilir (Tooth Whitening Techniques, 2017).

Renklenmeler ekstrinsik veya intrinsik olarak sınıflandırılır. Ekstrinsik renklenmeler, dış yüzeyde kromojenik maddelerin birikmesinden kaynaklanır. Bunlar; şarap, kahve, çay, havuç, portakal, çikolata, tütün, bazı ağız gargaraları gibi kromojenik besin kaynaklarının tüketimine, yetersiz veya yanlış ağız hijyeni alışkanlıklarına bağlıdır. Bu renklenmeler çoğu zaman mekanik olarak uzaklaştırılabilir. İntrinsik renklenmeler ise diş dokularının yapısal bileşimi veya kalınlığındaki bir değişiklikten sonra oluşur (Fioresta ve ark., 2023).

Devital beyazlatma doğru prosedürlerde yapıldığında düşük riskli minimal invaziv bir tedavidir. Renklenme olan devital dişlerin estetik görünümünü geri kazandırmak için devital beyazlatma dışında kompozit veneerler, porselen veneerler, porselen kuronlar gibi çeşitli tedavi alternatifleri de mevcuttur. Kanal içi beyazlatma, devital dişlerde beyazlatmayı sağlayan konservatif bir tedavidir. Bu tedavi protetik tedavilere kıyasla daha ekonomiktir (Jin ve ark., 2026; Şişmanoğlu ve ark., 2020; Zimmerli ve ark., 2010).

1. ETİYOLOJİ

Devital dişlerin renklenmesinde lokal ve sistemik faktörler rol oynamaktadır. Lokal faktörler: diş travması ve intrapulpal kanama, kök kanalının kalsifikasyonu, pulpa nekrozu, endodontik irrigasyon solüsyonları, kanal içi medikamentler, kanal dolum materyalleri, koronal restorasyon materyalleri ve biyoseramik endodontik materyaller; sistemik faktörler: ilaç kullanımı, genetik dental hastalıklar ve dental florozis olarak sınıflandırılabilir.

1.1.Lokal Etiyolojik Faktörler:

1.1.1. Diş Travması ve İntrapulpal Kanama

Travmadan sonra pulpa canlı kaldığında veya revaskülerize olduğunda vital pulpadan gelen enzimler, pulpa odasındaki ve dentin tübüllerindeki eritrositlere ulaşarak eritrositleri hemoliz edebilir ve bileşenlerine parçalayabilirler. Bu durumda genellikle 2-3 ay içinde diş normal rengine geri

döner. Ancak pulpa canlılığını kaybettiğinde bu süreç gerçekleşmez ve renk değişimi devam eder (Jin ve ark., 2026).

1.1.2. Kök Kanalının Kalsifikasyonu

Kök kanalında kalsifikasyon oluşmuş dişlerdeki sarımsı renk değişikliği sık görülen bir bulgudur. Bu değişim çoğunlukla kalsifikasyon sürecini takiben dişin saydamlığının azalması ve tersiyer dentin birikimi ile ilgilidir.

1.1.3. Pulpa Nekrozu

Pulpa nekrozu histolojik olarak kan akışının, kan damarlarının hasar görmesi sonucu bakteriyel kontaminasyona karşı bağışıklık ve savunmayı sağlayamamasının sonucu oluşur. Hidrojen sülfür üreten bakteriler ile pulpa boşluğunun kontamine olmasından dolayı diş daha fazla renklenebilir. Kanın hemolizinden salınan demirin ve bu bakterilerin etkileşiminden siyah renkli demir sülfür oluşmaktadır (Frank ve ark., 2022).

1.1.4. Endodontik İrrigasyon Solüsyonları

Sodyum hipoklorit ve klorheksidin solüsyonlarının kombinasyonu mine ve dentinde kolayca leke oluşturabilen koyu kahverengi bir çökelti oluşturmaktadır. Etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) ve klorheksidin karıştırıldığında ise açık pembe renkli bir çökelti renk değişimine neden olabilmektedir (Rossi ve ark., 2012).

1.1.5. Kanal İçi Medikamentler

Bazı medikamentlerin endodontik tedaviden sonra diş kurunda kalması durumunda dentini renklendirebildiği bilinmektedir. Üçlü antibiyotik patı ve ikili antibiyotik patı, internal renk değişikliği potansiyeli açısından araştırılan diğer medikamentlerdir. Tetrasiklin türevi olan minosiklinin varlığına bağlı olarak dişlerde mavi veya grimsi renk değişikliği oluşabilmektedir (de Camposs ve ark., 2023; Meng ve ark., 2025).

1.1.6. Kanal Dolum Materyalleri

Kök kanal dolum materyallerinin tedaviden sonra pulpa odasından tamamen uzaklaştırılamaması durumunda dişin iç kısmında renk değişikliğine neden olduğu bilinmektedir. Kök kanal sisteminin preparasyonu, smear tabakasının kaldırılması, dolum materyalinin sonlandığı yer renklenmenin derecesinde rol oynamaktadır.

1.1.7. Koronal Restorasyon Materyalleri

Amalgam restorasyonlar korozyon ürünlerinin dentine difüzyonu ile koyu gri bir renk değişimine neden olabilmektedir. Bu durumda kanal içi beyazlatma ile her zaman başarılı sonuçlar alınamayabilir. Kompozit restorasyonlarda ise sızıntı, sekonder çürük ve kompozitin kendisinin renk değiştirmesi ile renklenme meydana gelebilir. Kompozit restorasyonun değiştirilmesi ile estetik beklenti karşılanabilmektedir.

1.1.8. Biyoseramik Endodontik Materyaller (Mineral Trioksit Agregat)

Mineral trioksit agregat (MTA) ve Biodentine gibi çeşitli kalsiyum-silikat simanlar kanal içi koronal bariyer olarak kullanıldığında üstün biyouyumluluk, biyoaktivite, sızdırmazlık yeteneği gösterirler ancak bu materyallerin dezavantajlarından birisi diş krununun renklenmesidir (Jahangeer ve ark., 2024).

1.2. Sistemik Etyolojik Faktörler

1.2.1. İlaç Kullanımı

Tetrasiklin en çok renk değişimine neden olan ilaç grubudur. İkinci trimester -sekiz yaş aralığında kullanılan tetrasiklin, dişlerde koronal renklenmeye neden olabilir. Tetrasiklinin bir türevi olan minosiklin de dişlerde renk değişimine neden olabilmektedir. Kullanılan ilacın dozu, zaman aralığı, kullanıldığı yaş; renklenmenin derecesini ve etkilenen diş sayısını belirleyici faktörlerdir. Sarı, kahverengi, koyu gri tonlarında renklenmeler izlenebilmektedir (Wang ve ark., 2023).

1.2.2. Genetik Dental Hastalıklar

Amelogenesis imperfekta mine formasyonundaki bir bozukluk sonucu meydana gelen genetik olarak kalıtsal bir hastalıktır. Dentinogenesis imperfekta ise dentinin mineralizasyonundaki otozomal dominant genler ile aktarılan gelişim bozukluğudur. Amelogenesis imperfektada diş minesi tebeşir beyazından sarı-kahverengi aralığında renk değişimi gösterirken, dentinogenesis imperfektada dentin sarı-kahverengi veya mavi-gri renktedir (Monterio ve ark., 2024).

1.2.3. Dental Florozis

Dental florozis dişlerin mineralizasyon fazı sırasında aşırı florür alımı sonucunda oluşmaktadır. 1 ppm'den fazla florür konsantrasyonu içeren doğal

su kaynaklarının tüketimi nedeniyle endemik olarak görülür. Dişler genellikle tebeşir beyazı veya koyu kahverengi renk bozukluğu ile beraber pürüzlü yapıdadır. Dental florozisin derecesi ve yaygınlığı, hastanın florür kullanımı yaşına ve alınan florür dozuna bağlıdır (Amer, 2023).

2. DEVİTAL-İNTRAKORONAL BEYAZLATMA

2.1. Beyazlatma Mekanizması

Kromoforlar diş yapısına tutunan pigmentlerdir ve görünür aralıktaki ışığı emerler. Sarımsı veya kahverengi renkteki dalga boylarını yansıtırlar. Bu moleküller, karbonil veya aromatik gruplar arasında çift bağlar oluşturarak diş taşına veya biyofilm tabakasına yapışırlar (Aragão ve ark., 2024). Beyazlatma mekanizmasında ise bu kromoforların yapılarındaki konjuge çift bağların zincirlerinin koparılması ya da kimyasal grupların oksidasyonu yoluyla yok edilmesi sağlanır. Renk pigmentlerinin yüksek moleküler ağırlıklı karmaşık moleküler zincirlerinin çift bağları, beyazlatma ajanlarından salınan serbest oksijen radikalleri (hidroksil radikalleri(OH-)) tarafından oksidasyon sonucu parçalanır. Bu reaksiyonların sonucu olarak pigmentin yapısı ve boyutundaki değişiklik, yansıyan ışığın dalga boyunun değişmesine ve rengin daha açık görünmesine neden olur (Sönmez Aydın, 2025).

2.2. Beyazlatma Ajanları

2.2.1. Sodyum Perborat (NaBO_3)

Sodyum perborat, walking bleach tekniği için en güvenli ve en yaygın olarak önerilen materyaldir. Su veya hidrojen peroksit ile karıştırıldığında, hidrojen peroksit ve sodyum metaborata ayrışır ve oksidasyon yoluyla beyazlatma sağlar. Sodyum perborat monohidrat, trihidrat ve tetrahidrat şeklinde üç formda bulunur. Monohidrat en yüksek aktif oksijen konsantrasyonunu sağlayan formudur (Kahler, 2022; Amer, 2023).

Distile su ile karıştırıldığında, periodonsiyuma minimum peroksit sızıntısı ile daha hafif ve daha güvenli bir beyazlatma etkisi sağlar ve bu da servikal rezorpsiyon riski açısından tercih edilmesinin nedenidir. %30 konsantrasyonda hidrojen peroksitle karıştırıldığında daha güçlü bir beyazlatma etkisi sağlar ancak komplikasyon oluşturma riski de daha yüksektir (Plotino ve ark., 2008; Knezevic ve ark., 2022).

2.2.2. Hidrojen Peroksit (H_2O_2)

Dişlerin beyazlatılmasında oksalik asit ve hidrojen peroksit 19. yüzyılda kullanılmaya başlanmış olsa da, devital dişlerin beyazlatılmasında

hidrojen peroksit kullanılmasına 20. yüzyılın ortalarında (Pearson 1951) başlanılmıştır (Zimmerli ve ark., 2010).

Termokatalitik veya power bleaching gibi ofis tipi beyazlatma teknikleri için %30-35 arasında konsantrasyonlarda kullanılır. Dentinde kromojenik çift bağları parçalayan serbest radikaller salarak etki eder. Yüksek konsantrasyonda kullanıldığında düşük pH değeri oluşturur ve dentin tübülleri yoluyla periodontal ligament içine difüze olabilir. İyi bir servikal bariyer sağlanmadığında dış servikal rezorpsiyona (ECR) neden olabilir (Aljanahi ve ark., 2025).

2.2.3. Karbamid Peroksit ($\text{CH}_6\text{N}_2\text{O}_3$)

Kimyasal olarak indüklenen beyazlatma ajanlarının çoğunun aktif bileşeni hidrojen peroksit olup karbamid peroksitte kullanılabilmektedir. Karbamid peroksit (%10-37) parçalandığında hidrojen peroksit ve üre salar. Hem walking bleach tekniğinde hem de iç ve dış beyazlatma tekniklerinde kullanılmaktadır. Frank ve ark. (2022) tarafından yapılan bir meta-analizde, renk tonu kılavuzu birimleri (ΔSGU) ile renk değişimi ölçüldüğünde, karbamid peroksit ve hidrojen peroksit tek başına veya sodyum perborat ile birlikte kullanıldığında sodyum perboratın tek başına kullanılmasına göre daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Frank ve ark., 2022; Eachempati ve ark., 2018).

2.3. Devital Beyazlatma Teknikleri

Beyazlatma üç aşamada gerçekleşmektedir; 1: uygulanan ajanın mine ve dentine difüzyonu, 2: leke moleküllerinin hidrojen peroksit ile etkileşimi ve 3: peroksit bazlı materyallerin diş yüzeyinde ve yapısında optik değişikliklere yol açabilecek mikromorfolojik değişiklikler yapmasıdır (Tooth Whitening, 2023).

2.3.1. Walking Bleach Tekniği

Walking bleach tekniği devital dişlerin intrakoronal beyazlatması için altın standarttır. İlk olarak Spasser (1961) tarafından su ile karıştırılmış sodyum perborat kullanılarak uygulanan bu teknik, daha sonra Nutting ve Poe (1963) tarafından beyazlatma etkisini artırmak için %30 hidrojen peroksit içerecek şekilde değiştirilmiştir.



11-21 numaralı dişlerin beyazlatma öncesi ağız içi fotoğrafı. (Doç. Dr. Işıl Kaya Büyükbayram)



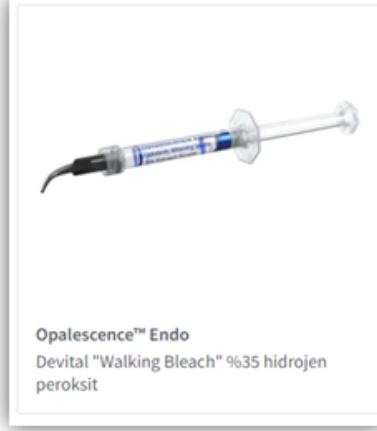
11-21 numaralı dişlerin beyazlatma sonrası ağız içi fotoğrafı. (Doç. Dr. Işıl Kaya Büyükbayram)

Tedavi Protokolü:

Tedaviye başlamadan önce radyografik ve klinik olarak kök kanal tedavisinin tamamlanmış ve sızdırmaz bir şekilde kapatıldığından emin olunmalıdır, çünkü kanal dolumundaki herhangi bir sorun tüm beyazlatma sonucunu olumsuz etkileyebilir. Sonrasında periodontal dokuları korumak için rubber dam izolasyonu sağlanır. Mevcut restoratif materyal ve pulpa odasının duvarlarındaki renklenmiş dentin uzaklaştırılır. Beyazlatma ajanının kanal içerisinden vertikal olarak apekse ulaşip periodonsiuma difüzyonunu ve flare up oluşumunu önlemek için kök kanalının sızdırmaz bir şekilde doldurulmuş olması kontrol edilir. Daha sonra güttaperka mine sement sınırının 2-3 mm altına kadar indirilir ve uç kısımları mine sement sınırında tabanı güttaperka seviyesinde at nalı şeklinde aynı kalınlıkta 2 mm koruyucu bariyer uygulanır. Bu aşama servikal periodonsiyumu peroksit difüzyonundan koruduğu ve dış servikal rezorpsiyon riskini büyük ölçüde azalttığı için tüm protokolün en kritik adımıdır.

Genellikle distile su veya %30 hidrojen peroksit ile karıştırılarak koyu kıvamda bir pat haline getirilen sodyum perborat, pulpa odasına pamuk pelet ile yerleştirilir ve giriş kavitesi yeni bir renk değişikliğine neden olabilecek öjenol içermeyen IRM veya Cavit gibi geçici bir materyal ile kapatılır. %10'luk karbamid peroksit ve %35'lik hidrojen peroksit jellerinin

(Opalescence Endo) pulpa odasına yerleştirilmesi ile de walking bleach tekniği uygulanmaktadır.



Opalescence Devital Beyazlatma Ajanı

Hasta her üç ile yedi günde bir muayene edilir ve her seansta beyazlatma ajanı yenilenir. Çoğu vakada iki veya dört seans içinde istenen sonuç elde edilir. Hedeflenen renk tonuna ulaşıldığında asidik ortamı nötralize etmek ve final restorasyon öncesinde dentin remineralizasyonunu sağlamak için kalsiyum hidroksit yerleştirilir ve iki hafta beklenir. Bu süre isteğe bağlı değildir ve daimi kompozit rezin restorasyonu yapmadan önce kalan oksijenin tamamen dağılması ve dentinin bağlanma gücünün geri kazanılması için gereklidir (Kahler, 2022; Amer, 2023; Plotino, 2008).



11 numaralı dişin beyazlatma öncesi ağız içi fotoğrafı. (Dr. Sana Mahroos Al-Shammari)



11 numaralı dişin beyazlatma sonrası ağız içi fotoğrafı. (Dr. Sana Mahroos Al-Shammari)

Bu teknik güvenli, etkili ve özel ekipman gerektirmeyen bir tekniktir. Klinisyenler, basınç artışı ve sızıntı riskini en aza indirmek için pulpa odasını ajan ile fazlaca doldurmaktan kaçınmalıdır (Kahler, 2022; Plotino, 2008; Jin ve ark., 2026).

2.3.2. Termokatalik Tekniği

Bu teknikte %30-35 konsantrasyonda hidrojen peroksit pulpa odasına yerleştirilir ve ısı veya ışık (halojen lamba, LED) kullanılarak aktive edilir. Sıcaklık genellikle 50-60 °C'ye yükseltilir ve periradiküler dokulara termal hasar vermemek için her 5 dakikada bir aktivasyon soğutma için duraklatılır. Seansın sonunda beyazlatma ajanı bir sonraki seansa kadar walking bleach görevi görmesi için dişe yerleştirilip geçici restorasyon ile bırakılabilir.

Bu teknikte hızlı sonuç alınır ancak yüksek sıcaklık ile peroksitin dentin içinden difüzyonunu hızlandırarak dış servikal rezorpsiyon riskinin artması, dentin hasarı oluşumu ve bağlanma gücünün azalması riski vardır. Bu nedenle günümüzde kullanımı azalmış, daha güvenli bir seçenek olan walking bleach veya kombine yaklaşımlar tercih edilmiştir (Kahler, 2022; Nikam ve ark., 2025).

2.3.3. İntrakoronal/Ekstrakoronal Tekniği

Settembrini ve ark. (1997) tarafından tanıtilen bu teknik intrakoronal ve ekstrakoronal beyazlatmayı aynı anda birleştirir. %10-37 karbamid peroksit jel geçici dolgu olmadan pulpa odasının içine hastanın evde günde birkaç saat taktığı özel bir plakla yerleştirilir.

Avantajları: Walking bleach'e göre daha hızlı sonuç verir ve birden fazla devital veya vital komşu dişin aynı anda beyazlatılması gerektiğinde kullanılabilir.

Dezavantajları: Sızdırmaz bir geçici dolgu olmaması mikroorganizmaların dentin tübüllerinde kolonileşmesine olanak sağlar. Bu durum beyazlatma sonucunun ve kök kanal tedavisinin prognozunu olumsuz etkiler. Sonuçlar hastanın özel plağı kullanımına bağlıdır (Plotino ve ark., 2008; Portillo ve ark., 2025).

2.3.4. Lazer Destekli İnternal Beyazlatma Tekniği

Diyot, Er:YAG veya Nd:YAG lazerleri kullanılarak yapılan lazer aktivasyonu lokal olarak sıcaklığı yükselterek, serbest radikal üretimini artırarak ve oksidasyon reaksiyonunu hızlandırarak pulpa odasındaki hidrojen peroksitin ayrışmasını artırabilir. Rejeneratif endodontik tedaviler sonrasında renklenmiş dişlerde daha umut verici bir beyazlatma tekniğidir.

Kiryk ve ark. (2024) tarafından yayınlanan sistematik bir derleme lazer destekli beyazlatmanın etkinliğini doğrulamış, ancak mevcut verilerin kalitesinin düşük-orta düzeyde olduğu, çalışmalar arasında lazer parametreleri ve beyazlatma ajanı konsantrasyonlarında büyük farklılıklar olduğu belirtilmiştir. Bu teknik yardımcı bir yöntem olarak değerlendirilmelidir (Kiryk ve ark., 2024).

2.4. Koruyucu Bariyer

Koruyucu bariyer ile kök kanalının koronal üst kısmı mine sement sınırında kapatılarak peroksitin servikal bölgeye difüzyonu önlenir (Sakallı ve ark., 2022).

Devital beyazlatma işleminin tüm aşamaları arasında iyi bir koruyucu bariyer oluşturmak göz ardı edilmemesi gereken bir kriterdir. Koruyucu bariyer dış servikal rezorpsiyona karşı birincil savunma hattıdır. Servikal seviyede dentin tübüllerini fiziksel olarak kapatarak, peroksit moleküllerinin kök dentinin içinden periodontal ligamente geçmesini engeller ve yıkıcı enflamatuvar yanıtın başlamasını önler.

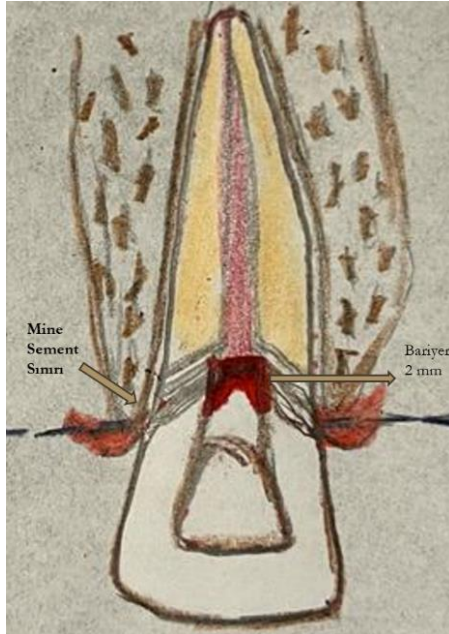
2.4.1. Koruyucu Bariyer Materyalleri

Koruyucu bariyer materyalleri olarak IRM, Cavit, Coltosol, çinko oksit-öjenol siman, çinko fosfat siman, light-cure rezinler, geleneksel cam iyonomer siman (GIC), rezin modifiye cam iyonomer siman (RMGIC), MTA ve Biodentin kullanılabilir (Feiz ve ark., 2023). Sakallı ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, yaygın olarak kullanılan dört tane bariyer materyali (Glass Ionomer Cement (GIC), TheraBase, ProRootMTA ve Biodentine) %35 hidrojen peroksit jel ve sodyum perboratın sızdırmazlığı

yönünden değerlendirilmiştir. Biodentine ve ProRootMTA, birinci ve dördüncü günlerde en düşük peroksit sızıntısını gösterirken, birinci günde en fazla peroksit sızdırmasıyla GIC en düşük performansı göstermiştir. Çalışmada hangi bariyer kullanılırsa kullanılsın sodyum perboratın hidrojen peroksitten önemli ölçüde daha az sızdırdığı bildirilmektedir.



Resin modifiye cam iyonomer siman (Glass Liner)



Koruyucu bariyer (Çizim: Doç. Dr. Işıl Kaya Büyükbayram)

Abduljalil ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada koruyucu bariyerlerin endodontik tedavi görmüş beyazlatılmış dişleri kök kırılmasına karşı güçlendirdiği de vurgulanmaktadır, bu da koruyucu bariyerlerin yapılmasını çift amaçlı bir koruma haline getirir. Materyal seçimi açısından mevcut kanıtlar üstün sızdırmazlık kabiliyeti ve mükemmel biyouyumluluğu nedeniyle Biodentine'i en iyi performans gösteren koruyucu bariyer materyali olarak değerlendirirken, daha kısa uygulama süresi pratik bir dezavantaj olsa da ProRootMTA Biodentine'i yakından takip etmektedir. Tercih edilen materyaller mevcut olmadığında, sızdırmazlık performanslarının nispeten daha düşük olduğu rezin modifiye GIC ve geleneksel GIC kabul edilebilir seçenekler olmaya devam etmektedir. Işıklı sertleşen kalsiyum silikat bazlı bir materyal olan TheraCal LC; bonding ajanıyla birlikte kullanıldığında iyi kırılma direnci sonuçları gösterdiği için giderek pratik bir seçim haline gelmektedir (Sakallı ve ark., 2022; Abduljalil ve ark., 2023; Geo ve ark., 2023).

3. KLİNİK UYGULAMALAR VE KOMPLİKASYONLAR

3.1. Eksternal Kök Rezorpsiyonu (ECR)

Ekstrenal kök rezorpsiyonun bildirilen insidansı %4'ün altındadır ve intrakoronal beyazlatmanın en önemli uzun vadeli komplikasyonu olmaya devam etmektedir. Bu komplikasyon asidik beyazlatma ajanlarının mine-sement sınırındaki dentin tübülllerinden periodontal ligament içine yayılması ve osteoklastik aktiviteyi tetiklemesi ile ortaya çıkar. Risk faktörleri arasında mine-sement sınırındaki kök sementindeki kusurlar, genç hasta yaşı, yüksek konsantrasyonlu hidrojen peroksit kullanımı, yetersiz servikal bariyer ve önceki travmalar sayılabilir. Sodyum perborat-su ve Biodentin koruyucu bariyerleri kullanan modern protokoller bu riski önemli ölçüde azaltmıştır (Sakallı ve ark., 2022; Newton ve ark., 2020).

3.2. Kompozitin Bağlanma Dayanımı Değerinde Azalma

Beyazlatma ajanlarından kalan oksijen adeziv rezinlerin polimerizasyonunu engeller. Beyazlatma işleminden sonra, bitim kompozit restorasyon öncesinde en az iki haftalık bir bekleme süresi gereklidir. Alternatif olarak, yedi günlük kalsiyum hidroksit pansumanı oksidatif ortamı nötralize etmeye ve dentin geçirgenliğini kısmen geri kazanmaya yardımcı olabilir (Kahler, 2022).

3.3. Tekrarlayan Renklenme

16 yıl boyunca takip edilen vakaların %37'sinde renklenmenin tekrarı bildirilmiştir (Amato ve ark., 2006). Ancak beyazlatmanın tekrarı mümkündür ve genellikle etkilidir. Nüks ile ilişkili faktörler arasında yetersiz koronal sızdırmazlık, beslenme alışkanlıkları ve orijinal renk değişikliğinin şiddeti sayılabilir (Kahler, 2022).

3.4. Dentin Mikrosertliği ve Geçirgenliği

Yüksek konsantrasyonlu beyazlatıcı ajanlar dentinin mikro sertliğini azaltabilir, dentin geçirgenliğini artırabilir ve zamanla diş yapısını zayıflatabilir. Sodyum perborat su ile birlikte kullanıldığında dentinde en az yapısal değişikliğe neden olur ve en güvenli uzun vadeli seçenek olarak değerlendirilmektedir (Kahler, 2022).

KAYNAKLAR

- Abduljalil M, Sakalli B, Basmaci F. (2023). Impact of different intraorifice barriers on fracture resistance of non-vital bleached teeth. *Niger J Clin Pract*, 26(1):95–101.
- Aljanahi M, Alhussin A, Elbishari H. (2025). Challenges faced when masking a single discoloured tooth — Part 1: aetiology and non-invasive management. *British Dental Journal*, 238(12),919–24.
- Amer M. (2023). Intracoronal tooth bleaching - A review and treatment guidelines. *Aust Dent J*, 68(1),141-52.
- Aragão WAB, Chemelo VS, Alencar CM, et al. (2024). Biological action of bleaching agents on tooth structure: A review. *Histol Histopathol*, 39(10):1229-43.
- D GT Jr, Gupta S, Rana KS, et al. (2023). Evaluating the Effect of Different Intra-Orifice Barriers and Various Bleaching Agents on the Fracture Resistance of Teeth After the Walking Bleach Procedure: An In Vitro Study. *Cureus*, 15(6),e40509.
- de Campos IVB, Vieira WA, de Almeida RF, et al. In Vitro Dental Discoloration Provoked by Intracanal Calcium Silicate-based Dressing Used for Regenerative Endodontic Procedures: An One-year Spectrometric Analysis. *J Endod*, 49(7),846-51.
- Eachempati P, Kumbargere Nagraj S, Kiran Kumar Krishanappa S, Gupta P, Yaylali IE. (2018). Home-based chemically-induced whitening (bleaching) of teeth in adults. *Cochrane Database Syst Rev*, 12(12),CD006202.

- Feiz A, Faghihian H, Mahdaviani MS. (2023). Effect of Different Protective Bases on pH Changes and Hydrogen Peroxide Microleakage During Intracoronar Bleaching. *Front Dent*, 20,14.
- Fioresta R, Melo M, Forner L, Sanz JL. (2023). Prognosis in home dental bleaching: a systematic review. *Clin Oral Investig*, 27(7),3347-61.
- Frank AC, Kanzow P, Rödiger T, Wiegand A. (2022). Comparison of the Bleaching Efficacy of Different Agents Used for Internal Bleaching: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Endod*, 48(2),171-8.
- Gade V, Dr. Chaudhary Y, ChawareP, et al. (2025). Advances In Dental Bleaching Techniques. *Journal of Neonatal Surgery*, 14(11s),163-8.
- Greenwall L. (2017). Tooth whitening techniques. London: CRC Press.
- Jahangeer B, Sachdeva M, Moses A. (2024). Evaluation and Comparative Analysis of Coronal Tooth Discoloration Induced by Four Endodontic Biomaterials Utilized in Regenerative Endodontic Procedures: An Ex-vivo Study. *Cureus*, 16(6),e62874.
- Jin Y, Paranhos KS, Salamone A, et al. (2026) Internal Tooth Whitening. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL), StatPearls Publishing.
- Kahler B. (2022). Present status and future directions — Managing discoloured teeth. *International Endodontic Journal*, 55(4),922–50.
- Kiryk J, Kiryk S, Kensy J, et al. (2024). Effectiveness of laser-assisted teeth bleaching: a systematic review. *Applied Sciences*, 14(20):9219.
- Knezevic N, Obradovic M, Dolic O, et al. (2022) Clinical testing of walking bleach, in-office, and combined bleaching of endodontically treated teeth. *Medicina (Kaunas)*, 59(1),18.
- Meng T, Wang Z, Li H, et al. (2025) The Effects of Azithromycin Modified Triple Antibiotic Paste in Resolving Periapical Inflammation. *Int Dent J*, 75(5),100895.
- Monteiro J, Balmer R, Lafferty F, Lyne A, Mighell A, O'Donnell K, Parekh S. (2024). Establishment of a clinical network for children with amelogenesis imperfecta and dentinogenesis imperfecta in the UK: 4-year experience. *Eur Arch Paediatr Dent*, 25(1), 85–91.
- Newton R, Hayes J. (2020). The association of external cervical resorption with modern internal bleaching protocols: what is the current evidence?. *Br Dent J*, 228(5):333-7.
- Perdigão J. (2016). Tooth Whitening An Evidence-Based Perspective. Minneapolis: Springer.

- Plotino G, Buono L, Grande NM, Pameijer CH, Somma F. (2008). Nonvital tooth bleaching: a review of the literature and clinical procedures. *Journal of Endodontics*, 34(4),394–407.
- Portillo FRL, Urias AEV, Arredondo TG, et al. (2025). Internal tooth bleaching: a review. *Int Surg J*, 12(6),1053-9.
- Rossi-Fedele G, Doğramacı EJ, Guastalli AR, Steier L, de Figueiredo JA. (2012). Antagonistic interactions between sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA, and citric acid. *J Endod*, 38(4),426-31.
- Sakalli B, Basmacı F, Dalmazrak O. (2022). Evaluation of the penetration of intracoronar bleaching agents into the cervical region using different intraorifice barriers. *BMC Oral Health*, 22(1),266.
- Sismanoglu S, Yildirim-Bilmez Z, Gurcan AT, Gumustas B, Taysi M, Berkman M. (2022). Influence of intracoronar bleaching agents on the bond strength of MTA cements to composite resin and their surface morphology. *Odontology*, 110(1),148-56.
- Sönmez Aydın S. (2025). Intracoronar Bleaching of Non-Vital Teeth: Novel Techniques and Clinical Protocols. *J Int Dent Sci*, 11(3),151-64.

POLİDİASTEMALARIN RESTORASYONUNDA GÜNCEL BİR TEKNİK: BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE ŞEFFAF MATRİS ENJEKSİYON UYGULAMASI

Hilal ATEŞ

- ❖ Kurum Bilgisi: Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Erzurum/TÜRKİYE
- ❖ ORCID:
- ❖ Mail: hilalakin.72@gmail.com

Merve İŞCAN YAPAR

- ❖ Kurum Bilgisi: Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Erzurum/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-9712-0978
- ❖ Mail: dt.merveiscan@hotmail.com

GİRİŞ

Günümüzde estetik restoratif tedaviler, gelişen teknoloji ve hastaların artan estetik taleplerinden dolayı oldukça popülerdir. Ön bölgede görülen diastemalar en yaygın görülen ve hastalar tarafından en sık dile getirilen estetik problemidir (Chu et al., 2011; Romero et al., 2018). Diastemalar literatürde iki diş arasındaki 0,5 mm'den büyük boşluklar olarak tanımlanır. (Keene, 1963) Multifaktöriyel etyolojiye sahip olan diastemalar birden fazla diş arasında görüldüğünde ise “polidiastema” olarak adlandırılır. Kalıtsal, kazanılmış veya fonksiyonel sebepler diastema oluşumuna sebebiyet verebilir (Gkantidis et al., 2007).

Etiyolojinin belirlenmesinin ardından diastemaların tedavisi; cerrahi, ortodontik, protetik ve restoratif yaklaşımların tek başına veya kombine şekilde uygulanmasını gerektirebilir. Tedavi planlamasında biyomekanik gereksinimler, hasta beklentileri ve ekonomik faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. (Bello & Jarvis, 1997). Ortodontik tedavi, diş dokusunun korunması açısından avantajlı olmakla birlikte, uzun tedavi süresi ve hasta kooperasyonu gereksinimi gibi sınırlamalara sahiptir. (Oquendo et al., 2011). Protetik yaklaşımlar ise estetik açıdan başarılı sonuçlar sunabilmesine rağmen, genellikle diş dokusunda preparasyon gerektirmesi ve çok aşamalı klinik süreçleri içermesi nedeniyle daha invaziv yöntemler arasında yer almaktadır (Novelli & Scribante, 2020; Viswambaran et al., 2015). Bu yaklaşımlara alternatif olarak, direkt rezin kompozit restorasyonlar minimal invaziv özellikleri ile öne çıkmaktadır. Günümüzde dijital teknolojilerin gelişimi ile birlikte, direkt restorasyonlarda form ve simetri açısından öngörülebilirlik artmış; Dijital Gülüş Tasarımı (DSD), bilgisayar destekli sistemler ve dijital ölçü teknikleri klinik uygulamaların doğruluğunu ve kontrolünü önemli ölçüde geliştirmiştir. (Coachman, De Arbeloa, et al., 2020).

Son yıllarda geliştirilen yüksek dolduruculu akışkan kompozit materyaller, klasik akışkan kompozitlerin mekanik yetersizliklerini büyük ölçüde ortadan kaldırmış ve kullanım alanlarını genişletmiştir. (Bonilla et al., 2003; Lee et al., 2003; Milnar FJ, 2006) Bu gelişmeler doğrultusunda öne çıkan enjeksiyon tekniği (injection moulding technique), özellikle minimal invaziv restorasyonlarda, diş morfolojisinin hızlı, kontrollü ve öngörülebilir şekilde yeniden oluşturulmasına olanak tanımaktadır. (D. Terry et al., 2014).

Bu bölümde, polidiastema vakalarının tedavisinde bilgisayar destekli tasarım ile hazırlanan modeller ve şeffaf matrisler kullanılarak uygulanan enjeksiyon tekniğinin klinik protokolü ayrıntılı olarak sunulmakta; ayrıca

kullanılan materyallerin özellikleri ve tekniğin klinik avantajları ele alınmaktadır.

Klinik Protokol

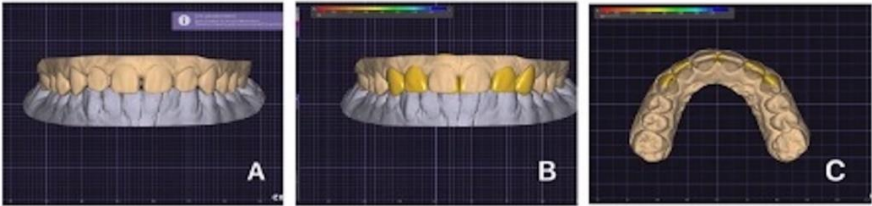
22 yaşında erkek hasta, üst anterior bölgede mevcut diastemalar nedeniyle kliniğimize başvurdu. Hastadan alınan ayrıntılı anamnezde herhangi bir sistemik hastalık öyküsüne rastlanmadı. Klinik muayenede ağız hijyeninin iyi olduğu ve periodontal dokuların sağlıklı olduğu gözlemlendi. Yapılan detaylı intraoral değerlendirme sonucunda hastanın 13, 12, 11, 21, 22 ve 23 numaralı dişleri arasında diastemalar bulunduğu tespit edildi (Şekil 1).



Şekil 1. Başlangıç Profil ve Cephe Görüntüleri

Hastaya mevcut duruma yönelik ortodontik, protetik ve restoratif tedavi seçenekleri hakkında bilgi verildi. Tedavi süresi, maliyet ve minimal invaziv yaklaşım kriterleri göz önünde bulundurularak, daha hızlı ve diş dokusunu koruyan bir yöntem olan direkt rezin kompozit restorasyon uygulanmasına karar verildi. Bu doğrultuda, direkt restoratif tekniklerden biri olan enjeksiyon tekniği (injection moulding technique) tercih edildi.

Ağız içi tarama yapılamadığından hastadan bir C tipi silikon ölçü materyali (Zetaplus, Zhermack SpA, İtaly) kullanılarak teşhis modeli elde edildi. Elde edilen model laboratuvarında taranarak bilgisayar destekli tasarım programına (Exocad DentalCAD, exocad GmbH, Darmstadt, Almanya) aktarıldı (Şekil 2A). Dişlerin mezio-distal genişlikleri ve dişeti bölgesi dikkate alınarak restorasyon tasarımı gerçekleştirildi (Şekil 2B, C).



Şekil 2 A-C. Teşhis Modeli ve Bilgisayar Programıyla Yapılan Tasarım

Hazırlanan dijital tasarım doğrultusunda 3D yazıcı ile fiziksel model elde edildi (Şekil 3A). Bu model üzerinden şeffaf silikon materyal (Exaclear, GC, Tokyo, Japonya) kullanılarak bir indeks hazırlandı. Elde edilen indeksin kenarları bistüri yardımıyla düzenlendi ve restore edilecek dişlerin insizal bölgelerine materyal enjeksiyonuna olanak sağlayacak giriş delikleri açıldı (Şekil 3B).

Diş rengi A1 olarak belirlendi. İzolasyon amacıyla dişler birer aralık bırakılarak teflon bant ile ayrıldı. Açıkta kalan diş yüzeylerine %37'lik ortofosforik asit (Vococid, VOCO, Almanya) 30 saniye süreyle uygulandı. Asidin yıkanıp kurutulmasının ardından mine yüzeylerine adeziv ajan (G-Premio Bond, GC, Tokyo, Japonya) uygulanarak polimerize edildi. Silikon indeksin diş yüzeyine adaptasyonu sağlandıktan sonra, ilgili dişlere sırasıyla akışkan kompozit rezin (G-aenial Injectable, GC, Tokyo, Japonya) enjekte edildi ve her bir diş 1000 mW/cm² ışık gücüne sahip LED cihazı (Eighteeth, Changzhou, Çin) ile 20 saniye süreyle polimerize edildi (Şekil 3C). Aynı prosedür komşu dişler için aşamalı olarak tekrarlandı.



Şekil 3A-C. 3D Yazıcıdan Elde Edilen Model, Şeffaf Silikon İndeks, İndeksin Ağız İçi Uyumlanması ve Kompozit İçin Delik Açılması

Restorasyonların tamamlanmasının ardından bitim ve polisaj işlemleri, kalın grenliden ince grenliye doğru sıralanan parlatma diskleri (Sof-Lex, 3M ESPE, St. Paul, MN, ABD) kullanılarak gerçekleştirildi. Dişeti uyumu ve olası marjinal düzensizliklerin değerlendirilmesi amacıyla hasta birer hafta arayla iki kez kontrole çağrıldı ve gerekli düzeltmeler yapıldı (Şekil 4).



Şekil 4. Bitim Cephe ve Profil Fotoğrafları

Teknik Materyal Analizi ve Klinik Gerekçeler

Polidiastemaların enjeksiyon tekniği ile restorasyonunda başarı, kullanılan materyallerin birbiriyle olan fiziksel ve optik uyumuna bağlıdır. Bu vakada tercih edilen materyaller, geleneksel yöntemlerin sınırlamalarını aşmak amacıyla seçilmiştir.

1. Şeffaf Vinil Polisiloksan (VPS) Matrisin Rolü

Vakada kullanılan Exaclear (GC), yüksek derecede şeffaflığa sahip bir vinil polisiloksan ölçü maddesidir. Geleneksel silikon anahtarların aksine bu materyalin şeffaflığı, klinisyene şu avantajları sağlar;

-Görsel Kontrol: Enjeksiyon sırasında akışkan kompozitin boşlukları doldurma süreci ve hava kabarcığı oluşup oluşmadığı anlık olarak izlenebilir.
-Polimerizasyon Derinliği: Işığın matris içinden geçerken minimal kayba uğraması, restorasyonun en derin bölgelerinde bile tam polimerizasyonun gerçekleşmesini sağlar.

-Boyutsal Stabilité: 3D yazıcıdan elde edilen model üzerindeki detayları yüksek hassasiyetle kopyalayarak ağız içinde kusursuz bir uyum sergiler.(Veneziani, 2025).

2.Yüksek Dolduruculu Enjekte Edilebilir Kompozitler

Restorasyon aşamasında tercih edilen G-aenial Universal Injectable (GC), konvansiyonel akışkan kompozitlerden farklı olarak geniş endikasyonlara yönelik tasarlanmış bir materyaldir. Bu materyalin öne çıkan özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

-Tiksotropik özellik: Materyal, enjeksiyon sırasında düşük viskozite göstererek dar alanlara kolayca yayılır; ancak enjeksiyon durduğunda formunu koruyarak çökme yapmaz.

-Aşınma Direnci: İçerdiği yüksek orandaki baryum cam partikülleri ve nano-doldurucu teknolojisi sayesinde, çiğneme kuvvetlerine karşı geleneksel macun kıvamındaki (paste) kompozitlere eşdeğer direnç gösterir.

- Polisaj Kolaylığı: Materyalin homojen yapısı, bitim işlemlerinde yüksek bir yüzey parlaklığı elde edilmesini ve bu parlaklığın uzun dönemde korunmasını kolaylaştırır.(Hirata-Tsuchiya et al., 2017; Kitasako et al., 2016; Sumino et al., 2013).

3. CAD/CAM Entegrasyonu ve Öngörülebilirlik

Geleneksel wax-up (mum modelaj) yönteminde insan eline bağlı simetri hataları oluşabilirken, Exocad yazılımı üzerinden yapılan tasarımda "aynalama" (mirroring) özelliği kullanılarak sağ ve sol segmentlerin tam simetrisi sağlanmıştır. Bu dijital iş akışı, hastanın beklentilerini henüz tedavi başlamadan görselleştirmeye ve final restorasyonun formunu hatasız bir şekilde klinik ortama aktarmaya yardımcı olmuştur.(Coachman, Arbeloa, et al., 2020).

Klinik Değerlendirme ve Yöntemlerin Karşılaştırılması”

Diastemaların restoratif rehabilitasyonu, estetik ve fonksiyonel parametrelerin birlikte değerlendirilmesini gerektiren kompleks bir süreçtir. Özellikle polidiastema vakalarında, çok sayıda diş arasındaki boşlukların simetrik, doğal diş morfolojisine uygun ve periodontal dokularla uyumlu şekilde kapatılması, geleneksel yöntemlerle klinik açıdan zorlayıcı olabilmektedir. Bu bölümde, uygulanan CAD destekli enjeksiyon tekniğinin klinik etkinliği ve diğer tedavi seçenekleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

1. Tedavi Seçeneklerinin Kıyaslanması

Diastema tedavisinde ortodontik, protetik ve restoratif olmak üzere üç temel yaklaşım bulunmaktadır. Ortodontik tedavi, diş dokusunun korunması açısından en konservatif yöntem olarak kabul edilmekle birlikte, uzun tedavi süresi, hasta kooperasyonu gereksinimi ve maliyet gibi sınırlamalara sahiptir. Ayrıca, diş-boyut ark uyumsuzluğunun söz konusu olduğu vakalarda tek başına yeterli olmayabilir ve restoratif müdahalelerle desteklenmesi gerekebilir.(Oquendo et al., 2011).

Protetik tedavi seçenekleri arasında yer alan tam seramik kronlar ve porselen laminate veneerler, üstün estetik sonuçlar sunmalarına rağmen, sağlıklı diş dokusundan preparasyon gerektirmeleri nedeniyle daha invaziv yaklaşımlar arasında değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra, çok aşamalı klinik ve laboratuvar süreçleri ile maliyet faktörü de göz önünde bulundurulmalıdır.(Novelli & Scribante, 2020; Viswambaran et al., 2015).

Direkt rezin kompozit restorasyonlar ise minimal invaziv yaklaşımlar içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Diş dokusunda aşındırma gerektirmemesi, tek seansta uygulanabilmesi, tamir edilebilir olması ve

maliyet etkinliği gibi avantajları, özellikle estetik beklentisi yüksek olan genç hastalarda bu yöntemi ön plana çıkarmaktadır.

2. Dijital İş Akışının Öngörülebilirliğe Etkisi

Geleneksel serbest el kompozit restorasyonlarında, proksimal konturların ve embraşürlerin manuel olarak şekillendirilmesi hem zaman alıcıdır hem de operatör bağımlılığı nedeniyle simetri hatalarına açıktır. Bu çalışmada kullanılan bilgisayar destekli tasarım süreci, restorasyonların klinik uygulama öncesinde dijital ortamda ideal morfolojiye getirilmesine olanak tanımıştır.

Dijital tasarımın 3D yazıcı ile fiziksel modele dönüştürülmesi ve bu model üzerinden şeffaf silikon indeks hazırlanması, planlanan restorasyon formunun klinik ortama yüksek doğrulukla aktarılmasını sağlamaktadır. Bu yaklaşım hem işlem süresini kısaltmakta hem de restorasyonların estetik açıdan öngörülebilirliğini artırmaktadır.(Veneziani, 2025).

3. Enjeksiyon Tekniğinin Avantajları

Enjeksiyon tekniği, geleneksel tabakalama yöntemine kıyasla daha kontrollü ve tekrarlanabilir bir uygulama süreci sunmaktadır. Özellikle şeffaf matris kullanımı ile birlikte bu teknik, klinik uygulamada çeşitli avantajlar sağlamaktadır:

-Hava kabarcığı oluşumunun azaltılması: Tabakalama yönteminde katmanlar arasında oluşabilecek boşluklar, enjeksiyon sırasında materyalin kesintisiz akışı sayesinde büyük ölçüde minimize edilmektedir.

-Marjinal uyumun artırılması: Şeffaf indeksin diş yüzeyine tam adaptasyonu, restorasyonun servikal ve proksimal sınırlarında daha hassas bir uyum elde edilmesini sağlamaktadır.

-Polimerizasyon etkinliği: Şeffaf silikon materyallerin ışık geçirgenliği, kompozitin tüm yüzeylerinde yeterli polimerizasyon sağlanmasına katkıda bulunarak büzülme streslerinin kontrolüne yardımcı olmaktadır.

-Zaman etkinliği ve standardizasyon: Dijital olarak planlanan restorasyonun indeks aracılığıyla aktarılması, klinik süreci kısaltmakta ve operatör kaynaklı değişkenliği azaltmaktadır.(Hirata-Tsuchiya et al., 2017; Shinkai et al., 2018).

Klinik Değerlendirme ve Sınırlamalar

Bu vakada kullanılan yüksek dolduruculu enjekte edilebilir kompozit materyaller, mekanik dayanıklılık ve estetik özellikler açısından tatmin edici sonuçlar sunmuştur. Klinik kontrollerde restorasyonların diş eti ile uyumlu olduğu ve yüzey parlaklığının yeterli düzeyde korunduğu gözlenmiştir. Bu durum, tekniğin periodontal dokularla uyumlu ve estetik açıdan başarılı bir rehabilitasyon sağlayabildiğini göstermektedir.

Bununla birlikte, enjeksiyon tekniğinin bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Özellikle doğru indeks adaptasyonunun sağlanamaması, materyal taşkınlıkları ve oklüzal uyumsuzluklara yol açabilir. Bu nedenle bu teknikte rubber dam izolasyonu çoğu zaman tercih edilmemektedir çünkü rubber dam kullanımı indeksin diş yüzeyine tam adaptasyonunu ve materyal akışının kontrolünü zorlaştırabilir. Ayrıca teknik, dijital planlama ve laboratuvar aşamalarına bağımlı olduğundan belirli bir ekipman ve deneyim gerektirmektedir. Uzun dönem klinik başarıya ilişkin verilerin sınırlı olması da göz önünde bulundurulmalıdır.(Geştakovski, 2019; D. A. Terry et al., 2024)

SONUÇ

Polidiastema vakalarının estetik ve fonksiyonel olarak rehabilitasyonu, doğru tedavi planlaması ve uygun teknik seçimi ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu bölümde sunulan CAD destekli enjeksiyon tekniği, minimal invaziv yaklaşımı, öngörülebilir sonuçlar sağlaması ve klinik uygulama süresini kısaltması açısından etkili bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Dijital iş akışı ile kombine edilen bu teknik, restorasyonların morfolojik doğruluğunu artırmakta ve klinik aşamada operatör kaynaklı hataları minimize etmektedir. Ayrıca, yüksek dolduruculu enjekte edilebilir kompozit materyallerin kullanımı hem estetik hem de mekanik açıdan tatmin edici sonuçlar elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte, tekniğin başarısı doğru endikasyon, dikkatli klinik uygulama ve uygun materyal seçimi ile yakından ilişkilidir. Özellikle indeks adaptasyonu ve polimerizasyon kontrolü gibi kritik aşamalara özen gösterilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, CAD destekli enjeksiyon tekniği, uygun hasta seçimi yapılan polidiastema vakalarında, estetik, konservatif ve klinik olarak uygulanabilir bir tedavi seçeneği olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Bello, A., & Jarvis, R. H. (1997). A review of esthetic alternatives for the restoration of anterior teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 78(5), 437–440. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(97\)70056-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(97)70056-8)
- Bonilla, E., Yashar, M., dentistry, A. C.-T. J. of prosthetic, & 2003, undefined. (n.d.). Fracture toughness of nine flowable resin composites. *ElsevierED Bonilla, M Yashar, AA CaputoThe Journal of Prosthetic Dentistry, 2003•Elsevier*. Retrieved September 2, 2024, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022391302527013>
- Chu, C. H., Zhang, C. F., & Jin, L. J. (2011). Treating a maxillary midline diastema in adult patients: A general dentist's perspective. *The Journal of the American Dental Association*, 142(11), 1258–1264. <https://doi.org/https://doi.org/10.14219/jada.archive.2011.0110>
- Coachman, C., De Arbeloa, L., Mahn, G., Sulaiman, T. A., & Mahn, E. (2020). An Improved Direct Injection Technique With Flowable Composites. A Digital Workflow Case Report. *Operative Dentistry*, 45(3), 235–242. <https://doi.org/10.2341/18-151-T>
- Gkantidis, N., Psomiadis, S., & Topouzelis, N. (2007). Teeth spacing: etiology and treatment. *Researchgate.Net*.
- Keene, H. J. (1963). Distribution of diastemas in the dentition of man. *American Journal of Physical Anthropology*, 21(4), 437–441. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330210402>
- Lee, I., Son, H., Materials, C. U.-D., & 2003, undefined. (n.d.). Rheologic properties of flowable, conventional hybrid, and condensable composite resins. *ElsevierIB Lee, HH Son, CM UmDental Materials, 2003•Elsevier*. Retrieved September 2, 2024, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0109564102000581>
- Novelli, C., & Scribante, A. (2020). Minimally Invasive Diastema Restoration with Prefabricated Sectional Veneers. *Dentistry Journal 2020, Vol. 8, Page 60*, 8(2), 60. <https://doi.org/10.3390/DJ8020060>
- Oquendo, A., Brea, L., & David, S. (2011). Diastema: Correction of excessive spaces in the esthetic zone. *Dental Clinics of North America*, 55(2), 265–281. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2011.02.002>
- PPAD, F. M.-P. P. & A. D., & 2006, undefined. (2006). Incorporating flowable composites into the minimally invasive treatment sequence for

aesthetic enhancement. *Practical Procedures & Aesthetic Dentistry: PPAD*. <https://europepmc.org/article/med/16805352>

- Romero, M. F., Babb, C. S., Brenes, C., & Haddock, F. J. (2018). A multidisciplinary approach to the management of a maxillary midline diastema: A clinical report. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(4), 502–505. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.06.017>
- Terry, D., Powers, J., Mehta, D., Today, V. B.-D., & 2014, undefined. (n.d.). A predictable resin composite injection technique, part 2. *Europepmc.Org*. Retrieved September 2, 2024, from <https://europepmc.org/article/med/25174193>
- Viswambaran, M., Londhe, S. M., & Kumar, V. (2015). Conservative and esthetic management of diastema closure using porcelain laminate veneers. *Medical Journal Armed Forces India*, 71, S581–S585. <https://doi.org/10.1016/J.MJAFI.2014.08.014>

CAM SERAMİK LAMİNA VENEERLER: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Ayşe Yekta ŞEKER

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0005-9138-0671
- ❖ Mail: yektainecik14@gmail.com

Yusuf Kamil ŞEKER

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0004-1668-3114
- ❖ Mail: yusufkamil95@gmail.com

Emine Begüm BÜYÜKERKMEN

- ❖ Kurum Bilgisi: Protetik Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-5403-667X
- ❖ Mail: bbuyukerkmen@erbakan.edu.tr

GİRİŞ

Günümüzde dental materyallerde ve teknolojiye yaşanan yeni gelişmelerle birlikte estetik diş hekimliği daha yaygın hale gelmiştir. Hastalar, özellikle renklenme, çapraşıklık ve şekil bozukluğu gibi estetik sorunlarının, diş dokusundan mümkün olduğunca az madde kaldırılarak tedavi edilmesini tercih etmektedir (Azer, Ayash, Johnston, Khalil, & Rosenstiel, 2006).

Porselen lamina veneerler ilk kez 1938 yılında Dr. Charles Pincus tarafından protetik adezivler kullanılarak uygulanmıştır. Ancak o dönemde kalıcı ve güçlü bir bağlanma sağlayabilecek adeziv sistemler henüz geliştirilmemiş olduğundan, porselen lamina veneer restorasyonların retansiyonu sınırlı kalmış ve restorasyonların ayrılması kolay olmuştur (Peumans, Van Meerbeek, Lambrechts, & Vanherle, 2000).

Teknolojik gelişmelerle birlikte seramik lamina veneerlerin üretim yöntemlerinde önemli değişiklikler yaşanmış; diş hekimliğinde kullanılan seramik materyallerin, rezin simanların ve adeziv sistemlerin gelişimi sayesinde minimal diş preparasyonları mümkün hale gelmiştir. Özellikle mine dokusundan en az düzeyde madde kaldırılarak lamina veneer restorasyonlarla estetik tedavilerin uygulanabilmesi sağlanmıştır (Schmitter & Seydler B, 2012).

Protetik tedavilerde sıklıkla tercih edilen dental seramik materyaller; yüksek biyouyumlulukları ve doğal diş dokusuna benzer optik özellikleri sayesinde estetik beklentileri karşılamada önemli avantajlar sunmaktadır. Düşük plak retansiyonu, sınırlı termal iletkenlik, aşınmaya karşı direnç ve uzun dönem renk stabilitesi bu materyallerin olumlu yönleri arasında yer alır. Ancak kırılğan yapıları ve düşük çekme dayanımları, tedavilerde dikkat edilmesi gereken başlıca sınırlılıklarındandır.

Doğal dişler, mine, dentin ve pulpa gibi farklı histolojik tabakalardan oluşan kompleks bir biyolojik yapıya sahiptir. Bu tabakaların her biri ışıkla farklı şekillerde etkileşime girer ve dişin genel optik karakterini belirler. Özellikle mine dokusu yarı saydam yapısıyla ışığın geçişine olanak sağlarken, dentin dokusu ışığın yansıma ve absorpsiyon özellikleri sayesinde dişe derinlik ve renk tonunu kazandırır. Işığın diş sert dokularında yansıma, iletim ve saçılma biçimi; translusensi, opalesans ve floresans gibi optik özelliklerin oluşumunda belirleyici rol oynar. Bu optik etkileşimler, doğal diş görünümünün canlılık ve derinlik algısını oluşturan temel unsurlardır. Seramik lamina veneer restorasyonların başarısı da büyük ölçüde bu doğal

optik özelliklerin taklit edilebilmesine bağlıdır. Günümüzde geliştirilen cam seramik materyaller, mineye benzer ışık geçirgenliği ve estetik performans sunacak şekilde tasarlanmaktadır. Uygun vaka seçimi, doğru materyal tercihi ve adeziv simantasyon protokolünün doğru uygulanması durumunda, seramik lamina veneerler doğal diş yapısının ışık davranışını taklit edebilmekte; böylece yüksek estetik beklentileri karşılayan, biyolojik olarak uyumlu ve uzun dönem klinik başarı sağlayan restorasyonlar elde edilebilmektedir (Chaiyabutr, Kois, LeBeau, & Nunokawa, 2011; Heydecke, Zhang, & Razzoog, 2001).

Dental Cam Seramiklerin Sınıflaması

Diş hekimliğinde kullanılan seramik materyaller, sahip oldukları yapısal ve fiziksel özelliklere göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu materyaller; pişirme sıcaklıklarına, klinik kullanım alanlarına, destekleyici altyapı tipine, üretim yöntemlerine ve mikroyapısal özelliklerine göre çeşitli gruplar altında incelenmektedir. Bu sınıflandırmalar, materyalin mekanik performansı, optik özellikleri ve klinik endikasyonlarının belirlenmesinde yol gösterici olmaktadır (Yamalı & Turhan Bal, 2022).

En güncel olarak Gracis ve arkadaşları, seramik materyallerini 3 grup altında sınıflamışlardır.



Şekil 1. Seramik ve Seramik Benzeri Materyaller (Gracis, Thompson, Ferencz, Silva, & Bonfante, 2016)

1. Cam Matriks Seramikleri

1.1. Feldspatik Seramikler

Geleneksel porselenler, feldspat, kaolin ve kuvars bileşenlerinden oluşan üçlü bir yapısal sisteme dayanmaktadır (Ramos et al., 2016). Bu

kompozisyon, porselenin hem cam matriksini hem de kristalin fazını oluşturarak materyalin optik ve mekanik özelliklerini belirlemektedir.

Feldspatik porselenler yüksek oranda cam faz içermektedir. Cam matriks miktarının fazla olması, materyale üstün estetik özellikler kazandırmakla birlikte, yaklaşık 60–70 MPa düzeyindeki bükülme dayanımı ile sınırlı mekanik performans göstermesine neden olmaktadır (Sadaqah, 2014).

Bu materyaller, farklı üretim teknikleri kullanılarak üretilmektedir. Geleneksel platin folyo yöntemi ve refraktör day tekniğine ek olarak, presleme yöntemi ve günümüzde yaygın biçimde kullanılan CAD/CAM sistemleri de başlıca üretim yöntemleri arasında yer almaktadır (Yılmaz, 2024).

IPS Classic ve IPS Empress Esthetic (Ivoclar Vivadent); Vitadur, Vita VMK 68 ve Vitablocs (VITA Zahnfabrik) bu gruba örnek olarak gösterilebilecek başlıca materyaller arasında yer almaktadır (Gracis, Thompson, Ferencz, Silva, & Bonfante, 2016).

Feldspatik Seramik Örnekleri:

1. **VITA VMK 95 (VITA Zahnfabrik):** Metal destekli porselen restorasyonlarda kullanılan feldspatik seramik sistemlerinden biridir.
2. **VITA VM 9 (VITA Zahnfabrik):** Zirkonya altyapılar üzerine uygulanmak üzere geliştirilmiş feldspatik içerikli veneer porselen sistemidir.
3. **VITA Omega 900 (VITA Zahnfabrik):** Metal destekli restorasyonlarda kullanılan feldspatik seramik materyallerden biridir.
4. **IPS Classic (Ivoclar Vivadent):** Geleneksel feldspatik porselen sistemlerinden biri olup özellikle metal destekli porselen restorasyonlarda kullanılmaktadır.
5. **IPS d.SIGN (Ivoclar Vivadent):** Florapatit kristalleri içeren feldspatik seramik sistemi olup estetik veneer porselen olarak kullanılmaktadır.
6. **Noritake EX-3 (Kuraray Noritake):** Metal destekli porselen restorasyonlarda kullanılan feldspatik esaslı seramik sistemlerinden biridir.
7. **Ceramco 3 (Dentsply Sirona):** Metal destekli restorasyonlarda kullanılan feldspatik içerikli dental porselen materyalidir.

CAD/CAM Feldspatik Blok Örnekleri:

1. **VITABLOCS Mark II (VITA Zahnfabrik):** CAD/CAM sistemlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş feldspatik seramik blok materyalidir ve özellikle estetik restorasyonlarda tercih edilmektedir.
2. **CEREC Blocs (Dentsply Sirona):** Dijital CAD/CAM üretim teknikleri için tasarlanmış feldspatik seramik bloklardır ve tek kron, inley, onley ve veneer restorasyonlarının hazırlanmasında kullanılmaktadır.



Şekil 2. Feldspatik Blok Örnekleri

1.2. Lösit Esaslı Seramikler

Lösit esaslı cam seramikler kimyasal olarak silisyum oksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve potasyum oksit (K_2O) bileşenlerinden oluşan bir cam matrikse sahiptir. Bu seramiklerin mikroyapısına, mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla lösit kristalleri ilave edilmiştir. Lösit fazının cam matriks içinde homojen dağılımı, termal genleşme katsayısının düzenlenmesine ve belirli ölçüde mekanik dayanım artışına katkı sağlamaktadır (Peterson, Wuttiaphan, Lawn, & Kenneth Chyung, 1998).

Bununla birlikte, lösit içeren cam seramiklerin başlıca dezavantajı, kırılma direncinin sınırlı olmasıdır. Kristal faz ilavesine rağmen, bu materyaller yüksek oklüzal kuvvetlere karşı polikristalin seramikler kadar direnç gösterememekte; özellikle posterior bölgede dikkatli endikasyon seçimi gerektirmektedir (Yavuzylmaz, Turhan, Bavbek, & Kurt, 2005).

Klinik kullanım alanları değerlendirildiğinde, lösit esaslı seramik restorasyonlar genellikle estetik gereksinimin ön planda olduğu vakalarda tercih edilmektedir. Lamina veneerler, inley ve onley restorasyonlar ile tek kron uygulamaları bu materyallerin yaygın kullanım alanları arasında yer almaktadır. Özellikle anterior bölgede, optik özelliklerinin doğal dişe yakın

olması nedeniyle başarılı estetik sonuçlar elde edilebilmektedir (Robert Kelly, 2004).

Lösit kristallerinin cam matrikse kıyasla asit uygulamasına daha duyarlı olması, yüzey pürüzlülüğünün artmasına ve böylece rezin siman ile daha güçlü bir mikromekanik retansiyon elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Yılmaz, 2024).

Lösit esaslı seramik örnekleri;

1. **IPS Empress Esthetic (Ivoclar Vivadent):** Lösit ile güçlendirilmiş cam seramik yapıya sahip olup özellikle anterior estetik restorasyonlarda kullanılmaktadır.
2. **IPS Empress CAD (Ivoclar Vivadent):** CAD/CAM sistemleri için geliştirilmiş lösit esaslı cam seramik blok materyalidir.
3. **IPS Classic (Ivoclar Vivadent):** Geleneksel feldspatik porselen sistemlerinden biri olup metal destekli porselen restorasyonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.
4. **Vitadur Alpha (VITA Zahnfabrik):** Feldspatik içerikli seramik materyaller arasında yer almakta olup özellikle estetik veneer ve kron restorasyonlarında tercih edilmektedir.
5. **VITA VMK 68 (VITA Zahnfabrik):** Metal destekli porselen restorasyonlar için geliştirilmiş feldspatik seramik sistemidir.
6. **Ceramco II (Dentsply):** Metal destekli porselen restorasyonlarda kullanılan feldspatik esaslı seramik materyallerden biridir.



Şekil 3. Lösit Bazlı Seramik Örneği

1.3. Lityum Disilikat Cam Seramikler

Lityum disilikat seramikler, lösit içeren seramiklerle karşılaştırıldığında biyomekanik açıdan daha yüksek dayanım göstermektedir. Ayrıca bu materyaller, geliştirilmiş optik özellikleri sayesinde daha doğal diş görünümünü taklit edebilen restorasyonların elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Albakry, Guazzato, & Swain, 2003)

Bu materyal sisteminde cam matriks içerisinde hacimce yaklaşık %70 oranında lityum disilikat ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) kristalleri eklenmiş olup, bu kristal faz materyalin mekanik dayanımının artmasına katkı sağlamaktadır (Pagniano, Seghi, Rosenstiel, Wang, & Katsube, 2005).

Lityum disilikat seramiklerin mikroyapısı, cam matriks içerisinde birbirleriyle iç içe geçmiş ve tabakalaşmış iğnemsî kristallerden oluşmaktadır. Bu kristal yapı, oluşabilecek çatlakların yön değiştirmesine ve ilerlemesinin sınırlandırılmasına katkı sağlayarak materyalin mekanik dayanımını artırmaktadır. Yapı içerisinde meydana gelen stresler sonucu oluşan çatlaklar, lityum disilikat kristalleri tarafından tutulmakta ve böylece seramiğin bükülme direncinin artmasına yardımcı olmaktadır. Lityum disilikat cam seramiklerin bükülme dayanımının literatürde genellikle yaklaşık 350–400 MPa aralığında olduğu bildirilmektedir (Yamalı & Turhan Bal, 2022).

Lityum disilikat seramikler zaman içerisinde geliştirilmiş ve günümüzde IPS e.max sistemi adı altında diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistem, üretim yöntemine bağlı olarak IPS e.max Press ve IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent, Amherst, NY, USA) olmak üzere iki farklı formda sunulmaktadır. Güncel lityum disilikat seramik materyallerin en önemli avantajlarından biri, literatürde bildirilen düşük kırılma oranlarıdır. Yüksek mekanik dayanımları ve estetik gereksinimleri karşılayabilme özellikleri sayesinde bu materyaller, diş hekimliğinde farklı restoratif endikasyonlarda güvenle kullanılabilen önemli bir alternatif haline gelmiştir (Ritter, 2010).



Şekil 4. Lityum Disilikat Blok Örneği

CAD/CAM sistemleri için üretilen lityum disilikat cam seramik bloklar, restorasyonun uygulanacağı bölgeye ve restorasyon tipine bağlı

olarak farklı translusensi ve renk seçenekleri sunmaktadır. Bu bloklar ışık geçirgenlik özelliklerine göre üç farklı grupta sınıflandırılmaktadır. Bunlar; yüksek translusensiye sahip bloklar (HT), düşük translusensi gösteren bloklar (LT) ve orta opaklık düzeyine sahip bloklar (MO) olarak tanımlanmaktadır (MCLean, 1995).

Günümüzde lityum disilikat cam seramiklerin çok ince lamina veneer restorasyonlarda etkin biçimde kullanılabilmesi amacıyla farklı optik özelliklere sahip yeni blok tipleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda IPS e.max CAD Value ve IPS e.max CAD Opal (Ivoclar Vivadent) olarak adlandırılan iki farklı varyant bulunmaktadır. Farklı value değerlerine sahip bloklar, dentin ve mine kombinasyonlarının oluşturulmasında kullanılabilir. Buna karşılık opalesans özelliği artırılmış bloklar ise özellikle mine tabakasının estetik özelliklerini taklit etmek amacıyla, restorasyonun mine seviyesinde uygulanmak üzere tasarlanmıştır (Dr Kathrin Fischer & Dr Thomas Völkel, 2011).

Lityum disilikat seramikler yalnızca lamina veneer restorasyonlarda değil, aynı zamanda kısa dişsiz boşlukların restorasyonunda da kullanılabilen materyallerdir. Bunun yanı sıra inley ve onley restorasyonları ile anterior ve posterior tek kron uygulamalarında da tercih edilmektedir. Ayrıca endokron restorasyonlarının yapımında da endikasyon alanına sahiptir. Ancak posterior bölgede köprü restorasyonlarında, brüksizm alışkanlığı bulunan hastalarda ve çok sayıda diş eksikliğinin bulunduğu vakalarda kullanımı önerilmemektedir.

IPS e.max CAD blokları, yaklaşık %40 oranında lityum metasilikat kristalleri içeren parsiyel kristalize cam seramik bloklardır. Cam seramiğin mikroyapısı ve kimyasal bileşimi nedeniyle bu bloklar başlangıç aşamasında mavimsi bir renge sahiptir. Blokların bu mavi fazda bulunması, materyalin daha kolay frezelenebilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca bu aşamada malzeme nispeten daha yumuşak bir ara fazda bulunduğu için, restorasyon üzerinde gerekli düzeltmeler ve el ile aşındırma işlemleri daha hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bunun yanı sıra, restorasyonun ağız içi uyumu da bu aşamada kontrol edilebilmektedir.

Lityum disilikat ve türevlerini içeren sentetik cam seramik materyaller, yüksek mekanik dayanımları ve estetik özellikleri nedeniyle restoratif diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde farklı üretim teknikleri ve içerik modifikasyonları ile geliştirilen çeşitli lityum disilikat esaslı seramik sistemler bulunmaktadır (Gracis, Thompson, Ferencz, Silva, & Bonfante, 2016).

Bu materyallerden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

1. **IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenstein):** CAD/CAM sistemleri için geliştirilmiş lityum disilikat cam seramik bloklardır.
2. **IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenstein):** Presleme yöntemi ile üretilen lityum disilikat cam seramik sistemidir.
3. **VITA Suprinity (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya):** Zirkonya ile güçlendirilmiş lityum silikat cam seramik materyalidir.
4. **Celtra Duo (Dentsply Sirona, Konstanz, Almanya):** CAD/CAM sistemlerinde kullanılan zirkonya ile güçlendirilmiş lityum silikat cam seramik bloktur.
5. **3G HS (Pentron Ceramics, Wallingford, Connecticut, ABD):** Yüksek dayanımlı lityum disilikat esaslı cam seramik materyallerden biridir.
6. **Obsidian (Glidewell Laboratories, California, ABD):** CAD/CAM üretim teknikleri için geliştirilen lityum silikat cam seramik materyaller arasında yer almaktadır.

Bu materyaller, gelişmiş mikroyapıları sayesinde yüksek bükülme dayanımı, iyi optik özellikler ve adeziv simantasyon ile güçlü bağlanma potansiyeli sunarak estetik restorasyonlarda güvenle kullanılabilir.



Şekil 5. Lityum Disilikat Blok Örneği 2

2. Polikristalin Seramikler

Polikristalin seramikler, camsı faz içermeyen ve yoğun şekilde düzenlenmiş kristal yapıya sahip ince kristal partiküllerden oluşan seramik materyallerdir. Bu materyallerde kristallerin birbirleriyle sıkı bir şekilde paketlenmiş olması, çatlak oluşumunu ve ilerlemesini önemli ölçüde zorlaştırarak materyalin mekanik dayanımını artırmaktadır. Bu özellikleri sayesinde polikristalin seramikler, yüksek dayanım gerektiren restoratif uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bununla birlikte, kristal yapının

yoğun ve camsı faz içermeyen karakteri nedeniyle bu materyallerin şekillendirilmesi diğer seramik gruplarına kıyasla daha güçtür. Ayrıca cam fazının bulunmaması, optik özellikleri de etkilemekte ve translusensi düzeyinin daha düşük olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle estetik gereksinimin ön planda olduğu restorasyonlarda kullanım alanları sınırlı kalabilmektedir. Cam matriks içermemeleri nedeniyle yüzey pürüzlendirme işlemlerinde geleneksel cam seramiklerden farklı protokoller uygulanması gerekmektedir; adeziv bağlanmayı artırmak amacıyla asit uygulamasının daha uzun sürelerde veya daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi önerilmektedir (SRIAMPORN et al., 2014).

Bazı sistemlerde yüzey hazırlığı amacıyla asitle pürüzlendirme yerine kumlama işlemi önerilmektedir. Polikristalin seramikler ise yapısal özelliklerine göre farklı gruplar altında sınıflandırılmaktadır. Bu seramikler genel olarak;

1. **Alümina seramikler:** Yüksek alümina içeriğine sahip olup iyi mekanik dayanım ve biyouyumluluk özellikleri gösteren polikristalin seramik materyallerdir.
2. **Stabilize zirkonya seramikler:** Zirkonyanın faz dönüşümünü kontrol etmek amacıyla stabilizatörler eklenerek elde edilen ve yüksek dayanım özellikleri ile bilinen seramik materyallerdir.
3. **İtriyum ile stabilize edilmiş tetragonal zirkonya (Y-TZP):** Yüksek kırılma dayanımı ve faz dönüşüm mekanizması sayesinde restoratif diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan zirkonya seramik türlerinden biridir.
4. **Zirkonya ile güçlendirilmiş alümina veya alümina ile güçlendirilmiş zirkonya seramikler:** İki farklı seramik fazın bir araya getirilmesi ile elde edilen ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesini amaçlayan kompozit polikristalin seramik sistemleridir.



Şekil 6. Polikristalin Seramik Örneği

3. Rezin Matriks Sistemler

Rezin matriks sistemler, organik bir polimer matriks içerisinde yüksek oranda seramik partiküllerinin dağılımı ile oluşturulmuş restoratif materyallerden meydana gelmektedir. Bu hibrit yapıli materyaller, seramiklerin estetik ve aşınma direnci gibi avantajlı özelliklerini, rezin esasli materyallerin elastikiyet ve işlenebilirlik özellikleri ile bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Geleneksel seramik materyaller ise genel olarak istenilen fiziksel ve mekanik özelliklere ulaşabilmek amacıyla yüksek sıcaklıklarda pişirilerek elde edilen inorganik ve ametalik materyaller olarak tanımlanmaktadır. Bu üretim süreci, seramik materyallerin kristal yapısını ve mikroyapısal özelliklerini belirleyerek restoratif diş hekimliğinde kullanılabilecek mekanik dayanım ve optik özelliklerin oluşmasına katkı sağlamaktadır (Sakaguchi, Ferracane, & Powers, 2019).

Rezin matriks sistemlerde gerekli ısıli işlem üretim aşamasında gerçekleştirildiğinden, restorasyonun hazırlanması sırasında ilave bir termal işlem uygulanmasına gerek duyulmamaktadır. Bu durum, klinik ve laboratuvar süreçlerini kolaylaştırarak restorasyonların daha hızlı ve pratik bir şekilde hazırlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Rezin matriks seramik materyaller, organik matriks içeriklerine ve yapılarında bulunan seramik partiküllerin özelliklerine bağıli olarak farklı alt gruplar altında incelenmektedir.

Bu sınıflandırma genel olarak:

1. **Rezin nanoseramikler:** Organik rezin matriks içerisinde nanometrik boyuttaki seramik partiküllerin homojen şekilde dağıldığı hibrit restoratif materyaller
2. **Rezin matriks içerisinde dağıtılmış cam seramikler:** Rezin esasli matriks içinde cam seramik partiküllerinin yer aldığı ve hem seramik hem de rezin materyallerin avantajlarını bir araya getiren hibrit sistemler
3. **Rezin matriks içerisinde zirkonya-silika esasli seramikler:** Rezin matriks içinde zirkonya ve silika partiküllerinin bulunduğu, yüksek mekanik dayanım ve estetik özellikler sunan hibrit seramik materyaller olmak üzere üç ana başlıkta ele alınmaktadır (Gracis et al., 2016).



Şekil 7. Rezin Matriks Seramik Örnekleri

KAYNAKLAR

- Albakry, M., Guazzato, M., & Swain, M. V. (2003). Biaxial Flexural Strength, Elastic Moduli, And X-Ray Diffraction Characterization Of Three Pressable All-Ceramic Materials. The Journal Of Prosthetic Dentistry, 89(4), 374–380. <https://doi.org/10.1067/Mpr.2003.42>
- Azer, S. S., Ayash, G. M., Johnston, W. M., Khalil, M. F., & Rosenstiel, S. F. (2006). Effect Of Esthetic Core Shades On The Final Color Of IPS Empress All-Ceramic Crowns. The Journal Of Prosthetic Dentistry, 96(6), 397–401. <https://doi.org/10.1016/J.Prodent.2006.09.020>
- Chaiyabutr, Y., Kois, J. C., Lebeau, D., & Nunokawa, G. (2011). Effect Of Abutment Tooth Color, Cement Color, And Ceramic Thickness On The Resulting Optical Color Of A CAD/CAM Glass-Ceramic Lithium Disilicate-Reinforced Crown. The Journal Of Prosthetic Dentistry, 105(2), 83–90. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(11\)60004-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(11)60004-8)
- Dr Kathrin Fischer, & Dr Thomas Völkel. (2011). Scientific Documentation IPS E.Max CAD Im Pulse. Ivoclar Vivadent AG Research And Development Scientific Services. Schaan, Liechtenstein Ivoclar-Vivadent 2011.
- Gracis, S., Thompson, V., Ferencz, J., Silva, N., & Bonfante, E. (2016). A New Classification System For All-Ceramic And Ceramic-Like Restorative Materials. The International Journal Of Prosthodontics, 28(3), 227–235. <https://doi.org/10.11607/ijp.4244>

- Heydecke, G., Zhang, F., & Razzoog, M. E. (2001). In Vitro Color Stability Of Double-Layer Veneers After Accelerated Aging. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 85(6), 551–557. <https://doi.org/10.1067/Mpr.2001.115385>
- MCLEAN, J. W. (1995). New Dental Ceramics And Esthetics. *Journal Of Esthetic And Restorative Dentistry*, 7(4), 141–149. <https://doi.org/10.1111/J.1708-8240.1995.Tb00570.X>
- Pagniano, R. P., Seghi, R. R., Rosenstiel, S. F., Wang, R., & Katsube, N. (2005). The Effect Of A Layer Of Resin Luting Agent On The Biaxial Flexure Strength Of Two All-Ceramic Systems. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 93(5), 459–466. <https://doi.org/10.1016/J.Prodent.2005.02.012>
- Peterson, I. M., Wuttiphan, S., Lawn, B. R., & Kenneth Chyung. (1998). Role Of Microstructure On Contact Damage And Strength Degradation Of Micaceous Glass-Ceramics. *Dental Materials*, 14(1), 80–89. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(98\)00013-X](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(98)00013-X)
- Peumans, M., Van Meerbeek, B., Lambrechts, P., & Vanherle, G. (2000). Porcelain Veneers: A Review Of The Literature. *Journal Of Dentistry*, 28(3), 163–177. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(99\)00066-4](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(99)00066-4)
- Ramos, N. De C., Campos, T. M. B., Paz, I. S. De La, Machado, J. P. B., Bottino, M. A., Cesar, P. F., & Melo, R. M. De. (2016). Microstructure Characterization And SCG Of Newly Engineered Dental Ceramics. *Dental Materials*, 32(7), 870–878. <https://doi.org/10.1016/J.Dental.2016.03.018>
- Ritter, R. G. (2010). Multifunctional Uses Of A Novel Ceramic-Lithium Disilicate. *Journal Of Esthetic And Restorative Dentistry*, 22(5), 332–341. <https://doi.org/10.1111/J.1708-8240.2010.00362.X>
- Robert Kelly, J. (2004). Dental Ceramics: Current Thinking And Trends. *Dental Clinics Of North America*, 48(2), 513–530. <https://doi.org/10.1016/J.Cden.2004.01.003>
- Sadaqah, N. R. (2014). Ceramic Laminate Veneers: Materials Advances And Selection. *Open Journal Of Stomatology*, 04(05), 268–279. <https://doi.org/10.4236/Ojst.2014.45038>
- Sakaguchi, R. L. ., Ferracane, J. L. ., & Powers, J. M. . (2019). *Craig's Restorative Dental Materials*. Elsevier.
- Schmitter, M., & Seydler B, B. (2012). Minimally Invasive Lithium Disilicate Ceramic Veneers Fabricated Using Chairside CAD/CAM: A Clinical Report. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 107(2), 71–74. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(12\)00012-1](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(12)00012-1)

- Sriamporn, T., Thamrongananskul, N., Busabok, C., Poolthong, S., UO, M., & TAGAMI, J. (2014). Dental Zirconia Can Be Etched By Hydrofluoric Acid. *Dental Materials Journal*, 33(1), 79–85. <https://doi.org/10.4012/dmj.2013-243>
- Yamalı, A. Y., & Turhan Bal, B. (2022). Lityum Disilikat Seramiklerin Özellikleri Ve Klinik Uygulamaları. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 1–1. <https://doi.org/10.17567/Ataunidfd.994747>
- Yavuzylmaz, H., Turhan, B., Bavbek, B., & Kurt, E. (2005). Tam Porselen Sistemleri I. Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi.
- Yılmaz, S. (2024). Prepress Porselen Laminate Veneer Restorasyonlar İle Minimal İnvaziv Porselen Laminate Veneer Restorasyonların Klinik Karşılaştırılması.

PEDODONTİ PRATİĞİNDE GÜMÜŞ DİAMİN FLORÜR (GDF): MEKANİZMA VE TEDAVİ STRATEJİLERİ

Müzeyyen Dilşah DEMİRAY

- ❖ Kurum Bilgisi: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Anabilim Dalı, Konya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-5683-3314
- ❖ Mail: demiraydilsah@gmail.com

Betül KAAN

- ❖ Kurum Bilgisi: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Anabilim Dalı, Konya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0008-1590-5191
- ❖ Mail: betulkaan47@gmail.com

Halenur ALTAN

- ❖ Kurum Bilgisi: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Anabilim Dalı, Konya/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0003-3648-5989
- ❖ Mail: halenuronat@gmail.com

GİRİŞ

Diş çürüğü, çocukluk çağında görülen en yaygın kronik hastalıklarından biri olmaya devam etmektedir. Çocukların hem ağız sağlığını hem de genel sağlığını şiddetli bir şekilde etkilemektedir. Erken çocukluk çağı çürükleri (EÇÇ), 71 aylık (yaklaşık 6 yaş) ve altındaki çocukların süt dişlerinde bir veya daha fazla çürük, çürük kaynaklı kayıp veya dolgulu yüzey bulunması olarak tanımlanan, küçük yaş grubu çocuklarda gözlenen diş çürüklerinin yıkıcı bir modelidir. EÇÇ, ağrıya ve enfeksiyona ek olarak yeme ve konuşma güçlüklerine de yol açabilir (Foláyan ve ark., 2026). Geleneksel restoratif prosedürlerde, çocukların uyum ve toleransının düşük olması gibi klinik dezavantajlar çocuklarda çürük yönetimi için non-invaziv yaklaşımların önemini artırmıştır. Son yıllarda popülerite kazanan Gümüş Diamin Florür (GDF), süt dişlerindeki çürük lezyonlarının durdurulması ve yeni lezyon oluşumunun engellenmesinde konvansiyonel yöntemlere kıyasla umut verici bir seçenek sunmaktadır. (Zheng ve ark., 2024).

Gümüş Diamin Florür'ün Etki Mekanizmaları

GDF'nin diş yapısı üzerindeki terapötik etkinliği, içeriğindeki gümüş ve florür iyonlarının sinerjik çalışmasına dayanan çok yönlü bir sürece dayanmaktadır. Geleneksel restoratif yöntemlerden farklı olarak GDF hem bakteriyel aktiviteyi baskılamakta hem de diş dokusunun mineral ve organik yapısını güçlendirerek çürük ilerlemesini durdurmaktadır. Bu karmaşık mekanizma temel olarak dört ana başlık altında incelenebilir:

1. Bakterisid Etki ve Biyofilm Disrüksiyonu

Gümüş Diamin Florür'ün klinik başarısının temelinde, karyojenik mikroorganizmalar üzerindeki çok yönlü inhibitör etkisi yatmaktadır. Solüsyon içeriğindeki gümüş iyonları, bakteriyel proteinler ve deoksiribonükleik asit (DNA) ile doğrudan etkileşime girerek; hücre duvarı biyosentezini ve DNA replikasyon süreçlerini sekteye uğratmaktadır. Ayrıca bu iyonlar, bakterilerde mitokondriyal disfonksiyona yol açarak hücresel enerji metabolizmasını bozmaktadır (Youravong ve ark., 2011) (Şekil 1 – 1a).

Bakterisidal kapasite, dental plak biyofilminin yapısal bütünlüğüne doğrudan zarar vermektedir. Literatürdeki çalışmalar, GDF ile tedavi edilmiş demineralize dentin yüzeylerinde, herhangi bir uygulama yapılmayan kontrol gruplarına oranla karyojenik türlerin kolonizasyonunda belirgin bir azalma olduğunu kanıtlamıştır (Chu ve ark., 2012). Benzer şekilde, GDF'nin

demineralize dentinin geçirgenliğini azaltarak mikroorganizma penetrasyonunu kısıtladığı da bildirilmektedir (Knight ve ark., 2005).

2. Diş Sert Dokusunun Remineralizasyonu

GDF uygulamasıyla birlikte yüksek konsantrasyonda florür iyonu diş yüzeyine salınmaktadır. Bu süreçte oluşan gümüş fosfat ve kalsiyum florür, asit ataklarına karşı hidroksiapatitten çok daha dirençli olan florapatit yapısının oluşumunu desteklemektedir. Bu sayede, demineralize olmuş inorganik yapı yeniden sertleşerek asit çözünürlüğüne karşı dayanıklı bir bariyer oluşturmaktadır (Zhao ve ark., 2018) (Şekil 1-2a).

3. Dentin Tübüllerinin Tıkanması

Gümüş iyonlarının proteinleri çöktürme yeteneği, açığa çıkmış dentin tübüllerinin fiziksel olarak tıkanmasını sağlar. Hem kalsiyum florür çöktürmeleri hem de gümüş presipitasyonları sayesinde tübül açıklığı azalarak sıvı hareketi kısıtlanır. Bu durum, GDF'nin sadece çürük durdurucu değil, aynı zamanda etkili bir hassasiyet giderici ajan olmasını açıklar (Şekil 1-3a).

4. Organik Matrisin Korunması ve Enzim İnhibisyonu

Dentin çürüğünün ilerlemesi, sadece inorganik mineral kaybıyla değil, aynı zamanda organik matrisin, özellikle de tip I kolajenin yıkımıyla karakterizedir. İnsan diş çürüklerinde, konak kaynaklı proteolitik enzimler olan matriks metalloproteinazların (MMP), dentin kolajeninin degradasyonunda ve lezyonun derinleşmesinde kritik bir rol oynadığı bilinmektedir (Chaussain-Miller ve ark., 2006). GDF, bu noktada sadece remineralizasyon sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bu yıkıcı enzimlerin aktivitesini de baskılar. Yapılan çalışmalar, farklı konsantrasyonlardaki Gümüş Diamin Florür uygulamalarının, dentin matrisindeki MMP'lerin (özellikle MMP-2, -8 ve -9) kolajenolitik aktivitelerini önemli ölçüde inhibe ettiğini ve böylece dentinin yapısal bütünlüğünü koruduğunu göstermektedir (Mei ve ark., 2012) (Şekil 1-4a).

Gümüş Diamin Florür'ün (GDF) antimikrobiyal etkinliği, yalnızca doğrudan temas anıyla sınırlı kalmayıp, ağız içindeki biyofilm ekosisteminde süregelen bir koruma kalkanı oluşturmaktadır. Gümüş iyonları ile etkileşime girerek ölen bakteriler, bu süreçte gümüşü bünyelerinde hapsederler. Literatürde "zombi etkisi" (zombie effect) olarak tanımlanan bu özgün mekanizmada, gümüşle kontamine olmuş bu ölü bakteriler, henüz canlı olan diğer mikroorganizmalarla temas ettiklerinde onları da öldürecek bir biyosit

tutumlarını etkilediği için kapsamlı bir bilgilendirilmiş onam sürecini ve şeffaf bir iletişimi zorunlu kılar (Alshammari ve ark., 2019; Crystal ve ark., 2019; Miller ve ark., 2023). Diğer bir dezavantaj ise kısa dönemli klinik başarısı yüksek olsa da GDF'nin uzun süreli güvenliği, sistemik emilimi ve tekrarlayan uygulamaların kümülatif etkileri üzerine boylamsal verilerin henüz sınırlı olmasıdır (Chen ve ark., 2018) (Şekil 2).



Şekil 2. GDF uygulaması öncesi (a), sonrası renk değişikliği (b) (Brunet ve ark., 2022)

GDF Kaynaklı Renklenmelerin Önlenmesinde Potasyum İyodür ve Glutasyon Kullanımı

Gümüş diamin florür diş çürüklerini durdurmadaki başarısına rağmen uygulandığı bölgede oluşturduğu koyu siyah renklenmeler nedeniyle estetik kaygılara yol açmaktadır. Bu sorunu aşmak için kullanılan potasyum iyodür (KI), GDF içindeki serbest gümüş iyonları ile reaksiyona girerek gümüş iyodür kristalleri oluşturur ve bu sayede siyah lekelenme yerine kremsi beyaz bir çökelti meydana getirerek renk değişimini maskeler. Diğer bir alternatif olan glutasyon (GSH) ise, gümüş partiküllerinin etrafını biyomimetik bir tabaka gibi sararak bunların birikmesini önler ve böylece diş dokusundaki renklenmeyi istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azaltır. Her iki biyomolekül de SDF'nin tedavi edici özelliklerinden ödün vermeden, özellikle ön dişlerde veya estetik beklentisi yüksek hastalarda daha kabul edilebilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanır (Samani ve ark., 2024) (Şekil 3).



Şekil 3. GDF uygulaması öncesi (a), izolasyon (b), GDF uygulaması (c), Potasyum iyodür uygulaması ve tuz çökeltisi oluşumu (d) (Greenwall-Cohen ve ark., 2020)

GDF ile Non-Restoratif Kavite Kontrolü

Modern diş hekimliğinde diş çürüğü artık sadece enfeksiyöz bir durum olarak değil, biofilm tabanlı ve bireyin davranışlarıyla doğrudan ilişkili bir hastalık olarak tanımlanmaktadır (Innes ve ark., 2019). Bu paradigma değişimi, geleneksel "temizle ve doldur" felsefesinin yerini doku koruyucu yaklaşımlara bırakmasını sağlamıştır. Günümüzde çürük dokusunun tamamının temizlenmesi zorunluluğu bilimsel olarak reddedilmekte; bunun yerine hastalığın ilerlemesini durdurmaya hedefleyen aşamalı çürük tedavisi, seçici (selektif) çürük uzaklaştırma ve Hall Tekniği gibi minimal girişimsel yöntemler önerilmektedir (Innes ve ark., 2016; Schwendicke ve ark., 2016). Tedavi süreci, sadece doku kaybını onarmakla sınırlı kalmayıp; yetersiz plak temizliği ve yüksek şeker tüketimi gibi hastalığı tetikleyen davranışların modifikasyonu ile remineralizasyon çalışmalarını da kapsamalıdır. Özellikle süt dişlerinde, kaviteli lezyonların restorasyon yapılmadan sadece temizlenebilir hale getirilerek takip edildiği "restoratif olmayan kavite kontrolü" (Non-Restorative Cavity Control [NRCC]) seçeneği de uzun vadeli başarı için uygulanabilir bir strateji olarak kabul görmektedir (Li ve ark., 2018; Ricketts ve ark., 2013).

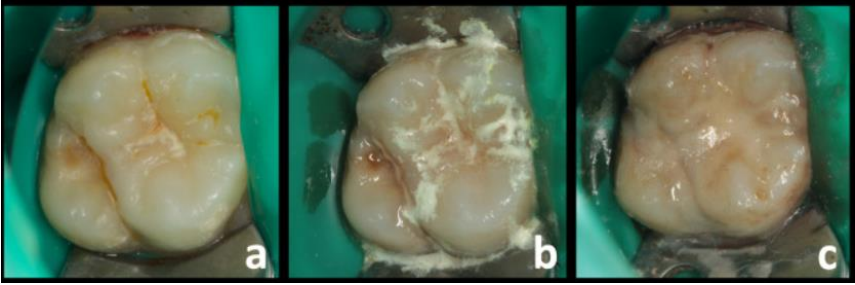
Restoratif Olmayan Kavite Kontrolü (NRCC) Uygulama Protokolü

Güncel pediatrik diş hekimliği pratiklerinde NRCC, statik bir tedavi yönteminden ziyade biyofilm yönetimi ve remineralizasyon süreçlerini merkeze alan dinamik bir protokol olarak uygulanmaktadır. Bu yaklaşımın temel başarısı, düzenli fırçalama ve florürlü macun kullanımıyla patojenik biyofilmin sürekli olarak bozulmasına ve böylece kariyojenik ortamın lezyon aleyhine değiştirilmesine dayanmaktadır. Klinik aşamada süreç; kaviteli lezyonların plak eliminasyonuna izin verecek şekilde seçici modifikasyonunu, hastaya özgü beslenme danışmanlığını ve profesyonel antikaryojenik ajanların stratejik kullanımını içermektedir. Özellikle %38'lik GDF uygulaması, 30 saniye gibi oldukça kısa bir temas süresinde bile aktif dentin çürüklerini durdurmada kayda değer bir klinik etkinlik sergilemektedir (Thakur ve ark., 2022). GDF'nin bu klinik başarısı, gümüşün güçlü antibakteriyel doğası ve %5 sodyum florür vernik ile kombine edildiğinde artan remineralizasyon potansiyeliyle açıklanmaktadır (Mani Prakash ve ark., 2022). Uygulamanın uzun dönemli prognozu açısından, bir ile altı aylık aralıklarla gerçekleştirilen düzenli klinik takipler ve koruyucu müdahalelerin sürekliliği vazgeçilmez bir unsurdur (Schroth ve ark., 2024). Bu noktada, estetik kaygıları gidermek adına kullanılan potasyum iyodür (Pİ) ilavesi, çürük durdurma hızını bir miktar modifiye etse de ebeveynlerin tedaviye olan uyumunu ve memnuniyetini olumlu yönde etkilemektedir (Turton ve ark., 2021). Neticede NRCC; anestezi gerektirmeyen ve aerosol oluşturmayan yapısıyla, geleneksel restoratif seçeneklere kıyasla hem çocuklar hem de ebeveynler tarafından çok daha yüksek bir kabul oranıyla karşılanmaktadır (Innes ve ark., 2020).

Çürük tedavisinde GDF kullanımının sayısız avantajına rağmen, dişlerde kalıcı siyah lekelenmeye neden olma potansiyeli nedeniyle kullanımı sınırlıdır (Yin ve ark., 2020). Bu lekelenme, çürük diş yüzeyinde gümüş iyonlarının birikmesi, kümelenmesi ve ardından indirgenmesinden kaynaklanır. %38'lik GDF kullanımına bağlı estetik kaygıların üstesinden gelmek için Knight ve ark. (2005) GDF tedavisini takiben potasyum iyodür uygulanmasını önermiştir. GDF'deki gümüş iyonları, Pİ ile reaksiyona girerek diş yüzeyinde çökelen ve siyah lekelenmeyi dengeleyen kremi beyaz bir karışım olan gümüş iyodür (AgI) oluşturur. Bununla birlikte, çalışmalar Pİ'nin leke önleyici etkisinin uzun süreli olmadığını ve siyah lekelenmenin yine de meydana geleceğini göstermiştir (Zhao ve ark., 2017).

SMART (Silver Modified Atraumatic Restorative Treatment)

Gümüş modifiye atravmatik restoratif tedavi (Silver Modified Atraumatic Restorative Treatment [SMART]), gümüş diamin florür (GDF) ile atravmatik restoratif tedavinin (ART) avantajlarını bir araya getiren sinerjik ve minimal invaziv bir yaklaşımdır. Bu yöntem, öncelikle GDF uygulamasıyla çürük sürecinin durdurulmasını, ardından kavitenin cam iyonomer siman gibi bir restoratif malzeme örtülenmesini içerir. Bu sayede dentinde kalan bakteriler dış ortamdan izole edilerek besin kaynakları kesilir ve lezyonun ilerlemesi engellenir. SMART tekniği, çürük dokunun tamamen uzaklaştırılmasını gerektirmediği için lokal anesteziye ihtiyaç duyulmayan, ağrısız bir işlem sunar. Bu özellikleri nedeniyle, özellikle dental anksiyetesi olan, iş birliği kurmakta zorlanan ve yönetimi güç olan pediatrik hastalarda çürük yönetimi için umut verici bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (Sharawat ve ark., 2025) (Şekil 4).



Şekil 4. a) Başlangıç durumu, b) SDF uygulamasından sonra, c) SMART restorasyonundan sonra. (Ballıkaya ve ark., 2022)

SMART Hall Tekniği

Geleneksel Hall Tekniği (HT) ve Gümüş Diamin Florür (GDF) uygulamalarının birleşimi olan "SMART Hall" yaklaşımı, süt dişlerindeki aktif çürük lezyonlarını yönetmek için geliştirilmiş hibrit ve non-invaziv bir stratejidir. Bu yöntemde, GDF'nin güçlü çürük durdurma ve remineralizasyon potansiyeli ile Hall Tekniği'nin sağladığı mükemmel koronal sızdırmazlık bir araya getirilerek her iki tekniğin dezavantajları minimize edilmektedir. SDF kullanımı, restorasyon altındaki çürük dokusundaki bakteriyel aktiviteyi biyokimyasal olarak durdururken; paslanmaz çelik kron (PÇK) uygulaması, GDF'nin periyodik olarak yenilenme ihtiyacını ortadan kaldırır ve gıda birikimini önleyerek diş dokusunun mekanik bütünlüğünü sağlar. Lokal anestezi ve preparasyon gerektirmeyen bu sinerjik yaklaşım, özellikle dental

anksiyetesi yüksek pediatrik hastalarda ve bakım erişiminin kısıtlı olduğu durumlarda, uzun dönemli klinik başarı ve hasta uyumu için umut verici bir çözüm sunmaktadır (Mittal ve ark., 2024).

Fissür Örtücü Öncesi GDF Kullanımı

Pit ve fissür örtücü uygulamalarında klinik başarı, materyalin mine yüzeyine olan mikromekanik bağlantısına ve kenar sızıntısının minimum düzeyde tutulmasına bağlıdır. Son yıllarda, asitleme işlemi öncesinde gümüş diamin florür (GDF) gibi ajanların ön hazırlık amacıyla kullanımı dikkat çekmektedir. GDF, sahip olduğu yüksek gümüş ve florür içeriği sayesinde bir yandan antimikrobiyal bariyer oluştururken, diğer yandan mine yapısını remineralize ederek asit direnci yüksek bir hibrit tabaka oluşumuna katkı sağlar. Deneysel çalışmalar, GDF ön hazırlığının fissür örtücülerin makaslama bağlanma dayanımını artırdığını ve mikrosızıntı skorlarını kontrol gruplarına oranla iyileştirdiğini göstermektedir. Ancak gümüş iyonlarının mine ve dentin ile reaksiyona girerek oluşturduğu gümüş fosfat ve gümüş oksit çökeltileri, diş yapısında kalıcı ve koyu renklenmelere neden olmaktadır. Bu estetik dezavantaj, özellikle çocuk hastalarda ve ebeveynlerde uygulama kabulünü zorlaştırabilmektedir. Estetik kaygıların yüksek olduğu anterior bölgelerde veya estetik beklentisi olan hastalarda, benzer bağlanma avantajlarını sunan ancak nano boyutu sayesinde doku içinde homojen dağılarak renklenmeyi minimize eden nano-gümüş florür (NSF) gibi alternatifler, GDF'ye kıyasla daha avantajlı bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

SONUÇ

Pediatrik popülasyonda çürük yönetiminde geleneksel restoratif yöntemlerin teknik hassasiyeti ve pediatrik hastalardaki kooperasyon güçlükleri, Gümüş Diamin Florür (GDF) gibi non-invaziv ve doku dostu yaklaşımları modern diş hekimliğinin merkezine taşımaktadır. GDF, gümüş iyonlarının güçlü antimikrobiyal ve "zombi etkisi" ile florürün remineralizasyon kapasitesini birleştirerek, çürük progresyonunu durdurmada %80'i aşan bir klinik başarı sergilemektedir. Restoratif Olmayan Kavite Kontrolü (NRCC), SMART ve SMART Hall gibi hibrit teknikler; anestezi ve aerosol gerektirmeyen yapılarıyla dental anksiyeteyi minimize ederken, aynı zamanda sürdürülebilir bir ağız sağlığı modeli sunmaktadır. Tedavi sonrasında oluşan siyah renklenme estetik bir kısıtlılık oluşturmaya devam etse de kapsamlı ebeveyn bilgilendirmesi ve işlem sonrası potasyum iyodür (Pİ) uygulaması veya nano-gümüş florür (NSF) gibi alternatif

modifikasyonlarla bu engelin aşılması hedeflenmektedir. Sonuç olarak GDF hem klinik uygulama kolaylığı hem de maliyet etkinliği sayesinde, aktif çürük lezyonlarının kontrol altına alınmasında ve biyofilm tabanlı hastalık yönetiminde invaziv cerrahi müdahalelere güçlü ve bilimsel bir alternatif teşkil etmektedir.

KAYNAKLAR

- Alshammari A F, Almuqrin A A, Aldakhil A M, Alshammari B H, Lopez J N J. (2019). Parental perceptions and acceptance of silver diamine fluoride treatment in Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Health Sciences*, 13(2), 25-30.
- Alwusaybie M M, Madiraju G S, Alhasan H A et al. (2026). Effectiveness of the non-restorative cavity control (NRCC) approach in managing dentinal caries in primary teeth: A systematic review. *Cureus*, 18(1),
- Ballikaya, E., Ünverdi, G. E., & Cehreli, Z. C. (2022). Management of initial carious lesions of hypomineralized molars (MIH) with silver diamine fluoride or silver-modified atraumatic restorative treatment (SMART): 1-year results of a prospective, randomized clinical trial. *Clinical oral investigations*, 26(2), 2197–2205.
- Brunet-Llobet L, Auría-Martín B, Gonzalez-Chópita Y, Cahuana-Bartra P, Mashala E, Miranda-Rius J. (2022). The use of silver diamine fluoride in a children's hospital: Critical analysis and action protocol. *Clinical and Experimental Dental Research*, 8(5), 1121-1131.
- Chaussain-Miller C, Fioretti F, Goldberg M, Menashi S. (2006). The role of matrix metalloproteinases (MMPs) in human caries. *Journal of Dental Research*, 85(1), 22-32.
- Chen K J, Gao S S, Duangthip D, Lo E C M, Chu C H. (2018). Managing early childhood caries for young children in China. *Healthcare*, 6(1), 11-20.
- Chibinski A C R. (2021). The use of silver diamine fluoride in pediatric dentistry. *Dental Caries*, 10, 145-160.
- Chu C H, Mei L, Seneviratne C J, Lo E C. (2012). Effects of silver diamine fluoride on dentine carious lesions induced by streptococcus mutans and actinomyces naeslundii biofilms. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 22(1), 2-10.
- Crystal Y O, Kreider B, Raveis V. (2019). Parental expressed concerns about silver diamine fluoride (SDF) treatment. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 43(3), 155-160.
- Fayle S A, Kandiah P. (2018). Treatment of dental caries in the preschool child. *Paediatric Dentistry*, 3, 133-146.

- Greenwall-Cohen, J., Greenwall, L., & Barry, S. (2020). Silver diamine fluoride: An overview of the literature and current clinical techniques. *British Dental Journal*, 228(11), 831-838.
- Innes N P T, Chu C H, Fontana M et al. (2019). A century of change towards prevention and minimal intervention in cariology. *Journal of Dental Research*, 98(6), 611-617.
- Innes N P T, Frencken J E, Bjørndal L et al. (2016). Managing carious lesions: Consensus recommendations on terminology. *Advances in Dental Research*, 28(2), 49-57.
- Innes N P, Clarkson J E, Douglas G V et al. (2020). Child caries management: A randomized controlled trial in dental practice. *Journal of Dental Research*, 99(1), 36-43.
- Knight G M, McIntyre J M, Craig G G et al. (2005). An in vitro model to measure the effect of a silver fluoride and potassium iodide treatment on the permeability of demineralized dentine to streptococcus mutans. *Australian Dental Journal*, 50(4), 242-245.
- Li T, Zhai X, Song F, Zhu H. (2018). Selective versus non-selective removal for dental caries: A systematic review and meta-analysis. *Acta Odontologica Scandinavica*, 76(2), 135-140.
- Mani Prakash DK, Vinay C, Uloopi KS et al. (2022). Evaluation of caries arresting potential of silver diamine fluoride and sodium fluoride varnish in primary molars: A randomized controlled trial. *Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*, 40(4), 377-382.
- Mei M L, Li Q L, Chu C H, Yiu C K, Lo E C. (2012). The inhibitory effects of silver diamine fluoride at different concentrations on matrix metalloproteinases. *Dental Materials*, 28(8), 903-908.
- Miller M, Hart K, Levi-Minzi M A et al. (2023). Parental acceptance of silver diamine fluoride treatment for carious lesions. *International Journal on Oral Health*, 3(1), 45-55.
- Mittal M, Chopra R, Kumar A, Kaur I P. (2024). Combination of Silver Diamine Fluoride and Hall Technique for Caries Management in Primary Molars: A Randomized Controlled Trial. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 17(10), 1114-1120.
- Ricketts D, Lamont T, Innes N P T, Kidd E, Clarkson J E. (2013). Operative caries management in adults and children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (3), CD003808.
- Samani, M., Majzoub, H., Zakavi, F., & Mojaddami, A. (2024). Efficacy of Potassium Iodide and Glutathione for Correlation of Dentin Discoloration Caused by Silver Diamine Fluoride. *Cureus*, 16(9), e68498.

- Schroth R J, Bajwa S, Lee V H et al. (2024). An open-label, parallel-group, randomized clinical trial of different silver diamine fluoride application intervals to arrest dental caries. *BMC Oral Health*, 24, 1036.
- Schwendicke F, Frencken J E, Bjørndal L et al. (2016). Managing carious lesions: Consensus recommendations on carious tissue removal. *Advances in Dental Research*, 28(2), 58-67.
- Sharawat N, Bansal K, Mathur V P et al. (2025). Evaluation of the success of single-visit versus two-visit silver modified atraumatic restorative technique (SMART) in primary molars- a randomized controlled trial. *Journal of Dentistry*, 156, 105661.
- Thakur S, Sojan M, Singhal P, Chauhan D. (2022). A comparative study to evaluate the effectiveness of silver diamine fluoride at different time durations of application in treating carious primary teeth: A randomized trial. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 15(2), 147–150.
- Turton B, Horn R, Durward C. (2021). Caries arrest and lesion appearance using two different silver fluoride therapies on primary teeth with and without potassium iodide: 12-month results. *Clinical and Experimental Dental Research*, 7(4), 609–619.
- Wakshlak R B-K, Pedahzur R, Avnir D. (2015). Antibacterial activity of silver-killed bacteria: The "zombies" effect. *Scientific Reports*, 5, 9555.
- Yin I X, Yu O Y, Zhao I S et al. (2020). Inhibition of dentine caries using fluoride solution with silver nanoparticles: An in vitro study. *Journal of Dentistry*, 103, 103512.
- Young D A, Quock R L, Horst J et al. (2021). Clinical instructions for using silver diamine fluoride (SDF) in dental caries management. *Compendium*, 42(6), 1-12.
- Youravong N, Carlen A, Teanpaisan R, Dahlen G. (2011). Metal-ion susceptibility of oral bacterial species. *Letters in Applied Microbiology*, 53(3), 324–328.
- Zaffarano L, Salerno C, Campus G et al. (2022). Silver diamine fluoride (SDF) efficacy in arresting cavitated caries lesions in primary molars: A systematic review and metanalysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12917.
- Zhao I, Mei M, Burrow M, Lo E, Chu C H. (2017). Effect of silver diamine fluoride and potassium iodide treatment on secondary caries prevention and tooth discolouration in cervical glass ionomer cement restoration. *International Journal of Molecular Sciences*, 18, 340.
- Zhao I S, Gao S S, Hiraishi N et al. (2018). Mechanisms of silver diamine fluoride on arresting caries: A literature review. *International Dental Journal*, 68(2), 67-76.

YENİDOĞAN VE BEBEKLERDE AĞIZ BAKIMI

Başak AKDAĞ

- ❖ Kurum Bilgisi: İstanbul Aydın Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Pedodonti Anabilim Dalı, İstanbul/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0003-1051-9802
- ❖ Mail: dtbasakakdag@gmail.com

Sevgi ZORLU

- ❖ Kurum Bilgisi: İstanbul Aydın Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Pedodonti Anabilim Dalı, İstanbul/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-2019-5728
- ❖ Mail: sevgizorlu@aydin.edu.tr

Gebelik Dönemi

Çocuklarda ağız sağlığının temeli, prenatal dönemde ebeveynlere verilen eğitimle atılmaktadır. Beslenme yetersizliği bulunan ya da düşük doğum ağırlığıyla doğan çocuklar, minenin tam olarak gelişememesiyle karakterize mine hipoplazisi açısından risk taşımaktadır (Chandna ve Adlakha, 2010). Mine gelişiminin gerçekleştiği gebeliğin üçüncü trimesterinde ve doğumdan sonraki ilk bir yıl içinde, anne adaylarının beslenme konusunda bilgilendirilmesi gerekmektedir (Chandna ve Adlakha, 2010). FDA, 2020 yılında, gebelerde, gebelik planlayan kadınlarda, emziren annelerde ve altı yaşından küçük çocuklarda dental amalgam kullanımından kaçınılmasını önermiştir (FDA, 2020). Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, mutans grubu bakterilerin dişler sürmeden önce ağız ortamında kolonizasyon göstermeye başladığını ortaya koymuştur. Çürük gelişiminin önlenmesine yönelik ideal tedavi yaklaşımının, prenatal dönemde annenin korunmasıyla başlaması ve çocuğun yaklaşık altıncı ayında, ilk diş sürme döneminde sürdürülmesi gerektiği bildirilmektedir (Chandna ve Adlakha, 2010). Gebelik öncesinde annelere oral hijyen eğitimi verilmeli, hamilelik gingiviti konusunda bilgilendirme yapılmalı, gerekli intraoral tedavileri tamamlanmalı ve beslenme düzeni hakkında danışmanlık sunulmalıdır (Chandna ve Adlakha, 2010). Annenin oral hijyeninin, diyet alışkanlıklarının ve gargara kullanımının iyileştirilmesi, çocukta çürük riskinin azaltılmasında önemli etki göstermektedir. (Chandna ve Adlakha, 2010) Ayrıca, annenin dental öyküsü ile bebeğin dental durumu arasında korelasyon bulunduğu saptandığından, ebeveyne, çoğunlukla anneye, kendi ağız ve diş sağlığı uygulamalarına ilişkin dört ya da beş soru yöneltilerek diş çürüğü riski taşıyan çok küçük yaşta hastaların belirlenebileceği ifade edilmektedir (Hale, 2003).

Spesifik sorular; ebeveynin beslenme alışkanlıklarını, florür maruziyetini, diş fırçalama ve diş ipi kullanım sıklığını, diş hekimi kontrollerine katılımını ve mevcut dolgu sayısını kapsamalıdır. Bu bilgiler, ebeveynin diş çürüğü öyküsü ve çürük gelişme potansiyeli hakkında göreceli bir gösterge sunmakta olup, bebekte ortaya çıkabilecek ağız sağlığı sorunlarıyla ilişki göstermektedir (Hale, 2003). Son çalışmalarda maternal periodontitis ile erken doğum arasında ilişki bulunduğu bildirilmiştir. Annedeki *S. mutans* düzeyi arttıkça, çocukta çürük görülme sıklığının da arttığı belirtilmektedir (Chandna ve Adlakha, 2010; McGaw, 2002). Tükürükte östrojen düzeyinin artmasına bağlı olarak oral mukoza hücrelerinde meydana gelen proliferasyon ve deskuamasyon, çürük

oluşumuna neden olan bakterilerin gelişimi için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Bu nedenle gebelerde iyi ağız hijyeninin sağlanması, hormonal kaynaklı inflamatuvar oral değişikliklerin azalmasına katkıda bulunmaktadır (Thumar ve Bagda, 2015).

Ksilitolün, *Streptococcus mutans* üzerinde inhibitör etki göstererek ağızdaki düzeyini kalıcı biçimde azalttığı bildirilmektedir. Uzun süreli ksilitol kullanımının ise *Streptococcus mutans*'ın doğal mutant hücrelerinin ortaya çıkmasına yol açtığı ifade edilmektedir. Ksilitole dirençli mutantların, plaktaki ksilitole duyarlı ebeveyn suşlara kıyasla tükürük ortamına daha kolay geçtiği gösterilmiştir. Çocuklar iki yaşına ulaşınca kadar annelerin ksilitol kullanmasının, anneden bebeğe *Streptococcus mutans* geçişinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca annelerin doğumdan üç ay sonra başlayarak düzenli biçimde ksilitollü sakız çiğnemeleri ya da doğum sonrasında 6., 12. veya 18. aylarda klorheksidin ve florür vernik uygulamalarından yararlanmaları önerilmiştir (Tozar ve Erkmen, 2021; Söderling ve ark., 2001).

Gebelikte nadir görülen bulgulardan biri olan sialore ve pityalizm, gebeliğin ikinci veya üçüncü haftasında başlamakta ve ilk trimesterin sonunda azalmaktadır. Ayrıca ağız florasında *Prevotella*, *Bacteroides* ve *Porphyromonas* türlerinde artış gözlemlendiği bildirilmektedir (Jain ve ark., 2016; Tozar ve Erkmen, 2021). Plak kontrolünün sağlanabilmesi için uygun diş fırçalama ve diş ipi kullanımı tekniklerinin uygulanması gerekmektedir. Flor uygulamasının gerekli olduğu durumlarda, annenin başka kaynaklardan flor alıp almadığı da değerlendirilmelidir. Supragingival ve subgingival diş taşlarının uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Başlangıç aşamasındaki çürük lezyonları ve kusurlu restorasyonlar için gerekli önlemler alınmalıdır. Gebelerin beslenme düzeni izlenmeli ve günlük şeker tüketimi azaltılmalıdır. Hamilelikte veya doğum sonrası dönemde ksilitol ya da klorheksidin kullanımı, anneden bebeğe bakteri geçişini azaltmaktadır. Gebelik süresince sigara kullanımının kesin olarak önlenmesi gerekmektedir (Jain ve ark., 2016; Tozar ve Erkmen, 2021)

Gebelikte karbonhidrattan zengin besinler ile asitli içeceklerden kaçınılmalı; çürük gelişim riskini azaltmak amacıyla çürük önleyici özellik taşıyan besinler tercih edilmelidir. Diş çürüğünden korunmada, yeterli miktarda vitamin, özellikle A, C ve D vitaminleri ile mineral ve spesifik elementleri içeren; ayrıca kalsiyum, fosfat ve florür sağlayan gıdaların tüketilmesi önerilmektedir (Guideline on PIOHC, 2016). Hamilelik sırasında

anne ve çocukta istenmeyen ilaç reaksiyonlarının önlenmesi için ilaç kullanımı sınırlandırılmalıdır. FDA sınıflamasına göre kategori A ve B ilaçların gebelerde kullanılabileceği belirtilmiştir. (Tozar ve Erkmen, 2021) Bunun yanında, gebelikte folik asit desteğinin yarık damak ve dudak yarığı riskini azalttığı bildirilmiş; özellikle gebeliğin ilk 12 haftasında alındığında bu anomalilerin önlenmesinde önemli rol oynadığı ifade edilmiştir (AAPD, 2016; Tozar ve Erkmen, 2021).

Erken doğum ve düşük doğum ağırlığı ile maternal gingivitis arasında ilişki olduğu gösterilmiştir. Gingival inflamasyon varlığında, annenin oral kavitesindeki bakteriler dişetleri aracılığıyla kan dolaşımına geçebilmektedir. Bu bakterilerin uterusu ulaşması, prostaglandin benzeri kimyasalların üretimini artırarak erken doğuma yol açabilmektedir (Silk ve ark., 2008; Tozar ve Erkmen, 2021).

Doğum ve geçişler

E. coli, *Stafilokok* ve *Streptokok* gibi bakteriler normal doğumda, doğum kanalı geçişi sırasında bebeğin mikrobiyotasına aktarılır. Fakültatif anaerob özellikteki doğum kanalından bebeğe aktarılan bu bakteriler birkaç gün içerisinde çoğalarak anaerob bir ortam meydana getirmektedir. Oluşan ortam, anne sütü yoluyla bebeğe geçen ve yalnızca anaerob koşullarda çoğalabilen *Bacteroides* ve *Bifido* bakterilerinin kolonizasyonuna ve baskın hale gelmesine olanak tanımaktadır. (Bergmann ve ark., 2014) Vajinal doğumla doğan bebeklerin, annenin vajinal florasına benzer bakteri topluluklarına sahip olduğu; bu topluluklarda ağırlıklı olarak *Lactobacillus*, *Prevotella* ve *Sneathia* türlerinin bulunduğu bildirilmektedir. Buna karşılık, sezaryen ile doğan bebeklerin oral bakteri kolonizasyonunun annenin deri mikrobiyotası ile benzerlik gösterdiği ve bu mikrobiyotada başlıca *Staphylococcus*, *Corynebacterium* ve *Propionibacterium* türlerinin baskın olduğu belirtilmektedir. (Dominguez-Bello ve ark., 2010) Vajinal doğumla doğan yenidoğanlarda fungal kolonizasyonun, sezaryen ile doğanlara göre %10 daha fazla olduğu ve vajinal doğumun erken kolonizasyon açısından bilinen tek önemli risk faktörü olduğu ifade edilmiştir. (Farmaki ve ark., 2007) Bebeğin sezaryen ile doğması sonucunda fizyolojik stres ve bazı hormonların bulunmaması sebebiyle anne sütüne mikrobiyota aktarımının negatif etkilerinin bulunduğu bildirilmiştir. Ayrıca sezaryen ile doğan bebeklerin, normal doğumla dünyaya gelen bebeklerle karşılaştırılması gerekirse; vajinal kanaldan geçerken karşılaştığı vajinal ve intestinal bakterilerle temasta

bulunmaması sonucunda, mikrobiyota gelişimi üzerinde olumsuz etkiye neden olduğu ortaya konulmuştur. (Güney ve Çınar, 2017)

Doğumdan sonraki ilk gün içerisinde, Gram-pozitif koklar (*Streptococcus* ve *Staphylococcus* gibi mikroorganizmalar) bebeğin oral boşluğunda kolonize olmaktadır. (Duranti ve ark., 2017) Bebeklerin ağız boşluğu, dişlenme döneminden önce kolonizasyon için yalnızca mukozal yüzeyler içermektedir. Öncü mikrobiyal topluluklar esas olarak aerobik ve fakültatif anaerobik bakteri türlerinden meydana gelmektedir. Birincil kolonizatörlerden biri olan streptokoklar, doğumdan birkaç gün sonra yaygın biçimde izole edilmekte; bu kolonizasyonda *S. oralis*, *S. mitis* biovar 1 ve *S. salivarius* sayısal olarak baskın bulunmaktadır. Zamanla streptokok mikrobiyotasının çeşitliliği artmakta; yaklaşık otuz günün sonunda tüm bebeklerin en az iki *Streptococcus* türü ile kolonize olduğu, bunlar arasında ise *S. salivarius* ve *S. mitis* biovar 1'in en yaygın türler olduğu bildirilmektedir. (Marsh ve ark., 2016)

Emzirmenin, 4-8. haftalarda *Actinobacteria* ve *Proteobacteria* kolonizasyonu ile, üçüncü aydaki *Lactobacillus* prevalansı ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Laktobasillerin, özellikle *L. plantarum*'un, anne sütü ile beslenen bebeklerde daha yaygın olduğu ve bu mikroorganizmaların *Streptococcus mutans* ile *Candida albicans*'ın büyümesini inhibe ettiğinin gösterilmiş olması nedeniyle, bebek oral mikrobiyotasının sonraki gelişimi üzerinde etkili olabileceği ileri sürülmektedir. (Marsh ve ark., 2016) Urbaniak ve arkadaşlarının anne sütü örneklerini inceledikleri çalışmada, anne sütünde en sık saptanan bakteri türlerinin *Stafilokok*, *Pseudomonas*, *Enterobacteriaceae*, *Streptokok* ve *Laktobasil* olduğu belirlenmiş; ayrıca anne sütündeki bakteri profilinin preterm ya da term doğumlarda, sezaryen ya da vajinal doğumlarda ve bebeğin kız ya da erkek olmasına göre anlamlı bir farklılık göstermediği ortaya konmuştur. (Urbaniak ve ark., 2016) (Güney ve Çınar, 2017)

Yenidoğanın ağız ortamında MS enfeksiyonunun ortaya çıkma sürecinin, süt dişlerinin sürmeye başladığı dönemde tetiklendiği, süt dişi sayısının arttığı 19-31. aylar arasında ise en yüksek düzeye ulaştığı bildirilmektedir. Bebeklerin bu organizmaları enfekte bireylerden, özellikle de annelerinden edindiklerinin düşünüldüğü 19-31 ay aralığı "enfektivite penceresi" olarak adlandırılmaktadır. (Carletto ve ark., 2005) (Kızılcı ve Özalp, 2015) Enfektivite penceresi döneminde en yüksek geçişin 26. ayda gerçekleştiği belirtilmektedir. (Tankunnasombut ve ark., 2009) Risk

faktörlerinin, ilk enfektivite penceresinin kapanmasıyla ortadan kalkmadığı bildirilmekle beraber; 6–12 yaşlarında sürekli dentisyonun tamamlanmaya başlaması ile birlikte “ikinci enfektivite penceresi” ortaya çıkmaktadır. (Kızılcı ve Özalp, 2015)

Wan ve arkadaşları, 111 çocuğu 0–24 ay arasında *S. mutans* sayısı bakımından değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda kolonizasyon oranları 0, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ve 24. aylarda sırasıyla %5, %18, %49, %53, %62, %68, %70, %74,5 ve %79 olarak saptanmıştır. (Wan ve ark., 2003) (Kızılcı ve Özalp, 2015) MS kolonizasyonunu birçok faktör etkilemektedir. Düşük doğum ağırlığı, damak yarıkları için obturatör kullanımı, erken diş sürmesi ve düşük tükürük IgA antikor düzeyi, kolonizasyonda etkili faktörler arasında yer almaktadır. (Kızılcı ve Özalp, 2015) Annenin tükürüğündeki MS düzeyinin 10^6 CFU/ml’nin üzerinde olduğu durumlarda, çocuğun üç yıl içinde enfekte olma olasılığının %70 olduğu bildirilmiştir. Buna karşın annenin tükürüğündeki MS düzeyi 3×10^5 CFU/ml’den düşük olduğunda, bebeğin anne kaynaklı enfeksiyon edinme riskinin %20’ye gerilediği belirtilmiştir. (Kızılcı ve Özalp, 2015)

MS enfeksiyonunun temel kaynağının anne olduğu; genotipik olarak DNA parmak izi ve plazmid DNA profili çalışmalarıyla, fenotipik olarak ise bakteriyosin tiplmesi ve serotipleme çalışmalarıyla gösterilmiştir. Bebekten elde edilen türlerin baba ile karşılaştırıldığında değil, büyük oranda anne ile (%90’dan fazla) benzerlik göstermesi, vertikal geçişin daha çok anne ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. (Adair, 2005) (Kızılcı ve Özalp, 2015) Bununla birlikte, yatay geçişin de bir aile ya da grup üyeleri arasında meydana gelebileceği bildirilmektedir. Tükürük paylaşımına yol açan davranışların ortadan kaldırılması, bebeklerde çürük gelişiminin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir. (Chandna ve Adlakha, 2010) Bebek ile ailesi arasındaki tükürük paylaşımını en aza indirmek, çürükten korunma yöntemlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle biberonun sıcaklığının ağızla kontrol edilmesinden ve kaşık gibi mutfak gereçlerinin ortak kullanılmasından kaçınılması gerekmektedir. Bu yaklaşım, diş çürüğüne neden olan bakterilerin bulaşmasının önlenmesine yardımcı olmaktadır. (Chandna ve Adlakha, 2010)

Yenidoğanda ağız hastalıkları

Epstein incileri, sert ve yumuşak damağın birleşim bölgesinde, orta damak rafesi üzerinde yer alan keratin içeriğine sahip kistlerdir. Bu gelişimsel kalıntı genellikle doğumdan kısa süre sonra kaybolmakta olup herhangi bir tedavi gerektirmemektedir. (Pinto, 2005)(AAPD, 2021)

Bohn nodülleri, mandibular ve maksiller çıkıntılarının bukkal ve lingual yüzeyleri boyunca ve yenidoğanın sert damağında görülen küçük gelişimsel anomalilerdir. Bu lezyonların, mukus bezi dokusunun kalıntılarından kaynaklandığı bildirilmektedir (AAPD, 2021)

Dental lamina kistleri, yenidoğanların mandibular ve maksiller alveolar sırtlarının tepesi boyunca görülebilmektedir. Bu lezyonlar, dental laminanın epitel kalıntılarından köken almaktadır (AAPD, 2021).

Fordyce granülleri, çoğunlukla bukkal mukoza veya dudaklarda gözlenen, oldukça yaygın, yer değiştirmiş sarı-beyaz sebase bezlerdir. Bu lezyonlar klinik açıdan önemsiz olup kendiliğinden gerilediğinden herhangi bir tedavi gerektirmemektedir (Pinto, 2005; AAPD, 2021).

Ankiloglossi, dil hareketlerini kısıtlayabilen ve beslenme ya da konuşmayı engelleyebilen, normalden kısa bir lingual frenulum ile karakterizedir. Çocuk büyüdükçe frenulumun kendiliğinden uzayabileceği bildirilmektedir. Cerrahi düzeltme, bireysel değerlendirme doğrultusunda, fonksiyonel kısıtlılıkların giderilmesi ve semptomatik rahatlama sağlanması amacıyla endike olabilmektedir (Pinto, 2005; AAPD, 2021).

Orofaringeal kandidiyazis, orofaringeal mukozayı örten beyaz plaklar şeklinde ortaya çıkmakta ve bu plaklar uzaklaştırıldığında altta inflamasyon bir yüzey bırakmaktadır (Pinto, 2005; AAPD, 2021). Hemşire ve ebelerin sorumluluklarından biri, pamukçuk oluşumunu ve yayılımını önlemeye yönelik uygulamaların annelere ve bebeğin bakımını üstlenen diğer kişilere öğretilmesidir. Bu uygulamalar arasında, annenin bebeği emzirmeden önce ve her bez değişiminden sonra ellerini ılık sabunlu su ile iyice yıkaması, bebeğin ellerinin sık aralıklarla temizlenmesi, çarşafların, oyuncakların ve diğer malzemelerin yüksek ısıda sık yıkanması, meme pedlerinin her emzirmeden sonra değiştirilmesi ve sıcak sabunlu su ile yıkanmadan yeniden kullanılmaması, emzik ve biberonların düzenli olarak kaynatılması, meme çatlaklarını önlemek amacıyla emzirme sonrasında memelere kuru ısı uygulanması ve koruyucu pomadların kullanılması yer almaktadır. Tedavide topikal antifungal ilaçlardan yararlanılmaktadır. Candida'ya etkili olan nistatin veya %1'lik gentian violet solüsyonu, bir hafta süreyle günde dört kez oral lezyonların üzerine uygulanmaktadır (Başar ve Arıöz, 2017).

Primer herpetik gingivostomatit; eritemli dişeti, mukozal kanamalar ve ağız boyunca izlenen küçük vezikül kümeleri gibi oral bulgularla karakterizedir. Sistemik belirtiler arasında ateş, halsizlik, lenfadenopati ile yeme ve içmede güçlük yer alabilmektedir. Semptomların genellikle iki hafta

içinde gerilediği ve lezyonların skar bırakmadan iyileştiği bildirilmektedir. Dehidratasyonun önlenmesi amacıyla sıvı alımı teşvik edilmeli, analjezikler ise çocuğun daha rahat olmasına katkı sağlayabilmektedir. Oral asiklovirin, semptomların süresini kısaltmada yararlı olabileceği belirtilmektedir. Otoinokülasyonun ve enfeksiyonun gözlere, vücudun diğer bölgelerine ya da başka bireylere yayılmasının önlenmesi için hem uygulayıcıların hem de ebeveynlerin dikkatli olması gerekmektedir (Pinto, 2005; AAPD, 2021). Nadir durumlarda, yenidoğanın alveolar mukozasında görülen küçük, beyaz veya grimsi beyaz lezyonlar yanlışlıkla natal diş olarak değerlendirilebilmektedir.

Erüpsiyon hematomu, bazen süt ya da daimi dişin sürmesinden birkaç hafta önce gelişen, mavimsi-mor renkli kabarık bir doku alanı olarak tanımlanmaktadır. Kanla dolu bu kist, en sık süt ikinci azı dişi veya birinci daimi azı dişi bölgesinde görülmektedir. Bu durum, lezyonun fonksiyon sırasında yumuşak dokuya gelen travma sonucunda geliştiği görüşünü desteklemektedir. Genellikle diş, birkaç gün içinde dokuyu penetre etmekte ve hematom gerilemektedir. Durum çoğu zaman kendini sınırladığından, erüpsiyon hematomunda tedaviye nadiren ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, bazı durumlarda kronun cerrahi olarak açığa çıkarılması haklı görülebilmektedir. Ebeveynler hematomu fark ettiklerinde çocuğun malign bir tümör gibi ciddi bir hastalığa sahip olabileceğinden endişe duyabilmektedir. Bu nedenle diş hekiminin, lezyonun ciddi bir özellik taşımadığı konusunda güvence verirken ebeveynlerin kaygılarını anlaması ve duyarlı davranması önem taşımaktadır. (McDonald ve ark., 2011)

Melanotik nöroektodermal tümör, nöral krest hücrelerinden köken alan nadir ancak önemli bir pediatrik tümördür. Genellikle maksillada görülmektedir. Doğumda mevcut olabilmekte ve bildirilen tüm olguların 4 aylıkken tanı aldığı belirtilmektedir. Nöroblastomaya benzer biçimde, idrarda vanililmandelik asit düzeylerinde artış gözlenebilmektedir. Lezyonlar, ektomezankimal kökenlerini yansıtacak şekilde diş dokularına yakın yerleşmekte, ancak bu dokuları içermemekte ve çok merkezli olabilmektedir. Ağız içi lezyonlar, normal mukozal görünüm gösterebilen veya mavi-siyah renk tonuna sahip olabilen sınırlı şişlikler biçiminde izlenmekte ve primer kesici dişlerin erken sürmesi ile ilişkili olabilmektedir. Lezyonun son derece hızlı büyümesi nedeniyle bilgisayarlı tomografi sonrasında eksizyonel biyopsi gerekmektedir. Yerleşim yeri ve görüldüğü yaş dikkate alındığında tanısı nispeten kolay konulabilmektedir. Tedavide enükleasyon önerilmekte, radyoterapi uygulanmamakta ve nüks gözlenmemektedir.

Natal dişler doğumda mevcut olan dişler iken, neonatal dişler yaşamın ilk ayında ortaya çıkmaktadır. Bu dişler, kök ve kemik gelişimlerinin yetersiz olması nedeniyle yalnızca dişetine tutunmaktadır. Söz konusu dişler süpernümerer nitelikte olabileceği gibi, zamanından önce sürmüş süt dişleri de olabilmektedir. Natal veya neonatal dişler zaman zaman ağrıya ve beslenmeyi reddetmeye yol açabilmekte, ayrıca emzirme sırasında meme ucunda aşınma ya da ısırılmaya bağlı olarak annede rahatsızlık oluşturabilmektedir. Yutma ve hareket sırasında dilin natal dişe tekrarlayan biçimde sürtünmesine bağlı olarak gelişen dil ülserasyonu, kanama ve rahatsızlık tablosu Riga-Fede hastalığı olarak adlandırılmaktadır. (AAPD, 2021)

Bazı bebeklerde neonatal dişlerin varlığı, çeşitli çevresel etkenlerin ya da altta yatan bir sendromun göstergesi olabilmektedir. En sık bildirilen sendromlar arasında Ellis-van Creveld sendromu, Hallermann-Streiff sendromu, Pierre Robin sendromu ve Sotos sendromu yer almaktadır. Bu durum, natal veya neonatal dişlere sahip bebeklerde kapsamlı tanısal değerlendirmelerin önemini ortaya koymaktadır. Yenidoğan dişlerinin %10'undan daha azının süpernümerer olduğu bildirilmiştir. (McDonald ve ark., 2011)

Anne için emzirmede sorun oluşturan veya yalnızca dişetine bağlı olan dişler çekilebilmektedir. Bununla birlikte tercih edilen yaklaşım, dişin yerinde bırakılması ve komşu dişlerin gelişimi ile komplikasyonsuz sürmesi açısından bu dişin ağızda kalmasının öneminin ebeveynlere açıklanmasıdır. Göreceli olarak kısa bir süre içerisinde zamanından önce sürmüş diş stabilize olmakta ve ark içerisindeki diğer dişler sürmektedir. (McDonald ve ark., 2011)

Ağız Bakımı ve Yoğun Bakımda Ağız Bakımı

Bebeklerin ilk diş hekimi muayenelerinin, ilk dişin sürmesini izleyen 6 ay içerisinde ya da en geç 12 aylıkken gerçekleştirilmesi önerilmektedir. (Peterson-Sweeney ve Stevens, 2010) Emzirilen bebeklerin, biberonla beslenen bebeklere kıyasla Streptococcus mutans kolonizasyonu açısından daha yüksek risk altında olduğu bildirilmektedir. (Tozar ve Erkmen, 2021) Gece boyunca sık biberonla beslenme sınırlandırılmalıdır. Uzun süreli biberon kullanımı veya emzirme, erken çocukluk çağı çürüğünün gelişimini kolaylaştıran bir ortam oluşturmaktadır. Bu nedenle bebeklerin 12-14 aylık dönemde biberondan ayrılması gerekmektedir. (Chandna ve Adlakha, 2010) Dişlerin sürmeye başlamasından sonra gece emzirmenin talebe bağlı olarak sınırlandırılması önerilmektedir. Altıncı aydan sonra meyve suyu tüketimi

günde yalnızca 120 gram ile sınırlandırılmalı, altı aydan önce ise hiç verilmemelidir. Damlatmaz bardakların uzun süreli ve tekrarlayıcı biçimde kullanımına izin verilmemelidir. Ayrıca bebeğe verilecek mamanın annenin ağzına götürülmemesi gerekmektedir; çünkü mikroorganizmalar bu yolla annenin ağzından bebeğin ağzına aktarılabilir. Bebeğin diş ve diş etlerinin temizliğe ve ilerleyen dönemde fırçalamaya alışması amacıyla oral mukozanın erken dönemde silinmeye başlanması önerilmektedir. Dişler sürdükten sonra bu bölgeler günde iki kez silinmeli ya da fırçalanmalıdır. Annenin ağzından bebeğin ağzına mikrop geçişi olabileceğinden, yemek kapları bebekle ortak kullanılmamalıdır. Biberon ve emziklerin ağızda temizlenmesinden de kaçınılmalıdır. (Peterson-Sweeney ve Stevens, 2010)

On iki aydan uzun süren emzirme ve biberon kullanımı, özellikle bunun sık aralıklarla ve/veya gece yapılması durumunda, erken çocukluk çağı çürükleri ile ilişkili bulunmaktadır. Çocuğun gün boyunca biberon, taşınabilir kapaklı bardak, açık bardak veya meyve suyu kutusundan meyve suyu tüketmesine izin verilmesi zararlı olabilmektedir. Daha da önemlisi, serbest şekerlerin sık tüketimi, yani yiyecek ve içeceklere eklenen şekerler ile bal, şurup, meyve suları ve meyve suyu konsantrelerinde doğal olarak bulunan şekerler, çürük sürecini desteklemektedir. (AAPD, 2021)

Plak temizliğine, ilk süt dişlerinin sürmesiyle birlikte başlanması gerektiği konusunda genel bir görüş birliği bulunmaktadır. Bu erken dönem temizlik uygulamasının tamamen ebeveyn tarafından gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Temizlik işlemi, parmağın etrafına nemli bir gazlı bez ya da bez sarılarak dişlere ve dişeti dokularına hafifçe masaj yapılması yoluyla uygulanabilmektedir. Bebek beslenme sırasında uykuya dalarsa, yatağa yatırılmadan önce dişlerinin temizlenmesi gerekmektedir. (Chandna ve Adlakha, 2010) Bu işlem sırasında çocuk farklı şekillerde pozisyonlandırılabilir de, bir kol ile çocuğu kucakta tutarken diğer elle dişlerine masaj yapılması en basit yöntem olarak kabul edilmekte ve bebeğe güçlü bir güvenlik duygusu sağlamaktadır. (McDonald ve ark., 2011) “Bebeklik dönemi” sırasında, daha önce başlanmamışsa, plak uzaklaştırma işlemine diş fırçasının da dahil edilmesi gerekmektedir. Bu yaş grubundaki çocukların tükürememesi ve florürü yutma olasılığı nedeniyle, iki ve üç yaşlarında florürlü diş macunları dikkatli ve çok az miktarda, yalnızca fırçaya bulaştırılacak düzeyde kullanılabilir. (McDonald ve ark., 2011)

Yoğun bakım ünitelerine yatışı izleyen kısa süre içerisinde oral floranın değiştiği ve bakteriyel çoğalmanın başladığı belirtilmektedir. Bunun,

mukozada tükürük ve IgA salınımının azalmasına ek olarak nazogastrik sonda veya entübasyon tüpünün mekanik travmaya yol açmasına bağlı olduğu ifade edilmektedir. (Uysal ve Düzkaya, 2013) Yoğun bakım ünitelerinde oral mukozit gelişmeden önce bunun önlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle oral kavitenin; dişler, dişetleri, dil, mukoz membran ve dudaklar açısından günlük olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. (Uysal ve Düzkaya, 2013).

Yoğun bakım ortamında ağız bakımı çeşitli solüsyonlar kullanılarak sağlanmaktadır. Bunlar arasında serum fizyolojik, klorheksidin, benzidamin hidroklorid, hidrojen peroksit ve sodyum bikarbonat yer almaktadır. Serum fizyolojik, ağız bakımında güvenli ve ekonomik bir solüsyon olarak kabul edilmektedir. %0,9'luk NaCl içeren serum fizyolojik solüsyonunun oral mukozayı irrite etmediği, tükürük pH'sını değiştirdiği, granülasyon dokusunun oluşumuna katkı sağladığı ve iyileşmeyi desteklediği düşünülmektedir (Uysal ve Düzkaya, 2013). Halm ve Armola'nın (2009) gerçekleştirdiği meta-analiz çalışmasında klorheksidinin VİP gelişimini önlediği bildirilmiştir. Bununla birlikte çocuklarda yürütülen çalışmalar bu bulguyu desteklememektedir. Sebastian ve ark. (2012) tarafından pediatrik hastalarda %1 klorheksidin ile plasebo solüsyonun karşılaştırıldığı çalışmada, VİP gelişimi bakımından anlamlı bir fark saptanmamıştır (Uysal ve Düzkaya, 2013).

Hidrojen peroksitin, oral mukozanın temizlenmesinde ve mukozit geliştiğinde kullanılabileceği bildirilmekle birlikte, uygulama sırasında dikkatli olunması gerektiği vurgulanmaktadır. Uygun biçimde sulandırılmadığında oral mukozada yanıklara neden olabileceği belirtilmektedir (Uysal ve Düzkaya, 2013). Sodyum bikarbonatın tadı hoş değildir ve ağızda yanma hissi oluşturabilmektedir. Buna karşın, ağız içinde mukus birikimini azaltmakta, oral pH'yı yükselterek asidürik bakterilerin çoğalmasını önlemekte ve kolonizasyonu azaltmaktadır. VİP'i önlemeye yönelik bir çalışmada sodyum bikarbonat ile %0,2 klorheksidin karşılaştırılmış ve iki ajan arasında üstünlük saptanmamıştır. Klinik uygulamalarda sık kullanılmasına rağmen, sodyum bikarbonat ile ilgili çocuk yoğun bakım ünitelerinde yürütülmüş çalışmaların yetersiz olduğu, bu nedenle kanıt düzeyi yüksek randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç bulunduğu bildirilmektedir (Uysal ve Düzkaya, 2013).

Meme bakımı

Doğum öncesi dönemde memede oluşabilecek çatlakları ve hassasiyeti engellemek amacıyla gerekli bakımların başlaması gerekmektedir. Her emzirme öncesi ellerin yıkanması önem arz etmektedir. Memenin areola bölgesi kuru ve temiz tutulmalıdır. Her gün ılık su ile memelerin temizlenmesi gerekmektedir. Bu bölgede alkol veya sabun gibi ürünler kullanılmamalıdır. Bu ürünler, deride doğal olarak bulunan yağı azaltmakta, deride iritasyon ve fissürlere neden olmaktadır. (Taşkın, 2000; Başar ve Arıöz, 2017). Eskiden areola bölgesinin emzirme öncesinde karbonatlı su ile temizlenmesi önerilirken günümüzde tavsiye edilmemektedir. (Başar ve Arıöz, 2017). Emzirmenin sona ermesiyle birlikte memelerin bir süre havalandırılması ve ılık su ile temizlenmesi önerilmektedir. Emzirme döneminde geniş askılı ve pamuklu sütyenler tercih edilmelidir (Taşkın, 2000; Başar ve Arıöz, 2017).

Anne sütü ve ek gıda

DSÖ, UNICEF ve Amerikan Pediatri Akademisi; bebeklerin doğumdan itibaren ilk altı ay yalnızca anne sütü ile beslenmesini, yedinci aydan itibaren ise ek gıdalarla birlikte emzirmenin iki yaşına kadar sürdürülmesini önermektedir. Ayrıca DSÖ, ek gıdalara başlanması sürecinde emzirmenin azaltılmaması gerektiğini vurgulamaktadır. (Öztürk ve ark., 2018) Anne sütü ile beslenen bebeklerde, ilerleyen yaşlarda obezite, tip 1 ve tip 2 diabetes mellitus ile lösemi riskinin daha düşük olduğu bildirilmektedir. (Cambaz Kurt, 2020) En az altı ay süreyle anne sütü alan bebeklerde akut lenfoblastik lösemi riskinde %20, akut miyeloid lösemi riskinde ise %15 oranında azalma olduğu belirtilmiştir. (Kwan ve ark., 2004) Emzirmenin nöromotor gelişimde önemli bir rol üstlendiği, ayrıca hiperaktivite ve dikkat eksikliği belirtileri üzerinde iyileştirici etki gösterdiği ortaya konmuştur (Julvez ve ark., 2007; Cambaz Kurt, 2020). Tuzun ve arkadaşları, anne sütü mikrobiyotasında bulunan Bifido bakterilerinin anne sütü sarılığına karşı bebeği koruyabileceğini ifade etmektedir (Tüzün ve ark., 2013).

Annenin emzirme sırasında kendisini rahat hissettiği pozisyonda bulunması en uygun yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, hangi pozisyon tercih edilirse edilsin, bebeğin memeye yerleştirilmesinde dikkat edilmesi gereken temel noktalar bulunmaktadır. Buna göre bebeğin başı ve gövdesi aynı düzlemde olmalı, yüzü memeye dönük bulunmalı ve burnu doğrudan meme ucunun karşısında yer almalıdır. Ayrıca bebeğin vücudu annenin bedenine yakın olmalıdır. Bebeğin memeye yerleştirilmesi

sırasında, areolanın bebeğin alt çenesine yakın olan kısmının, üstte kalan bölüme kıyasla bebeğin ağızına daha fazla girmesi gerekmektedir. Bunun yanında bebeğin alt çenesi annenin memesine temas etmeli, yanakları dolgun görünmeli, emme hareketi ritmik ve yavaş olmalı ve yutkunma sesleri duyulmalıdır (Başar ve Arıöz, 2017).

Ek gıdalara başlanması için her çocuk açısından geçerli kesin bir yaş bulunmamaktadır. Ek gıdaya geçiş zamanını belirleyen başlıca unsurlar; çocuğun gelişimsel basamağı, böbrek fonksiyonlarının artması ve sindirim sisteminin olgunlaşmasıdır. Bu süreç genellikle 4–6 ay arasında gerçekleşmekle birlikte, her çocukta farklı zamanlarda ortaya çıkabilmektedir (Yalçın, 2002). Anne sütü dönemi, yeterli kalori ve protein içeriğine sahip olması ve yüksek biyolojik yararlanım göstermesi nedeniyle, yaşamın ilk 4–6 ayında tek başına yeterli kabul edilmektedir. Bu dönemde böbreklerin konsantrasyon ve sekresyon kapasiteleri düşük düzeydedir (Yalçın, 2002).

Tablo: Ek Gıdaya Geçiş Zamanları (Karataş ve ark., 2022)

YAŞ (AY)	MOTOR GELİŞİM	OROMOTOR GELİŞİM	ÖNERİLEN BESİN ŞEKLİ
0-6	Emme arama refleksleri, baş kontrolü	Dil uzatma ve geri çekme	Anne sütü
6-8	Eşyaları elden ele geçirme, destekli ve desteksiz oturma	Kemirme, yalama, ezme	Püre kıvamında ek gıda
8-12	Parmaklarla kısaç yapma, kabı tutma, besini ağıza götürme	Dilin yan hareketleri	Pütürlü besinler
12-18	Yürüme, el-ağız koordinasyonu	Çiğneme	Katı kıvamlı kolay çiğnenen besinler (peynir, bisküvi vb.)
18-24	Hareket kontrolü	Yan çiğneme, ısırma, kemirme	Bir önceki dönemden besinler ve yeni tatlar, çiğ sebzeler

Bir yaşındaki çocuk, tüm besin gruplarından tüketebilir ve iki elini kullanarak kaptan sıvı gıda içebilir. İkinci yaşın sonunda ise yiyecekleri diğer maddelerden ayırt edebilmektedir. Buna göre bebeğe ek besin başlanabileceğini düşündüren bulgular; baş ve boyun kontrolünün tamamlanmış olması, başını dik tutabilmesi, oturabilmesi, el-göz koordinasyonunun gelişmiş olması, oyuncaklarını ağızına götürmesi, dil

çıkarma refleksinin kaybolması, kaşıktan verilen besinleri alabilmesi ve ağız açma, yutma ile çiğneme koordinasyonunun gelişmiş bulunmasıdır. (Yalçın, 2002) Genel olarak doğum ağırlığını iki katına çıkarmış olan çocukların ek gıdalara başlamaya hazır olduğu kabul edilmektedir. (Yalçın, 2002)

Ek besin verilirken dikkat edilmesi gereken bazı temel noktalar bulunmaktadır. (Hendricks ve Badruddin, 1992) Her yeni gıdaya tek tek başlanmalı ve başlangıçta çok az miktarda, örneğin bir yemek kaşığı kadar verilmelidir. Bebeğin tolere etme durumuna göre miktar 3-4 gün içerisinde artırılmalı, yeni bir besine ise bu sürenin sonunda geçilmelidir. Bu yaklaşım, çocuğun herhangi bir besine karşı alerjisinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. İlk kez verilecek besinlerin bebek açken denenmesi önerilmektedir. Bebek istemediği bir besini tüketmeye zorlanmamalı, bir süre ara verildikten sonra iki ya da üç hafta sonra yeniden denenmelidir. Ek gıdalara başlangıçta tek öğün şeklinde geçilmektedir. Bebek altı aylık olduğunda, anne sütüne ek olarak günde 2-4 öğün ek gıda alabilmektedir. Ek gıdaya geçişte önce tekli besin grupları, örneğin yoğurt ve meyve suları verilmekte, daha sonra ise çoklu karışımlara, örneğin sebze çorbası ve kabak dolmasına geçilmektedir. Bebeğe verilecek ek besinlerin protein, demir, çinko, vitamin D ve vitamin A yönünden zengin olmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca bebekler için doğal ve taze hazırlanmış besinlerin tercih edilmesi gerekmektedir. (Yalçın, 2002)

Konserve ve dondurulmuş yiyecekler ile katkı maddesi içeren hazır besinler bebeğe verilmemelidir. Bebek için hazırlanan gıdalar iki saat içerisinde tüketilmeli, oda sıcaklığında iki saatten daha uzun süre bekletilen yiyecekler kullanılmamalıdır. Uygun saklama koşullarının bulunmadığı durumlarda, örneğin buzdolabı yoksa, beslenme sonrasında artan miktarlar atılmalıdır. Besinler hazırlanmadan ve bebek beslenmeden önce eller mutlaka yıkanmalıdır. Bebeğe verilecek gıdaların hazırlanmasında gıda hijyeni kurallarına uyulmalı ve kaynatılmış su kullanılmalıdır. (Yalçın, 2002)

Tüm besinler yalnızca kaşıkla verilmelidir. Ek gıdaların sunumunda biberon kullanılmamalıdır. Koyu kıvamlı besinlerin emzikten çekilmesi sırasında boğulma riski oluşabilmektedir. Bunun yanında, ek gıdaların biberon ile verilmesi uygun olmayan beslenme alışkanlıklarının gelişmesine yol açmakta ve kaşıkla beslenme alışkanlığının kazanılmasını engellemektedir. Bebeği beslemede kullanılacak kap ve kaşıkların temiz olması gerekmektedir. Kullanılan kapların, gıda artıklarının birikmesini önlemek ve kolay temizlenebilmelerini sağlamak amacıyla köşesiz olması

önerilmektedir. (Yalçın, 2002) Bu malzemeler, ağzı kapalı bir tencere içerisinde en az beş dakika kaynatılmalı ve yine ağzı kapalı şekilde soğumaya bırakılmalıdır. Bu yöntemle sıcak buhardan da yararlanılmış olmaktadır. Kaynatılamamaları ve kolay temizlenememeleri nedeniyle plastik kaplar ile biberonların kullanılmaması önerilmektedir. Meyve ve sebze püreleri hazırlanırken vitamin kaybını önlemek amacıyla cam rende kullanılması gerektiği bildirilmektedir. Beslenme zamanlarının hem anne hem de çocuk açısından keyifli geçen zaman dilimleri olması önem taşımaktadır. (Yalçın, 2002) Beslenme sırasında annenin rahat olması ve acele etmemesi gerekmektedir. Çocuk çok hızlı ya da aşırı miktarda beslendiğinde kusma görülebilir; bu durumda gerekli temizlik yapıldıktan sonra beslenmeye devam edilmelidir. (Yalçın, 2002)

Dördüncü ile altıncı aylar arasında elma ve şeftali gibi meyveler ile yoğurt az miktarda verilmeye başlanabilmektedir. Pirinç kolay sindirilebilmekte ve nadiren alerjik reaksiyonlara yol açmaktadır. Başlangıçta sulu muhallebi biçiminde verilebilmektedir. Sebze püreleri patates, havuç, kabak ve pirinç ile hazırlanabilmektedir. Çorbalara az miktarda sıvı yağ eklenmesi, bebeğin enerji ihtiyacının karşılanmasına katkı sağlamaktadır. Yaşamın altıncı ayından itibaren yumurta sarısına az miktarda başlanabilmekte, miktar kademeli olarak artırılarak 8–10 gün içerisinde tam yumurta sarısına geçilmektedir. Yedinci ile dokuzuncu aylardan itibaren ise haftada iki ya da üç kez tam yumurta verilebilmektedir. Ispanak, turp ve pancar, yüksek nitrat içerikleri nedeniyle “weaning” döneminde önerilmemektedir. (Yalçın, 2002)

Yedinci aydan itibaren etli dolmalar, etli sebze yemekleri ve baharatsız ızgara köfte bebeğe verilebilmektedir. Bu dönemde pilav, makarna ve ekmek gibi nişastalı besinlere de başlanabilmektedir. Dokuzuncu aydan sonra çocuk birçok yiyeceği ısırarak tüketebilmekte, bir yaşına geldiğinde ise aile sofrasındaki besinleri yiyeabilmektedir. İlk dört ay boyunca anne sütü tek başına yeterli beslenmeyi sağlamaktadır. Yenidoğan bebeğin kalori ihtiyacı, vücut ağırlığı dikkate alındığında erişkinin yaklaşık üç katıdır. (Yalçın, 2002) Yeterli kalori alımı, santral sinir sistemi gelişimi açısından gereklidir. Dördüncü ile altıncı aydan sonra anne sütü çocuğun gereksinimini karşılamada yetersiz kalabilmektedir. Başlanan ek gıdaların yetersiz ve dengesiz olması durumunda çocukta büyüme geriliği ortaya çıkabilmektedir. Bu durum erken dönemde fark edilmezse malnütrisyon ve buna bağlı kalıcı komplikasyonlar gelişebilmektedir.

Anne sütündeki D vitamini miktarı yetersizdir. Bu nedenle yaşamın ilk yılı içerisinde tüm çocuklara 400 IU D vitamini verilmesi ve çocukların güneş ışığından yararlandırılması gerekmektedir. (Lifshitz ve ark., 1991) (Yalçın, 2002) Ülkemizde subklinik vitamin A eksikliğinin yaygın olduğu bildirilmektedir. Vitamin A eksikliğinde körlük gelişiminin yanı sıra büyümede duraklama ve immün sistemin baskılanmasına bağlı olarak kızamık ile ishaller hastalıkların morbidite ve mortalitesinde artış görülmektedir. Vitamin A; özellikle peynir, yumurta, karaciğer, balık, yeşil yapraklı sebzeler ve havuçta bulunmaktadır. Kızartma ve güneşte kurutma işlemlerinin vitamin A kaybına yol açtığı belirtilmektedir. Yaşamın ilk yılında günlük vitamin A gereksinimi 1500 IU'dur. Gelişmekte olan ülkelerde vitamin A eksikliğini önlemek amacıyla, 6–11 aylık çocuklara 4–6 ayda bir 100.000 IU, 12–72 aylık çocuklara ise 200.000 IU vitamin A içeren kapsüllerin verilmesi önerilmektedir. (Lifshitz ve ark., 1991) (Yalçın, 2002)

“Weaning” döneminde uygun ek gıdaların verilmemesi sonucu aneminin sık görüldüğü bildirilmektedir. Ülkemizde Koruyucu Demir Uygulaması kapsamında her bebeğe 6. ayda demir desteği sağlanmaktadır. (Tanca ve Kırsacıoğlu., 2017) Ek gıdalara başlandığında çocuğun tuz gereksinimi bulunmamakta ve tuzsuz gıdaları kolaylıkla tüketebilmektedir. Bu nedenle yaşamın ilk yılı boyunca bebeğin yiyeceklerine tuz eklenmemesi önerilmektedir. (Yalçın, 2002)

Eski önerilerde balık ve yumurtanın alerjen olabileceği düşüncesiyle daha geç başlanması tavsiye edilmekteydi; ancak son yıllardaki çalışmalar, bu besinlere geç başlanmasının alerji gelişimini geciktirmediğini göstermiştir. İyi bir protein kaynağı olan yumurtanın da sarısından başlanarak altıncı aydan itibaren bebeğe verilmesi gerekmektedir. Eğer bebek yeterli kalitede protein kaynakları tüketmiyorsa, her gün mutlaka tahıl veya kurubaklagil tüketmesi sağlanmalıdır. Fasulye, mercimek ve bezelye gibi baklagiller protein bakımından zengindir. Süt, peynir ve yoğurt ise enerji, kalsiyum, protein ve riboflavin yönünden zengin olup altıncı aydan itibaren bebeklere verilebilmektedir. Bununla birlikte bebekler, içeriğinde bulunan kazein proteini ve β -laktoglobulin nedeniyle inek sütünü sindirmekte zorlanabilmektedir. Bir yaşından önce inek sütü tüketiminin, ince bağırsağa zarar verebildiği ve gizli kan kaybına neden olabildiği bildirilmektedir. Bu nedenle ülkemizde bebeklere bir yaşından önce inek sütü verilmesi önerilmemektedir. (Yüce, 2011) (Karataş ve ark., 2022) Alerjen ve kontaminasyon riski nedeniyle balın da bir yaşından önce bebeklere verilmesi

önerilmemektedir. Buna karşılık, altıncı aydan itibaren günde bir çay kaşığı pekmez verilebileceği belirtilmektedir. (Yüce, 2011) (Karataş ve ark., 2022)

Diş Sürmesi

Diş sürmesi süreci, dönem dönem lokalize rahatsızlık, huzursuzluk, düşük dereceli ateş ve aşırı tükürük salgısına yol açabilmektedir; ancak birçok çocukta belirgin bir güçlük gözlenmemektedir. Semptomların giderilmesinde oral analjeziklerden ve çocuğun çiğneme ihtiyacını karşılayacak diş çıkarma halkalarından yararlanılmaktadır. (AAPD, 2021) Methemoglobinemi riski nedeniyle benzokain kullanımının iki yaşın altındaki çocuklarda kontrendike olduğu bildirilmektedir. (AAPD, 2021) Benzokain, vücutta oksijen taşınmasının azalması ile karakterize, nadir ancak ölümcül olabilen methemoglobinemiye neden olabilmektedir. FDA, çocuklarda methemoglobinemiye “soluk, gri veya mavi renkli cilt, dudaklar ve tırnak yatakları; nefes darlığı; bitkinlik; bilinç bulanıklığı, konfüzyon; baş ağrısı; baş dönmesi ve hızlı kalp atımı” şeklinde tanımlamaktadır. Bu durum, ilgili ürünlerin kullanımından sonraki birkaç dakika içinde ya da iki saate kadar olan sürede ortaya çıkabilmektedir. Diş çıkarma ürünleri; *Anbesol*, *Baby Orajel*, *Cepacol*, *Chloraseptic*, *Hurricane*, *Orabase*, *Orajel* ve *Toxex* gibi firmalara ait ürünlerin yanı sıra jenerik ve mağaza markalı benzerleriyle sprey, jel, solüsyon, merhem ve pastil formlarında bulunmaktadır.

Amerikan Pediatri Akademisi (AAP), diş çıkarma ağrısının giderilmesi için alternatif yöntemler önermektedir. Bunlar arasında bebeğin diş etlerinin temiz bir parmakla ovulması veya çiğnemesi için sert kauçuktan yapılmış bir diş çıkarma halkasının verilmesi yer almaktadır. Diş çıkarma takıları; ebeveynler ve bakıcılar tarafından kullanılan, yetişkin ya da çocuk tarafından takılabilen kolye ve bilezikler şeklinde piyasaya sunulmuştur. Bu takıların boncukları kehribar, ahşap, mermer veya silikon gibi çeşitli materyallerden yapılabilmektedir. Diş çıkarma amacıyla pazarlanan bu takılar, sert plastik veya kauçuktan üretilen ve yetişkin ya da çocuk tarafından takılmayan klasik diş çıkarma halkaları ya da diş kaşıyıcılarla aynı değildir. Söz konusu takılar diş etlerinde irritasyona ve buna bağlı enfeksiyona yol açabilmekte, parçalanmaları durumunda ise bebek tarafından yutulabilmektedir.

Diş çıkarma halkaları bebeğe soğutularak verilmelidir; ancak donmuş olmamalarına dikkat edilmelidir. Ebeveynlerin, bu dönemde kauçuk gibi bebekler için güvenli materyallerden üretilmiş, parçalanmayan, bebeğin koparıp yutamayacağı ve içinde sıvı bulunmayan diş çıkarma halkalarını tercih etmeleri gerekmektedir. Emzik alışkanlığı olan bebeklerde, beslenme

aralarındaki dönemlerde ağrının hafıflediği gözlenmiştir. Bebek emziğe olumlu yanıt veriyorsa bu dönemde kullanılabilir. Bununla birlikte emziğin her zaman temiz tutulması gerekmektedir. Bebeklerin beşiklerinde herhangi bir nesne ile uyumaları güvenli kabul edilmemektedir. Gözetimsiz bırakılan bebeklerde oyuncaklara bağlı boğulma riski daha yüksek olduğundan, ebeveynlerin gece saatlerinde beşığe diş çıkarma oyuncakları bırakmaması gerekmektedir. Günümüzde sık kullanılan kehribar boncuklardan yapılmış takıların diş çıkarma dönemindeki ağrıyı azalttığını gösteren bilimsel bir çalışma bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra, ailelerin ilaç kullanımından kaçınmak amacıyla başvurduğu homeopatik yöntemler, doz ayarlaması yapılamadığı için tehlikeli olabilmektedir. Önerilen maddelerin içeriğinde bulunan belladonna ve kafein miktarlarının dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Erken Çocukluk Çağı Çürükleri

Erken çocukluk çağı çürükleri (EÇÇ), son yıllarda önem kazanan ve 5 yaşından küçük çocuklarda ciddi bir sağlık sorunu olarak kabul edilen bir durumdur. (Peterson-Sweeney ve Stevens, 2010) Amerikan Pediatrik Diş Hekimliği Akademisi (AAPD) tarafından yapılan tanıma göre EÇÇ, 71 ay ve altındaki bir çocukta herhangi bir süt dişinde bir ya da daha fazla çürük, çürüğe bağlı diş kaybı veya dolgulu diş yüzeyinin bulunması şeklinde tanımlanmaktadır. (AAPD, 2007) Amerika Birleşik Devletleri'nde her 10 çocuktan 6'sında, 5 yaşına kadar en az bir çürük veya dolgulu süt dişi bulunduğu tahmin edilmektedir. (USDHHS, 2000) (Peterson-Sweeney ve Stevens, 2010) Yoksulluk sınırının altında yaşayan ailelerdeki bireylerin, daha yüksek sosyoekonomik düzeye sahip bireylere kıyasla daha fazla diş çürüğu ile karşılaştığı ve mevcut çürüklerin tedavisiz kalma olasılığının daha yüksek olduğu bildirilmektedir. (USDHHS, 2000) (Peterson-Sweeney ve Stevens, 2010) EÇÇ bulunan çocukların ilerleyen yaşlarda gingival inflamasyon ve periodontal hastalıklar da dahil olmak üzere daha fazla diş problemi geliştirme olasılığının belirgin biçimde arttığına ilişkin kanıtlar bulunmaktadır (Heller, Eklund, Pittman ve İsmail, 2000; Peterson-Sweeney ve Stevens, 2010). Beş ile on yedi yaş arasında bildirilen diş çürüğu olgularının, bildirilen astım vakalarının beş katı olduğu belirtilmiştir. (USDHHS, 2000; Peterson-Sweeney ve Stevens, 2010). Ağız sağlığının yetersiz olması, çocuk ve ergenlerin genel sağlık durumu ile büyüme ve gelişimleri üzerinde önemli etkiler oluşturabilmektedir. Çocuk Sağlığı Sigortası Araştırma Girişimi'nin 2003 yılı verilerine göre, çocuklarda diş hastalıkları her yıl 51 milyondan fazla okul

saatinin kaybedilmesine neden olmaktadır (Peterson-Sweeney ve Stevens, 2010).

KAYNAKLAR

- Adair, S. M. The Dynamics of Change: Epidemiology and mechanisms of dental disease. In: Pinkham, J. R., Casamassimo, P. S., Fields, H. W., McTigue, D. J., Nowak, A. J., Pediatric Dentistry: Infancy Through Adolescence (4th ed.). Mosby; 2005. Chapter 12.
- American Academy of Pediatric Dentistry. (2007). Reference manual 2007–2008. Pediatric Dentistry, 29(7 Suppl), 1–271.
- American Academy of Pediatric Dentistry. (2021). Perinatal and infant oral health care. The Reference Manual of Pediatric Dentistry. Chicago, IL: American Academy of Pediatric Dentistry; 262–266.
- Başar, F., & Arıöz, D. (2017). Gebelere lohusalık bakımı ve bebek bakımı konusunda verilen eğitimin etkinliğinin değerlendirilmesi. Journal of Current Researches on Health Sector, 7, 169–182.
- Bergmann, H., Rodríguez, J. M., Salminen, S., & Szajewska, H. (2014). Probiotics in human milk and probiotic supplementation in infant nutrition: A workshop report. British Journal of Nutrition, 112(7), 1119–1128.
- Cambaz Kurt, N. (2020). Anne sütüne ve emzirmeye genel bakış. Klinik Tıp Pediatri Dergisi, 12(1), 20–25.
- Carletto Korber, F. P., Cornejo, L. S., & Gimenez, M. G. (2005). Early acquisition of Streptococcus mutans for children. Acta Odontologica Latinoamericana, 18, 69–74.
- Chandna, P., & Adlakha, V. K. (2010). Oral health in children: Guidelines for pediatricians. Indian Pediatrics, 47(4), 323–327.
- Dominguez-Bello, M. G., Costello, E. K., Contreras, M., Magris, M., Hidalgo, G., Fierer, N., & Knight, R. (2010). Delivery mode shapes the acquisition and structure of the initial microbiota across multiple body habitats in newborns. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(26), 11971–11975.
- Duranti, S., Lugli, G. A., Mancabelli, L., Armanini, F., Turrone, F., James, K., et al. (2017). Maternal inheritance of bifidobacterial communities and bifidophages in infants through vertical transmission. Microbiome, 5(1), 66.
- Farmaki, E., Evdoridou, J., Pouliou, T., Bibashi, E., Panagopoulou, P., Filioti, J., et al. (2007). Fungal colonization in the neonatal intensive care unit:

- Risk factors, drug susceptibility, and association with invasive fungal infections. *American Journal of Perinatology*, 24(2), 127–135.
- Food and Drug Administration. (2020). FDA issues recommendations for certain high-risk groups regarding mercury-containing dental amalgam. *Guideline on perinatal and infant oral health care*. (2016). *Pediatric Dentistry*, 38(5), 54–58.
- Güney, R., & Çınar, N. (2017). Breastmilk and development of microbiota. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, 1, 17–24.
- Hendricks, K. M., & Badruddin, S. H. (1992). Weaning recommendations: The scientific basis. *Nutrition Reviews*, 125–133.
- Jain, D., Agrawal, N., Gautam, A., & Jain, S. (2016). Dental health care in pregnancy: A survey and literature review. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 15(6), 91–95.
- Julvez, J., Ribas-Fitó, N., Forns, M., Garcia-Esteban, R., Torrent, M., & Sunyer, J. (2007). Attention behaviour and hyperactivity at age 4 and duration of breastfeeding. *Acta Paediatrica*, 96(6), 842–847.
- Karataş, S., Karaca, K. E., & Köse, G. (2022). 0–2 yaş arası bebeği olan annelerin emzirme ile ilgili bilgi, tutum, davranışlarının ve ek gıdaya geçiş sürelerinin değerlendirilmesi. *YOBÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 3(3), 299–305.
- Kızılcı, E., & Özalp, N. (2015). Çocuklara *Streptokokkus mutans* geçişinin değerlendirilmesi: Etkili faktörler ve enfektivite penceresi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*.
- Kwan, M. L., Buffler, P. A., Abrams, B., & Kiley, V. A. (2004). Breastfeeding and the risk of childhood leukemia: A meta-analysis. *Public Health Reports*, 119(6), 521–535.
- Lifshitz, F., Finch, N. M., & Lifshitz, J. Z. (1991). *Children's nutrition*. Jones and Bartlett Publishers.
- Marsh, P. D., Lewis, M. A., Rogers, H., Williams, D., & Wilson, M. (2016). *Marsh and Martin's oral microbiology*. Elsevier.
- McDonald, R. E., Avery, D. R., & Dean, J. A. (2011). *McDonald and Avery's dentistry for the child and adolescent* (9th ed.). Mosby/Elsevier.
- McGaw, T. (2002). Periodontal disease and preterm delivery of low-birth-weight infants. *Journal (Canadian Dental Association)*, 68(3), 165–169.
- Oski, F. A. (1993). Iron deficiency in infancy and childhood. *New England Journal of Medicine*, 190–193.

- Öztürk, Ö., Sarıkaya, P., Özdemir, Ş., Çikendin, Z., & Zünbül, N. (2018). Anne sütü ve emzirme ile ilgili anneler tarafından bilinen doğrular ve yanlışlar. *Güncel Pediatri*, 16(2), 40–54.
- Peterson-Sweeney, K., & Stevens, J. (2010). Optimizing the health of infants and children: Their oral health counts! *Journal of Pediatric Nursing*, 25(4), 244–249.
- Pinto, A. (2005). Pediatric soft tissue lesions. *Dental Clinics of North America*, 49(1), 241–x.
- Silk, H., Douglass, A. B., Douglass, J. M., & Silk, L. (2008). Oral health during pregnancy. *American Family Physician*, 77(8), 1139–1144.
- Söderling, E., Isokangas, P., Pienihakkinen, K., Tenovu, J., & Alanen. (2001). Influence of maternal xylitol consumption on mother-child transmission of mutans streptococci: 6-year follow-up. *Caries Research*, 35(3), 173–177.
- Tankunnasombut, S., Youcharoen, K., Wisuttisak, W., Vichayanrat, S., & Tiranathanagul, S. (2009). Early colonization of mutans streptococci in 2- to 36-month-old Thai children. *Pediatric Dentistry*, 31(1), 47–51.
- Taşkın, L. (2000). Doğum ve kadın sağlığı hemşireliği (4. Baskı). Sistem Ofset.
- Thumar, S., & Bagda, K. (2015). Dental considerations in pregnancy. *National Journal of Integrated Research in Medicine*, 6(1), 93–97.
- Tozar, K. N., & Erkmén Almaz, M. (2021). Oral health in pregnant women and newborns. *Dent & Med Journal*, 3(1), 55–67.
- Tuzun, F., Kumral, A., Duman, N., & Özkan, H. (2013). Breast milk jaundice: Effect of bacteria present in breast milk and infant feces. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 56(3), 328–332.
- Urbaniak, C., Angelini, M., Gloor, G. B., & Reid, G. (2016). Human milk microbiota profiles in relation to birthing method, gestation and infant gender. *Microbiome*, 4(1), 2–9.
- Uysal, G., & Düzkaya, D. (2013). Çocuk yoğun bakım ünitelerinde kanıta dayalı uygulamalar. *Yoğun Bakım Hemşireliği Dergisi*, 17, 29–36.
- Wan, A. K., Seow, W. K., Purdie, D. M., Bird, P. S., Walsh, L. J., & Tudehope, D. I. (2003). A longitudinal study of *Streptococcus mutans* colonization in infants after tooth eruption. *Journal of Dental Research*, 82, 504–508.
- Yalçın, S. S. (2002). Ek besinlere geçiş dönemi (weaning).
- Yüce, A. (2011). Bebeklikten ergenliğe beslenme. *Türk Çocuk Gastroenteroloji, Hepatoloji ve Beslenme Derneği*.

TÜRKİYE VE DİĞER ÜLKELERDEKİ GÜNCEL KORUYUCU DİŞ HEKİMLİĞİ UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Hülya ERTEN CAN

- ❖ Kurum Bilgisi: Restoratif Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0001-7823-7145
- ❖ Mail: hulya.erten@deu.edu.tr

Alp SEMENDERÖĞLU

- ❖ Kurum Bilgisi: Restoratif Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0009-3082-9315
- ❖ Mail: alp.semenderoglu@deu.edu.tr

Özgür KANIK

- ❖ Kurum Bilgisi: Restoratif Diş Tedavisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-7667-9254
- ❖ Mail: ozgur.kanik@deu.edu.tr

GİRİŞ

Koruyucu hekimlik, hastalıkların ortaya çıkmasına engel olmak, erken teşhisini yapmak, ilerleyişini durdurmak, komplikasyonlarını azaltmak amacıyla yapılan tüm uygulamaları kapsayan sağlık hizmetleridir. Sağlık bilimlerinin her alanında olduğu gibi diş hekimliğinde de koruyucu hekimliğin önemli bir yeri bulunmaktadır (Bağ ve ark., 2024).

Diş çürüğü, dünyada en yaygın karşılaşılan kronik enfeksiyonel, hastalıktır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (World Health Organization-WHO) raporuna göre 2019 yılında 3,5 milyar insan ağız hastalıklarından etkilenmiştir. Tedavi edilmemiş diş çürüklerine sahip 2 milyar birey, bu grup içinde en büyük paya sahiptir. İkinci sırada periodontal hastalıklardan etkilenmiş bireyler yer alır (World Health Organization, 2022).

Günümüzde diş hekimliği tedavi odaklı olmak yerine, erken tanı ve koruyucu uygulamaların öne çıktığı bir hale evrilmektedir. Diş çürüğü başta olmak üzere ağız hastalıklarının erken dönemde teşhis edilmesi ve risk analizi yapılarak kaynakların akılcı şekilde kullanılması sayesinde toplumdaki sağlık sorunlarının maddi ve manevi yükü azaltılabilir. Diş hekimliğinde koruyucu yaklaşıma ağırlık verilmesinin, her yaş grubundan birçok hasta için geçerli olmak üzere, uzun süren, daha travmatik ve yüksek maliyetli tedavilere duyulan ihtiyacın azaltılmasında etkili olduğu bildirilmiştir. (Bağ ve ark., 2024).

Koruyucu Diş Hekimliği Uygulamaları

Hasta, Hekim ve Yardımcı Personelin Eğitimi

Koruyucu diş hekimliğinde eğitim, bireylerin ve toplumun ağız sağlığı konusundaki farkındalığını artırmayı, olumlu sağlık davranışları kazandırmayı ve hastalık risk faktörlerini yönetme becerilerini geliştirmeyi amaçlayan sistematik bir bilgi aktarım sürecidir (Şişko & Dağhan, 2022). Bu eğitim süreci; aile içinde başlayan kişisel bakım alışkanlıklarından, okuldaki kazanımlara ve diş hekimliği müfredatındaki akademik sosyal aktivitelerden, çizgi film ve kamu spotlarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsar (Winkelman ve ark., 2022).

Eğitim Yöntemleri

Oral hijyen alışkanlıklarının edinilmesinde sosyodemografik faktörler ve eğitim yöntemleri belirleyici bir role sahiptir. Ebeveynlerin düşük eğitim düzeyine sahip olması ve düşük gelir seviyesi, çocuklarda çürük riskinin artışı

ve oral hijyenin yetersizliği ile ilişkilidir (Orhan ve ark., 2024). Bu durum, hem yetişkin hem çocuk hastaların, oral hijyen konusundaki eğitiminin, göz ardı edilemez bir öneme sahip olmasının sebebidir. Oral hijyen eğitimi, bireysel sağlıkla sınırlandırılmamalı, bütüncül bir kamu sağlığı politikası haline getirilmelidir. (McAuliffe ve ark., 2025). Okullarda drama ve modelde gösterme yoluyla verilen oral hijyen eğitimleri, çocuklarda kalıcı davranış değişiklikleri yaratabilmektedir. Eğitim materyallerinin çeşitlendirilmesi, oral hijyen bilincinin, farklı zeka tipindeki çocuklara ve toplumun tüm katmanlarına ulaştırılmasında kritik bir rol oynamakla birlikte sağlık hizmetlerinin dağılımındaki eşitsizliğin en aza indirilmesinde etkili olabilmektedir (Pitts ve ark., 2021). Hijyen eğitiminde video ve görsel materyal kullanımının, geleneksel broşür yöntemine göre çocukların oral hijyen alışkanlıklarını geliştirmede daha başarılı olduğu bildirilmiştir (Şişko ve Dağhan, 2022).

Gelecekte diş hekimlerinin, koruyucu uygulamalar konusunda yetkin olmasını sağlamak için, fakültelerdeki diş hekimliği eğitiminde koruyucu yaklaşımlara gereken önem verilmelidir. Bu sayede diş hekimlerinin, sağlık sistemini en uygun şekilde yöneten profesyoneller olması sağlanabilir (Pitts ve ark., 2021). FDI Dünya Diş Hekimliği Federasyonu (FDI World Dental Federation - FDI) ve Türk Diş Hekimleri Birliği (TDB) tarafından yayınlanmış olan bildirilerde, mezuniyet sonrasında kapsayan sürekli diş hekimliği eğitiminin özellikle koruyucu diş hekimliği hizmetleri alanında toplum sağlığı açısından olumlu sonuçlar yaratacağına dikkat çekilmiştir (Özyavaş 2018). Türkiye'de diş hekimliği eğitiminin geleneksel operatif uygulamalarla sınırlı kalmayıp koruyucu hekimlik uygulamalarını kapsar hale gelmesi hedeflenerek, "Sürekli Diş Hekimliği Eğitimi" (SDE) yönergeleri ile mezuniyet sonrası eğitim güncellenmektedir (Yıldırım ve ark., 2011).

Kitle iletişim araçları, toplumda ağız sağlığına dair farkındalığı artırmak amacıyla kullanılabilir. Kamu spotları, sağlık rehberleri gibi bilgilendirici içeriklerin, televizyon ve internet gibi iletişim araçları ile halkın her kesimine ulaşarak sağlık okuryazarlığını artırması hedeflenmektedir. Şekerli besin tüketiminin sınırlandırılmasının, florür kullanımının, oral hijyenin ve düzenli diş hekimi ziyaretinin önemi, bu içeriklerde vurgulanması gereken temel noktalardır (Tekinalp ve Şahinöz, 2024).

CariesCare International, Moralhealth, WHO gibi küresel sistemler, ücretsiz e-öğrenme kaynakları sunarak, hem profesyoneller hem de hastalar için bilgiye erişimi kolaylaştırmaktadır (Pitts ve ark., 2021 ; WHO, 2022). Bu

tür kaynaklar, toplumun sağlık konusunda bilinçlenmesinde faydalı olsa da gelişen teknolojiyle sosyal medyada görülen bilgi kirliliğinin göz ardı edilmemesi önem taşımaktadır. Toplumun bilgi arayışında yanlış yönlendirilmemesi ve zarar görmemesi için, alanında uzman sağlık personeli tarafından, halka hitap eden içerikler oluşturulması ve herkes tarafından ulaşılabilir hale getirilmesi büyük önem taşımaktadır (Tekinalp ve Şahinöz, 2024).

Oral Hijyen

Ağız boşluğunda yer alan sert ve yumuşak dokuların sağlığını sürdürmek amacıyla dental plağın ve besin artıklarının mekanik veya kimyasal yöntemlerle uzaklaştırılması işlemi, oral hijyen olarak isimlendirilir (Yıldırım ve ark., 2011). Koruyucu diş hekimliğinin kilit taşı olan bu uygulama, periodontal hastalıklar ve diş çürüğü gibi dental plak kaynaklı problemlerin önüne geçilmesinde birincil yöntem olarak ele alınmaktadır (Winkelman ve ark., 2022). Asıl amaç, diş yüzeylerinde ve oral mukozada sürekli oluşan bakteri kolonizasyonunu engelleyerek asit salınımıyla oluşan diş çürüklerini engellemektir. (Ahovuo-Saloranta ve ark., 2017).

Diş fırçası, en temel mekanik oral hijyen aracıdır ve florürlü diş macunu ile beraber kullanıldığında çürük insidansını belirgin biçimde azaltır. Uluslararası rehberler, her gün en az iki defa, en az 1000 ppm florür içeren diş macunu ile dişlerin fırçalanmasını tavsiye etmektedir (Martignon ve ark., 2019).

Diş fırçasının ulaşamadığı ara yüzeylerin de temizlendiği kapsamlı oral hijyenin sağlanması için yardımcı hijyen araçlarının kullanımı gereklidir. Diş fırçası tek başına diş yüzeylerinin sadece bir kısmına ulaşabildiğinden, ara yüzeylerdeki plağı uzaklaştırmak için diş ipi veya ara yüz fırçası kullanımı önerilmektedir (Akarslan ve ark., 2008).

Beslenme Yönetimi

Diş çürüğü ve bir çok farklı kronik hastalığın beslenmeyle ilişkisinin gösterilmiş olması, beslenme yönetiminin toplumsal sağlık politikası olarak önemle ele alınması gerekliliğine işaret etmektedir (Saad ve Chen, 2024; Martín-Peláez ve ark., 2020). Diş çürüğü patogenezi, karbonhidratların diş yüzeyindeki dental plakta yer alan mutans streptokoklar ve laktobasiller gibi karyojenik mikro organizmalar tarafından fermente edilerek, ortamda organik asitlerin miktarında artışa neden olması ve düşük pH nedeniyle diş sert dokularında demineralizasyon yaşanması olarak özetlenebilir (Pitts ve ark.,

2021). Tercih edilen besinlerin içeriği ve tüketim sıklığı, ağız içindeki mikroflora ve pH dengesi gibi kritik değişkenleri etkiler. Bu değişkenlerin diş çürüğü insidansı ile ilişkili olması nedeniyle, beslenme alışkanlıklarının düzenlenmesi, koruyucu diş hekimliği uygulamaları arasında önemli bir yere sahiptir (Akarslan ve ark., 2008).

Serbest şekerler, WHO tarafından besinlere sonradan eklenen sükröz, glikoz, fruktoz gibi şekerler olarak tanımlanır. Bakteriler tarafından hızla metabolize edilebildiği için serbest şekerlerin karyojenik etkisi oldukça yüksektir. Bu nedenle günlük enerji ihtiyacının %10'undan daha fazlasının serbest şeker ile karşılanmaması gerektiği vurgulanmaktadır. Diş çürüğü açısından beslenmeyle ilgili önemli bir diğer risk faktörü de atıştırma sıklığıdır. Şekerli besinlerin tüketilmesinin ardından birkaç dakika içinde pH minimum değere ulaşır ancak tükürük tamponlayıcı etki göstererek genellikle yirmi dakika sonunda ağız ortamını tekrar normal pH değerine ulaştırır. Karbonhidratların kısa aralıklarla ve yüksek sıklıkta tüketilmesi, tükürük tamponlama kapasitesini aşarak şekerin karyojenik etkisinde artışa neden olmaktadır (WHO, 2022; Akarslan ve ark., 2008).

Çürük Riski Değerlendirme Sistemleri

Sağlık politikalarına karar verilirken, genel sağlık hizmetlerinin göstergesi olan detaylı bilgi ve belgelere sahip olunduğunda, süreç daha etkili yönetilebilmektedir. Ağız diş sağlığı hakkında ülkemizde yetersiz veriye sahip olunması bu konuda görece daha az refleks gösterilmesine neden olmaktadır (Righolt ve ark., 2018). Daha sık tarama çalışmaları yapılması ve elde edilen verilerin standart bir formatta düzenli olarak kayıt altına alınması sayesinde toplumun sağlık düzeyinin takibi ve uygulanan politikaların sonucunun değerlendirilmesi etkili bir şekilde yapılabilir.

DMFT, çürük varlığını ve diş sağlığını ifade etmek için tasarlanmış bir indekstir. 'D' harfi tedavi edilmemiş çürükleri, 'M' çürük nedeniyle kaybedilen dişleri ve 'F' restorasyon uygulanan dişleri ifade eder. 'T', diş başına indeksi; 'S', yüzey başına indeksi ifade eder. Yalnızca klinik muayene ile uygulanabilmektedir. Radyografik muayene ile beraber değerlendirildiğinde sıklıkla indeksin puanı yükselir (Becker ve ark., 2007).

Caries Management By Risk Assessment (CAMBRA), diş çürüğü riskini tayin etmek amacıyla koruyucu faktörler, risk faktörleri, çevresel ve biyolojik faktörler ve hekimin değerlendirmesi doğrultusunda bir çıktı oluşturur. Sonuçta çürük riski düşük, orta, yüksek, çok yüksek olarak

sınıflandırılır. Bu sayede sistem tarafından hastaya en uygun tedavi ve koruyuculuk uygulamaları önerilir.

Diş Çürüklerinin Erken Teşhisi

Diş çürüğü, erken aşamalarda, White spot ismi verilen diş yüzeyindeki mat beyaz alanlar ve renk değişiklikleri olarak izlenirler. Demineralizasyon sürecinin ilerlemesiyle çürük lezyonu mine tabakasını aşarak dentine ulaşır (Featherstone, 2004). Sıcak-soğuk hassasiyeti ve şekerli besinler tüketildiğinde ortaya çıkan hassasiyet, diş çürüğünün ilk semptomları olarak genellikle derin dentin seviyesindeki çürüklerde hissedilmektedir. Tedavi edilmediği takdirde, çürük tedavisinde endikasyonlar kök kanal tedavisi veya dişin ekstraksiyonu gibi invaziv yöntemleri gerektirebilmektedir (Kim ve ark., 2022). Diğer yandan diş çürüğünün erken aşamada tespit edilmesi, hekim ve hastaya minimal invaziv tedavi seçenekleri sunabilmektedir. (Moraes ve ark., 2024). Remineralizasyon tedavisi gibi koruyucu yaklaşımın uygulanması, tedavinin maliyeti, klinikte geçirilen zaman, konfor bakımından avantaj sağlamaktadır (Roberts ve ark., 2022).

Erken Çürük Teşhis Yöntemleri

Çürük teşhisi için kullanılan yöntemler arasında günümüzde tek bir altın standart mevcut değildir. Diş hekimleri tarafından çürük tespiti için genellikle radyografik muayene ve ayna ve sond ile yapılan görsel muayene bulguları, birlikte değerlendirilir. Buna karşın erken evrelerde diş çürüklerinin bu geleneksel yöntemlerle teşhis edilmesi daha güçtür. Diş çürüklerinin erken dönemde daha etkili şekilde teşhis edilebilmesi amacıyla farklı teknolojilerle desteklenen çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler ve geliştirilen cihazlardan bir kısmı Tablo 1’de belirtilmiştir (Semenderoğlu & Kanık, 2025 ; Zandona & Zero, 2006)

Tablo 1. Çürük teşhis araçları.

Teşhis Yöntemi	Cihaz İsmi	Üretici Firma	Ürün Menşei
Lazer flüoresans (LF)	DİAGNOdent	KaVo Dental	Almanya
QLF	QraycamPro®	AIOBIO	Güney Kore
FOTİ	MICROLUX	AdDental	ABD
Elektriksel iletkenlik ölçümü	Ortek-ECD®	Ortek Therapeutics	ABD
Alternatif Akım Empedans Spektroskopisi	CarieScan PRO™	CarieScan Ltd.	İskoçya

Ayna ve sond aracılığıyla yapılan muayene, dişin kurutulması, uygun aydınlatma ve büyütme aracı eşliğinde diş yüzeylerinin incelenmesi, renk değişikliklerinin değerlendirilmesi, adımlarından oluşur. Ancak muayenede kullanılan aydınlatma çeşidi, sond ile yüzeye uygulanan kuvvet miktarı, hekimin klinik tecrübesi gibi değişkenler, muayene sonuçlarını objektif olmaktan uzaklaştırmaktadır (Kanlıdere & Bala, 2023).

Diş çürüğü, mine ve dentin dokusunda demineralizasyona neden olduğundan radyografik muayene aracılığıyla teşhis edilmesi mümkün olmaktadır. Bununla birlikte radyografi, iyonize radyasyon oluşturan bir yöntemdir. İyonize radyasyonun birçok zararlı etkisi biliniyor olsa da teknolojik gelişmeler sayesinde her geçen gün hastayı daha düşük dozlara maruz bırakarak daha yüksek kalitede görüntü elde etmeyi sağlayan radyografik cihazlar tanıtılmaktadır. Radyografik muayenenin doğruluğu, film veya sensörün kalitesi ve hekimin klinik tecrübesi gibi faktörlere bağlıdır. Yapılan bir araştırma sonucunda diş hekimlerinin radyografik muayenede duyarlılığı okluzal çürükler için %30, arayüz çürükleri için %41 olarak bildirilmiştir (Çağlayan & Haroli, 2019 ; Bader ve ark., 2001).

Fiber Optik Transilluminasyon (FOTİ) cihazı, ışık kaynağı ve fiber optik uçtan oluşan bir çürük teşhis aracıdır. Diş çürüğü sebebiyle mine ve dentinin ışık geçirgenliği ve kırıcılığı değişmekte, bu sayede transilluminasyon tekniğiyle erken evredeki çürükler tespit edilebilmektedir. Cihazın düşük maliyette ve kolay kullanılabilir olması gibi avantajlarına rağmen sonuçların hekimin görüşüne bağımlı ve subjektif olması güvenilirliğini düşürmektedir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak amacıyla Dijital Fiber Optik Transilluminasyon (DİFOTİ) cihazı geliştirilmiştir. Farklı olarak sisteme entegre edilmiş kamera ve bilgisayar desteği sayesinde görüntü işlenerek standartlaştırılabilmekte, daha objektif sonuçlar elde edilebilmekte ve arşivlenebilmektedir (Akyıldız & Sönmez, 2019).

Lazer Floresans (LF), dişlerin doğal floresans özelliğinin kullanılarak diş çürüğünün hacminin ve derinliğinin tespitini sağlayan bir teşhis yöntemidir. Diş yapısında bulunan kollajen gibi proteinlerin floresans etkinliği, karyojenik bakterilerin etkisiyle dejenere olduğunda değişiklik gösterir. Diş yüzeyine lazer ışını gönderip geri dönen farklı dalga boyundaki fotonları algılayan LF cihazı, bu verileri analiz ederek çürük lezyonunun şiddeti hakkında sayısal ve daha objektif bir çıktı oluşturur (Gürses ve Ünlü, 2017).

Diş Hekimliğinde Minimal İnvaziv Yaklaşımlar

Fissür örtücüler, dişlerin okluzal yüzeylerindeki, zor temizlenen alanların doldurularak morfolojinin daha hijyenik hale gelmesini sağlayan, koruyucu materyallerdir. Yaygın olarak kullanılan üç tip fissür örtücü materyal bulunmaktadır. Bunlar, cam iyonomer bazlı örtücüler, rezin bazlı örtücüler ve poliasit modifiye örtücülerdir. Fissür örtücü kullanımı için endikasyonlar, derin ve dar fissürler ve yüksek çürük riskine sahip bireylerdir. Kontraendikasyonlar ise ara yüz çürüğüne, sık ve kolay temizlenebilen pit ve fissürlere, restorasyon gerektiren dişlere sahip bireylerdir. Amerikan Çocuk Diş Hekimleri Birliği'nin yayınlamış olduğu kılavuza göre, fissür örtücünün çürüksüz okluzal yüzeylerde kullanılması, 3 yıllık takipte çürük insidansını %76 azaltabilmektedir (Wright ve ark, 2016).

Başlangıç çürüklerinin invaziv olmayan tedavisi, diş yüzeylerine topikal olarak uygulanan vernik ve jel formundaki florür ajanları, kazein fosfopeptit-amorf kalsiyum fosfat (CPP-ACP) materyali, biyoaktif camlar ve nano-hidroksiapatitler aracılığıyla yapılmaktadır. Tüm bu remineralizasyon ajanlarının ortak hedefi, ağız ortamında pH'ı dengeleyerek diş yüzeyinde kalsiyum ve fosfat iyonlarının mine yapısına dahil olmasını sağlamaktır. Dişin sert dokularını, çürüğe karşı daha dirençli hale getirmek ve diş çürüklerinin remineralizasyonunu sağlamak, koruyucu diş hekimliği uygulamaları arasında temel yapı taşlarından birini oluşturur (Karabekiroğlu ve Ünlü, 2017).

Kemomekanik çürük uzaklaştırma, çürük temizliği esnasında aşırı madde kaybının önüne geçmek veya döner aletler olmadan restoratif tedavi uygulayabilmek amacıyla tercih edilir. Kimyasal yapısı değiştirilen dentinin sertliği azaltılır ve böylece ekskavatör yardımıyla uzaklaştırılabilir hale gelir. Piyasada sodyum hipoklorit ve enzim temelli farklı sistemler bulunur. Enfeksiyon riski yüksek olan veya dental döner aletlerin kullanımına uygun olmayan hastalarda tercih edilebilmektedir (Alp Ünlü ve ark., 2023).

Rezin infiltrasyon tekniği, lezyonların yüzeyindeki demineralize alanın, düşük viskoziteli bir rezin ile doldurularak, kavite oluşturmada çürük lezyonunun tedavi edilmesi olarak özetlenebilir. Mine seviyesindeki çürükler, molar-kesici diş hipomineralizasyonları ve florozis, rezin infiltrasyon işleminin endikasyonlarıdır. Geleneksel çürük uzaklaştırma yöntemi olan döner el aletlerinden farklı olarak gürültü, titreşim ve ağrı hissi en aza indirilmektedir (Alp Ünlü ve ark., 2023).

Atravmatik restoratif tedavi (ART), demineralize olmuş çürük lezyonunun sadece el aletleri kullanılarak temizlendiği ve ardından yüksek viskoziteli cam iyonmer siman ile restore edildiği tedavi biçimidir. Döner alet sistemlerinin temin edilemediği sınırlı koşullarda, restoratif tedavi uygulanabilmesini mümkün kılar. Cam iyonmer kullanımı nedeniyle bu tekniğin biyoyoumluluğu yüksektir (Alp Ünlü ve ark., 2023).

Remineralizasyon Ajanları

Diş yüzeylerinde, ağız içindeki birçok değişkene bağlı olarak sürekli devam eden bir demineralizasyon-remineralizasyon döngüsü sürmektedir. Bu süreçte belirleyici olan temel etkenler arasında bireyin şekerli besin tüketme alışkanlığı, mikroorganizmaların ürettiği asidik metabolitler, oral hijyen alışkanlıkları, tükürüğün akış hızı ve içeriği sayılabilir. Ağız ortamında dengenin demineralizasyon yönünde bozulması, diş çürüğü patogenezinin temelini oluşturmaktadır (Durak ve Yalçın, 2024). Diş sert dokularının temel yapı taşı olan hidroksiapatit kristalleri, ortamda pH 5,5'in altına düştüğünde çözünmeye başlar ve diş yüzeyinde madde kaybı yaşanır. Ağızdaki pH, kritik değer olan 5,5'in üstüne çıktığında ise remineralizasyon süreci baskın hale gelir. Remineralizasyon sürecinde diş yüzeyinde çöken temel iyonlar kalsiyum ve fosfattır. Bu iyonların çökmesiyle remineralizasyon olayı gerçekleşmektedir. Florun çeşitli formlarda sistemik ve topikal uygulamaları ile fizyolojik remineralizasyon desteklenebilmektedir (Chhabra ve Chhabra, 2018). Flor aynı zamanda, çeşitli glikolitik bakteri enzimlerini inhibe etmesi sayesinde, bakteri metabolizmasını baskılayarak ortamda ideal pH'nın korunmasını destekler. İnsan vücudundaki eser elementlerden olan flor (F), balık tüketmek ve flor içeriği yüksek tuzlar kullanmayı tercih etmek yoluyla doğal olarak temin edilebilir. Buna ek olarak flor tabletleri kullanılması veya şebeke suyuna eklenmesi ile sistemik olarak faydalanılabildiği gibi, flor içeren diş macunları, ağız çalkalama solüsyonları ve vernikler sayesinde, flordan topikal olarak da faydalanılabilmektedir (Everett, 2011).

İdeal bir remineralizasyon ajanı, diş dokularının tamamının mineral kazanımını destekleyerek ortama biyoyararlanımı yüksek şekilde kalsiyum, fosfat ve florür iyonları salmalıdır. Kristalize kalsiyum fosfat içeren sistemler tükürükle temas ettiğinde çözünerek ortama saldığı iyonlar aracılığıyla dişlerdeki çürük lezyonlarının ilerleyişini yavaşlatır, düşük pH ortamında tamponlayıcı etki gösterir. Başlangıç aşamasındaki çürüklerin remineralizasyonu amacıyla kullanılabilir. Kristal yapıya kalsiyum

fosfat aynı zamanda, kalsiyum sodyum fosfosilikat yapıdaki biyoaktif cam formunda temin edilebilmektedir. Bir diğer remineralizasyon sistemi ise amorf kalsiyum fosfat (ACP)'tır. Materyalin tükürükle etkileşime girmesi amorf kalsiyum florür fosfat çökmesi ile sonuçlanmaktadır. Kararsız olan bu yapı kısa süre içinde, düşük pH'ta çözünmeye karşı daha dirençli olan florohidroksiapatit ve hidroksiapatit kristal fazına dönüşmektedir (Malcangi ve ark., 2023 ; Belevcikli & Özdemir, 2022)

Sağlık Politikaları

Sağlık sistemi, halkın sağlık ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla tasarlanan, kaynakların tahsis edilmesi, sürecin finanse edilmesi ve hizmetin sunulması bileşenlerini düzenleyen çok yönlü bir yapıdır (WHO, 2010). Sistemin hedefi, sağlık hizmetlerini en kaliteli şekilde bireylere sunmak, hizmet maliyetlerini en düşük seviyede ve en adil şekilde topluma yansıtmaktır. Dünya Sağlık Örgütü, 2010 yılında yayınlanan raporda, evrensel bir sağlık sistemi iyileştirmesi için üç temel faktör olduğuna dikkat çekmiştir. Bunlar sağlık sisteminin finanse edilmesi, insanların hastalıklar sonucunda, altında kaldığı finansal yükün ortadan kaldırılması ve kaynakların optimal şekilde kullanılmasıdır (Kutzin, 2013).

Sağlık sistemlerinde finansman yönetimi, bazı temel fonksiyonları yerine getirmelidir. Bunlar gelir toplama, havuzlama ve hizmet satın alma olarak sıralanabilir. Gelir toplama, sağlık sisteminin çalışması için kaynak sağlayan mekanizmaların tamamını ifade eder. Bunlar vergiler, zorunlu sigorta primleri, gönüllü sigortalar, cepten ödemeler ve uluslararası fonlardır. Havuzlama ise, gelirin toplum adına bir araya getirilmesini, ardından bireylere ve kurumlara ihtiyaçlar doğrultusunda aktarılması işlemlerini ifade eder. Hizmet satın alma fonksiyonu, elde edilen kaynakların, sağlık üreticilerine aktarılması olarak tanımlanabilir (Özyavaş, 2018 ; Kutzin, 2001). Bireylerin sağlık hizmetlerine ulaşırken karşılarına çıkan finansal yükü en aza indirerek toplumun sağlık ve refah seviyesini yüksek tutmak, finansal sağlık politikalarının temel hedefidir (Tinanof ve ark., 2024).

Türkiye’de gayri safi yurtiçi hasıladan sağlık hizmetlerine ayrılan pay %4,7 iken, Ekonomi İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) üyesi olan ülkeler için bu payın ortalaması %8,8’dir. Türkiye’de kişi başına düşen ağız ve diş sağlığı harcaması ortalama 55 USD iken, Avrupa Birliği üyesi ülkeler için bu ortalama yaklaşık 257 USD olarak bildirilmiştir. Dental hizmetler için yapılan harcamanın nereden temin edildiği, ülkeler arasında farklılık gösterir. Türkiye, ağız diş sağlığı hizmetlerinin finansmanı için son yirmi yılda kamu

ağırlıklı bir strateji izlemektedir. 2002-2013 yılları arasında dental hizmetler için Türkiye’de yapılan harcamalarda Sağlık Bakanlığının katkısı %21’den %46’ya yükselmiş, özel sektörün katkısı %77’den %48’e düşmüştür (Özyavaş, 2018). Almanya’da ağız diş sağlığı harcamaları %67 oranında kamu kaynaklarından temin edilirken, İspanya’da bu oran %1,6 seviyesindedir. Bu durum, İspanya’da ağız diş sağlığı hizmeti harcamalarının %97,2’sinin cepten ödeme yoluyla yapılması ve bireysel anlamda ciddi bir finansal yük oluşturmaya sebep olmaktadır (Henschke ve ark., 2023). Finansmanındaki yetersizlik, bireylerin diş hekimi ziyaretlerinin azalması ve tedavi önerilerinin hastalar tarafından daha zor kabul edilebilmesi gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir. Yapılan bir araştırmaya göre Macaristan ve İrlanda’da toplum, yüksek maliyetlerin tedavi erişimi konusunda en büyük engel olduğu görüşündedir. Buna karşın Almanya’da maliyetler bu seviyede bir engel olarak görülmemektedir. Doğru planlanmış kamu finansmanı, Almanya’daki halk sağlığı başarısındaki önemli aktörler arasındadır (Leggett ve ark, 2025).

Sağlık personelinin ücretlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler, hekimlerin koruyucu veya tedavi edici çizgide uygulamalara karar vermesinde etkili olabilmektedir. Ödeme sisteminin hizmet başına yapılması, diş hekimlerini koruyucu önlemler yerine daha invaziv tedavilere yönlendirme riskini de beraberinde getirir. Bu durum toplum genelinde koruyucu uygulamaların arka plana atılmasına, ağız diş sağlığı harcamalarının yükselmesine, hastaların finansal yükünün artmasına ve konforun azalmasına yol açabilmektedir (Tinanoff ve ark., 2024). Türkiye’de uygulanan performansa dayalı ücret belirleme sisteminin ise birim zamanda yapılan işlem sayısında artış sağlasa bile tedavinin kalitesi ve koruyucu niteliği üzerinde olumsuz etkileri olduğu belirtilmektedir (Ekici ve ark., 2017).

Dünyada Ağız Ve Diş Sağlığı

Diş çürüğü ve periodontal hastalıkların küresel ölçekte maliyetinin, 2015 yılında 544,41 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir (Righolt ve ark., 2018). Dünya Sağlık Örgütü, 2021 yılında paydaş ülkeleri, ağız sağlığını temel sağlık hizmetlerine dahil ederek koruyucu stratejileri güçlendirmeye davet etmiştir. Buna rağmen günümüzde birçok ülkede hala koruyucu diş hekimliğine yeteri kadar önem verilmemektedir (Legett ve ark., 2025; WHO, 2021).

Almanya’da 12 yaş grubundaki çocukların DMFT skoru 0,50 olarak bildirilmiştir. Nüfusun %89’u sosyal sağlık sigortası kapsamındadır. Temel

tedaviler ve koruyucu uygulamalar ücretsiz bir şekilde sunulmaktadır (McAuliffe ve ark., 2025). Toplumda her diş hekimi başına yaklaşık 1160 hasta mevcuttur (Murariu ve ark. 2020). Çocukların temel dental tedavilerinin tamamı, ortodontik tedavilerinin ise belirli şartlarda bir bölümü sigorta tarafından karşılanmaktadır. (Sharif Zadeh Ardakani & Bayati, 2025). Ağız diş sağlığı hizmetlerinin büyük bölümü, anlaşmalı muayenelerinde sunulmaktadır (McAuliffe ve ark., 2025). Bir vatandaşın yıllık ağız diş sağlığı hizmetleri için kamu bütçesinden ayrılan pay yaklaşık 291 USD seviyesindedir ve Avrupa ortalamasından yüksektir (Winkelmann ve ark., 2022).

Danimarka’da 12 yaş grubu hastaların DMFT skoru 0,38 olarak rapor edilmiştir. Diş hekimi başına düşen hasta sayısı 1370’dir (Winkelmann ve ark., 2022). Ülkenin bazı bölgelerinde değişiklik gösterse bile, genel olarak 18 yaş altındaki tüm çocukların dental hizmetleri ücretsiz bir şekilde sunulmaktadır. Çocukların dental tedavileri belediyelerde istihdam edilen diş hekimleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Öte yandan yetişkinlerin dental tedaviler için özel muayenelere gitmesi gerekmektedir. Danimarka’da dental hijyenistler bağımsız olarak muayene ve dolgu yapabilmek gibi geniş yetkilere sahiptir. Özellikle çocuklara yönelik koruyucu diş hekimliğine öncelik verildiği görülmektedir (McAuliffe ve ark., 2025).

İspanya’da yaşayan 12 yaş grubu çocuklarda DMFT skoru 0,58 olarak bildirilmiştir. Her diş hekimi için toplumda yaklaşık 1219 hasta mevcuttur. Sağlık sigortası kapsamı, İspanya’da oldukça sınırlıdır. Ağız diş sağlığı harcamalarının %5’inden azını oluşturan acil durumlar, kamu bütçesinden karşılanabilmektedir. Toplum dental hizmetlerin ücretini yaklaşık %95 oranında cepten ödemektedir (Winkelmann ve ark., 2022). Kamu bütçesinden kişi başına ayrılan dental hizmet katkısı yıllık 117 USD’dir. Ağız diş sağlığı hizmetleri çoğunlukla özel klinikler tarafından sunulmaktadır (McAuliffe ve ark., 2025).

Hollanda’da diş hekimi başına yaklaşık 1800 hasta düşmektedir. Yetişkinler sigorta sisteminin dışında tutulduğu için yaygın olarak gönüllü özel sigortalar kullanılmaktadır (Henschke ve ark., 2023). Ağız diş sağlığı hizmetleri serbest çalışmakta olan muayeneler tarafından sunulmaktadır. Dental hijyenistler, koruyucu diş hekimliği uygulamalarının büyük bölümünün gerçekleştirilmesinden sorumludur (Winkelmann ve ark., 2022).

Romanya, Diş hekimi başına yaklaşık 1200 hasta düşen bir ülke olsa da hizmete erişim sınırlıdır. Kamu bütçesinden ağız diş sağlığı için ayrılan pay

%0,2 olarak bildirilmiştir (Winkelmann ve ark., 2022). Bu nedenle dental tedavilerin giderleri %90 oranında hastalar tarafından cepten ödenmektedir. Romanya’da gayri safi yıllık hasıladan %0,3 oranında bir pay ağız diş sağlığı hizmetleri için ayrılır (Murariu ve ark., 2020).

1989 yılında Japonya’da Sağlık Bakanlığı ve Japon Diş hekimleri Birliği tarafından organize edilen kapsamlı bir koruyucu sağlık programı olan ‘8020’ projesi, örnek bir uygulama niteliğindedir. 80 yaşındaki bireylerde en az 20 doğal diş ağızda tutmak projenin temel hedefi olarak belirlenmiştir. Bu hedefe ulaşılabilmesi için periodontal taramalar sisteme dahil edilmiş, ulusal ve yerel yönetimler tarafından proje çerçevesinde bütçe destek programları oluşturulmuştur. Ayrıca toplumun tüm kesimlerine ulaşılabilmesi amacıyla farklı yaş guruplarına yönelik özel koruyucu uygulamalar tasarlanmıştır. Hamileler ve küçük yaştaki çocuklar için diş gelişiminin erken döneminde kritik olan beslenme üzerine eğitimler verilmiştir. Okullardaki çocuklar için diş çürüklerini ve gingivitisi önlemek amacıyla oral hijyen ve diş hekimi ziyaretinin önemini vurgulayan eğitici uygulamalar ve taramalar yapılmıştır. Yetişkin bireylerde periodontal hastalıkların önlenmesi üzerine, yaşlı bireylerde ise diş kaybının ve oral fonksiyonların önlenmesi üzerine önlemler alınmıştır. Halk sağlığı merkezleri kurularak, sağlık fuarları, farkındalık kampanyaları gibi sosyal etkinlikler düzenlenerek ve yerel gönüllerden destek alınarak toplumun projeye en iyi şekilde dahil olması sağlanmıştır. Projenin uygulandığı 20 yıllık sürenin sonunda göz ardı edilemeyecek bir başarı elde edilmiştir. 1993 – 2019 yılları arasında 12 yaş grubunda daimi diş çürüğü prevelansı %75 azalmıştır. 1993 yılında ağızdaki diş sayısı 20’den fazla olan 80 yaşındaki bireylerin oranı %10,6 iken, 2016’ya gelindiğinde bu oran %51,2’ye çıkarak yaklaşık 5 kat artış göstermiştir (Tsuneishi ve Sato, 2021).

Türkiye’de Ağız Ve Diş Sağlığı

Hastalıklarla mücadelede koruyucu önlemlerin alınabilmesi için toplumda ne sıklıkta görüldüğü ve yıllara göre dağılımı hakkında bilgi sahibi olmak önem teşkil etmektedir. Yapılan bir araştırmada, örneklem büyük şehirlerde yaşayan bireylerle sınırlı olsa da, 1970-1982 yılları arasında Türkiye’de toplumun ortalama DMFT indeksinin 4,05-9,15 arasında olduğu bildirilmiştir (Yırcalı & Bayırlı, 1986). Farklı bir araştırmada 2004-2005 yılları arasında ortalama DMFT indeksi 5 yaşındaki çocuklarda 3,7 olarak, 65 yaş üstündeki bireylerde 25,8 olarak bildirilmiştir (Gökalp ve ark., 2010). Bir diğer çalışmada 2016-2018 yılları arasında 7-12 yaşındaki çocuklarda DMFT indeksi ortalama 2,63 olarak bildirilmiştir (Onur ve ark., 2020). Diş çürüğü

prevelansına yönelik yapılan araştırmalarda her dönem standart ölçüm yöntemleri kullanılmamış olması, geçmişe yönelik epidemiyolojik verilerin güvenilirliğini düşürmektedir. Buna rağmen Türkiye’de son 50 yıl içinde diş çürüğü prevelansında düşüş görülmektedir. FDI ve WHO tarafından 1981 yılında yapılmış olan küresel ağız sağlığı amaç ve hedeflerine yönelik bildiride geçen altı temel hedeften biri olan ‘12 yaş grubunda ortalama DMFT skorunun üçten fazla olmaması’ maddesine Türkiye’de ulaşılmıştır. Bunun yanında ağız ve diş sağlığıyla ilgili olan diğer global hedeflere henüz ulaşılammıştır (Petersen, 2003).

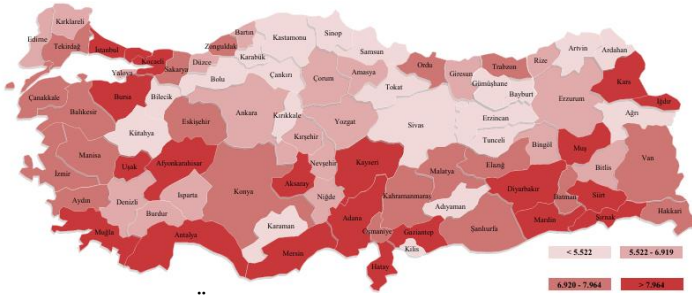
Türkiye’de ağız ve diş sağlığı hizmetleri, özel sektörde ve kamuda bulunan sağlık kuruluşları aracılığıyla sunulmaktadır. Bu hizmetler, 2003 yılına kadar çoğunlukla özel sektördeki sağlık kuruluşlarında cepten ödeme yoluyla sunulmuştur. 2003 yılında hayata geçirilen “Sağlıkta Dönüşüm Programı” doğrultusunda takip eden yıllarda sağlık sektörünü etkileyen stratejik değişiklikler hayata geçirilmiştir (Memişoğlu, 2018). 2007 yılında Sosyal Güvenlik Kurumu, Sağlık Uygulama Tebliği’ni (SUT) yayınlamıştır. Sağlık hizmetlerinin tutarlı, ulaşılabilir ve şeffaf şekilde sunulabilmesi amacıyla yayınlanan SUT, sağlık hizmetlerin standartlaştırılmasına yönelik işlem kodlarını, sağlık hizmetlerinin finansman kurallarını ve daha birçok konuyu ele alan bir resmi kararlar bütünüdür. 2008 yılında Genel Sağlık Sigortası (GSS) uygulamaya geçirilmiştir. GSS, Türkiye’de Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yürütülmekte olan, zorunlu sosyal sigorta sistemidir. GSS’nin temel amaçları arasında herkesin sağlık hizmetlerine erişebilmesini güvenceye almak, sürdürülebilirliği sağlamak ve sağlık hizmeti harcamalarını finanse etmek bulunmaktadır (Çilingir, 2025).

“Sağlıkta Dönüşüm Programı” sonrasında Sağlık Bakanlığının sunduğu ağız ve diş sağlığı hizmetlerinin kapasitesinde artış gözlenmiş, sektördeki yatırımlar hız kazanmıştır (Başol ve Işık, 2015). 2002 yılında Türkiye’de hizmet veren ağız ve diş sağlığı merkezlerinin sayısı 14 iken 2024 yılına gelindiğinde bu sayının 135’e çıktığı görülmektedir. Aynı zaman aralığında diş polikliniklerinin sayısı 477’den 5020’ye yükselmiştir. 2003-2026 yılları arasındaki veriler Tablo 2’de sunulmuştur. (Sağlık Hizmetleri Yıllığı 2025).

Tablo 2. Ağız diş sağlığı hizmeti veren kurum ve kuruluşların sayı ve kapasite bakımından yıllara göre dağılımı, (Sağlık Hizmetleri Yıllığı, 2024)

	Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi	Devlet Hastanesi Diş Tedavi ve Protez Merkezi	Diş Polikliniği	Toplam Diş Üniti
2003	14	101	477	1564
2005	35	107	581	2608
2010	121	96	661	5771
2015	132	824	1462	20181
2020	132	854	2479	27396
2024	135	874	5020	43499

2024 yılında Türkiye’de aktif olarak mesleğini icra eden 54062 diş hekimi olduğu bildirilmiştir. Bu kişiler arasında 22117 hekim kamuda görev yaparken, 31445 hekim mesleğini serbest olarak devam ettirmektedir (Türk Diş Hekimleri Birliği, 2024). Bununla beraber, 2024 yılı için yapılan değerlendirmede Türkiye’de 43499 adet dental ünit bulunduğu düşünülmektedir. Bu sayım referans alındığında 2024 yılında her bir dental ünit başına 7591 hasta düşmektedir. İllere göre, dental ünitlerin hasta yoğunluğu Şekil 1’de gösterilmiştir (Sağlık Hizmetleri Yıllığı, 2025).



Şekil 1. İllere Göre Dental Ünit Başına Düşen Nüfus 2024 (Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü)

SONUÇ

Dünya genelinde diş çürüklerinden etkilenen 3,5 milyardan fazla insan olduğu göz önünde bulundurulduğunda, diş hekimliği hizmetlerinin yüksek verimlilikte sürdürülmesini sağlayan koruyucu diş hekimliğinin önemi ortaya çıkmaktadır (WHO, 2022). Türkiye’de sağlık harcamaları için belirlenen payın, OECD ortalamasının yaklaşık yarısı seviyesinde olması, mevcut ağız diş sağlığı politikasının koruyucu hizmetlerden çok, tedavi edici hizmetlere ağırlık verdiğinin göstergesidir (Legett ve ark., 2025). Bu durumun

değiştirilmesi için diş hekimliğinde eğitim süreci, mezuniyet sonrasında da kapsayacak ve koruyucu hekimlik yaklaşımına öncelik verecek şekilde yapılandırılmalıdır (Özyavaş, 2018). Bilgi kirliliğine karşı mücadelede, diş hekimlerinin uzman görüşlerinin ulaşılabilir hale getirilmesi yoluyla toplum ağız diş sağlığı okuryazarlığı ve bilinç seviyesi artırılmalıdır (Tekinalp & Şahinöz, 2024). Erken çürük teşhisi ve minimal invaziv yaklaşımların öncelikli hale getirilmesiyle, hasta konforunda, toplumun yaşam kalitesinde ve kamu bütçesinin verimliliğinde artış sağlanacaktır (Bağ ve ark., 2024). Japonya’da hayata geçirilen ‘8020’ projesi, kapsamlı koruyucu diş hekimliği politikaları sayesinde halk sağlığında çok büyük iyileştirme sağlanabileceğini kanıtlar niteliktedir (Tsuneishi ve Sato, 2021). Sonuç olarak diş hekimliği hizmetleri, tedaviye öncelik veren yapıdan, hastalıkların oluşmasına engel olan proaktif bir sisteme dönüştürülmelidir. Koruyucu diş hekimliğinin öncelikli halk sağlığı politikası haline getirilmesi, toplum refahı ve halk sağlığı için atılması gereken önemli bir adımdır.

KAYNAKLAR

- Alp Ünlü, Ö., Sengun Berber, E., Keleş Gülbahçe, E., & Aykut Yetkiner, A. (2023). Minimal Invasive Treatment Approaches in Pediatric Dentistry. *Journal of Ege University School of Dentistry*, 44(50), 55-64.
- Ahovuo-Saloranta, A., Forss, H., Walsh, T., Nordblad, A., Mäkelä, M., Worthington, H. V. (2017). Pit and fissure sealants for preventing dental decay in permanent teeth. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2017(7).
- Akarslan, Z. Z., Sadık, B., Sadık, E., Erten, H. (2008). Dietary habits and oral health related behaviors in relation to DMFT indexes of a group of young adult patients attending a dental school. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*.
- Akyıldız, B.M., Sönmez, I., 2019, Diş çürüğünün erken teşhisinde transillüminasyon yöntemleri. (Ed. Akyüz, S.) Çürük Tespitinde Güncel Yaklaşımlar. (1. Baskı) Ankara: Türkiye Klinikleri; 2019. Ss.14-20.
- Bader, J. D., Shugars, D. A., Bonito, A. J. (2001). Systematic Reviews of Selected Dental Caries Diagnostic and Management Methods. *Journal of Dental Education*, 65(10), 960-968.
- Bağ, İ., Kandemir Ülker, E., Çalışkan, S. (2024). Aile Diş Hekimlerinin Ve Diş Hekimlerinin Koruyucu Diş Hekimliği Uygulamaları Ve Acil Tedavi Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi: Bir Anket Çalışması. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 13(3), 416-425.

- Belevcikli, M., Özdemir, D.S. (2022). Diş Hekimliğinde Kullanılan Remineralizasyon Ajanları R. Akkaya (Ed.), Sağlık bilimlerinde güncel tartışmalar içinde (ss. 33-49).
- Çağlayan, F., & Harorli, A. (2019). Diş hekimliğinde dijital görüntüleme sistemleri. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi.
- Durak, E.R., İnan Yalçiner, A., 2024, Koruyucu ve önleyici diş hekimliğinde güncel yaklaşımlar, (Ed. Dal Dönertaş), Sağlık & Bilim 2024 Odontoloji-III, (ss. 7-24)
- Ekici, O., Tengilimoglu, D., Isik, O. (2017). Evaluating the current situation of oral and dental healthcare services in turkey and recommending solutions. Health Policy and Technology, 6(3), 368-378.
- Everett, E. T. (2011). Fluoride's Effects on the Formation of Teeth and Bones, and the Influence of Genetics. Journal of Dental Research, 90(5), 552-560.
- Featherstone, J. D. B., Crystal, Y. O., Alston, P., Chaffee, B. W., Doméjean, S., Rechmann, P., Zhan, L., Ramos-Gomez, F. (2021). A Comparison of Four Caries Risk Assessment Methods. Frontiers in Oral Health, 2, 656558.
- Global oral health status report: towards universal health coverage for oral health by 2030. Geneva: World Health Organization; 2022
- Gokalp, S., Guciz Dogan, B., Tekcicek, M., Berberoğlu, A., Unlüer, S. (2010). National survey of oral health status of children and adults in Turkey. Community dental health, 27, 12-17.
- Gürses, M., Ünlü, N. (2017). Okluzal çürük teşhis yöntemlerine güncel bakış. Sencuk Dental Journal, 4(3), 153-161.
- Henschke, C., Winkelmann, J., Eriksen, A., Orejas Pérez, E., Klingenberg, D. (2023). Oral health status and coverage of oral health care: A five-country comparison. Health Policy, 137, 104913. shuwais
- Bala, O., & Kanlidere, S. (2023). Diş Çürüğünün Teşhisi ve Bu Amaçla Kullanılan Güncel Yöntemler. Türk Diş Hekimliği Araştırma Dergisi, 2(2), 219-231.
- Karabekiroğlu, S., Ünlü, N. (2017). Effectiveness of Different Preventive Programs in Cariogram Parameters of Young Adults at High Caries Risk. International Journal of Dentistry, 2017(1), 7189270.
- Kutzin, J. (2001). A descriptive framework for country-level analysis of health care financing arrangements. Health Policy, 56(3), 171-204.

- Kutzin, J. (2013). Health financing for universal coverage and health system performance: Concepts and implications for policy. *Bulletin of the World Health Organization*, 91(8), 602-611.
- Leggett, H., Mitchell, A., Csikar, J., Vinall-Collier, K., Douglas, G. V. A. (2025). A cross-country comparison of domains describing the general public's self-reported attitudes and experiences of prevention in oral healthcare. *BMC Oral Health*, 25(1), 1956.
- Malcangi, G., Patano, A., Morolla, R., De Santis, M., Piras, F., Settanni, V., Mancini, A., Di Venere, D., Inchingolo, F., Inchingolo, A. D., Dipalma, G., Inchingolo, A. M. (2023). Analysis of Dental Enamel Remineralization: A Systematic Review of Technique Comparisons. *Bioengineering*, 10(4), 472.
- Martignon, S., Cortes, A., Gamboa, L. F., Jácome-Liévano, S., Arango-De-la-Cruz, M. C., Cifuentes-Aguirre, O. L., Fortich-Mesa, N., Ramos-Martínez, K., Sanjuán-Acero, J., Alfaro, L., Mejía, L., Usuga-Vacca, M. (2022). Effectiveness of the ICCMS caries management system for children: A 3-year multicentre randomised controlled trial. *Acta Odontologica Scandinavica*, 80(7), 501-512.
- Martín-Peláez, S., Fito, M., Castaner, O. (2020). Mediterranean Diet Effects on Type 2 Diabetes Prevention, Disease Progression, and Related Mechanisms. A Review. *Nutrients*, 12(8), 2236.
- McAuliffe, Ú., Eaton, K., Harding, M., Whelton, H., Cronin, J., Burke, S. (2025). 'At a tipping point': A comparative analysis of oral health coverage for children across six European countries: Denmark, Germany, Hungary, Ireland, Scotland, and Spain. *BMC Oral Health*, 25(1), 492.
- McAuliffe, Ú., Woods, N., Barrett, S., Cronin, J., Whelton, H., Harding, M., Eaton, K., Burke, S. (2022). Comparing oral health systems for children in six European countries to identify lessons learned for universal oral health coverage: A study protocol. *HRB Open Research*, 5, 5.
- Memişoğlu, D. (2016). Bir Kamu Politikası Analizi Örneği: Sağlıkta Dönüşüm Programı. *Yasama Dergisi*, (34), 62-93.
- Moraes, V. M., Cruz, A. C. de B., Bavaresco, T., Lucena, A. de F., Wagner, C. M., Almeida, M. de A. (t.y.). Content validation of the new nursing intervention "0565 – ultrasonography: Bladder". *International Journal of Nursing Knowledge*.
- Orhan, A. I., Alkan, A., Orhan, K., Tezel, A., Karaoglanoglu, S., Oztas, D. (2024). Dental caries and associated factors among Turkish children and adults: Findings from the 3rd National Oral Health Survey. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 52(4), 499-508.

- Özyavaş, S., 2018, Türkiye’de ağız diş sağlığı politikası: mevcut durum analizi. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 2018; 21(4): 789-805
- Petersen, P. E. (2003). The World Oral Health Report 2003: Continuous improvement of oral health in the 21st century – the approach of the WHO Global Oral Health Programme. Community Dentistry and Oral Epidemiology, 31(s1), 3-24.
- Pitts, N. B., Banerjee, A., Mazevet, M. E., Goffin, G., Martignon, S. (2021). From “ICDAS” to “CariesCare International”: The 20-year journey building international consensus to take caries evidence into clinical practice. British Dental Journal, 231(12), 769-774.
- Righolt, A. J., Jevdjevic, M., Marcenés, W., Listl, S. (2018). Global-, Regional-, and Country-Level Economic Impacts of Dental Diseases in 2015. Journal of Dental Research, 97(5), 501-507.
- Roberts, N. P., Lotzin, A., Schäfer, I. (2022). A systematic review and meta-analysis of psychological interventions for comorbid post-traumatic stress disorder and substance use disorder. European Journal of Psychotraumatology, 13(1), 2041831.
- Saad, S., Chen, H. (2024). Diet and Disease Development: Mechanisms, Prevention, and Treatment. Nutrients, 16(21), 3676.
- Semenderoğlu, A., Kanık, Ö. (2025). Çürük Teşhis Yöntemleri ve Yapay Zeka ile Çürük Teşhisi. F. Hatipoğlu (Ed.), Sağlık bilimlerinde çağdaş araştırmalar içinde (ss.599-618). All Science Academy.
- Şişko, E., Dağhan, Ş. (2022). Ülkemizde Okul Çağı Çocuklarla Yürütülmüş Ağız ve Diş Sağlığı Araştırmalarının Sonuçları Halk Sağlığı ile İlişkili Olarak Ne Söylüyor? STED / Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi.
- T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık İstatistikleri Yıllığı, 2024, Ankara, 2025, (ss. 155)
- Tekinalp, M., Şahinöz, T. (2024). Türkiye’deki Ağız Diş Sağlığı Hizmetlerinin Son 50 Yılıının Sağlık Yönetimi Bakış Açısıyla Analizi. Güncel Sağlık Yönetimi, 2(1), 8-22.
- The World Health Report: Health Systems Financing ; the Path to Universal Coverage. (2010). World Health Organization.
- Tinanoff, N., Banerjee, A., Buzalaf, M. A. R., Chen, J., Dhar, V., Ekstrand, K. R., Fontana, M., Innes, N., Koo, H., Listl, S., Lo, E. C. M., Potgieter, N., Schwendicke, F., Sharkov, N., Twetman, S., Vargas, K. (2024). Principles and care pathways for caries management in children: IAPD Rome forum. International Journal of Paediatric Dentistry, 34(5), 692-699.

- Tsuneishi, M., Yamamoto, T., Yamaguchi, T., Kodama, T., Sato, T. (2021). Association between number of teeth and Alzheimer's disease using the National Database of Health Insurance Claims and Specific Health Checkups of Japan. *PLOS ONE*, 16(4), e0251056.
- Winkelman, T. N. A., Dasrath, K. C., Young, J. T., Kinner, S. A. (2022). Universal health coverage and incarceration. *The Lancet. Public Health*, 7(6), e569-e572.
- Winkelmann, J., Gómez Rossi, J., Schwendicke, F., Dimova, A., Atanasova, E., Habicht, T., Kasekamp, K., Gandré, C., Or, Z., McAuliffe, Ú., Murauskiene, L., Kroneman, M., De Jong, J., Kowalska-Bobko, I., Badora-Musiał, K., Motyl, S., Figueiredo Augusto, G., Pažitný, P., Kandilaki, D., ... Panteli, D. (2022). Exploring variation of coverage and access to dental care for adults in 11 European countries: A vignette approach. *BMC Oral Health*, 22(1), 65.
- Wright J.T., Crall J.J., Fontana M., Evidence-based clinical practice guideline for the use of pit-and fissure sealants: A report of the American Dental Association and the American Academy of Pediatric Dentistry. *J Am Dent Assoc*. 2016;147(8):672 682.e12.
- Yıldırım, Işıl., Dülgergil, T., Serdaroğlu, İ. Aile hekimliği uygulamalarında erken dönem koruyucu diş hekimliği uygulamalarının önemi. *Sağlıkta performans ve kalite dergisi*, 2024; 2(1), 8-22.
- Yırcalı, A., Bayırlı, G. (2013). Türkiye’de diş çürüklerini istatistik olarak inceleyen araştırmalara genel bakış. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 20(1234), 167-183.
- Zandoná, A. F., Zero, D. T. (2006). Diagnostic tools for early caries detection. *Journal of the American Dental Association*, 137(12),1675-1684; 1730.

GÖMÜLÜ ÜÇÜNCÜ MOLAR CERRAHİSİ SONRASI KOMPLİKASYONLAR VE YÖNETİMİ

Zerrin KOSKOS

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi ABD, Ahmet Keleşoğlu Diş Hekimliği Fakültesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0009-0006-5513-9108
- ❖ Mail: zerrinkoskos@kmu.edu.tr

Doğan Ilgaz KAYA

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi ABD, Ahmet Keleşoğlu Diş Hekimliği Fakültesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0002-5196-8105
- ❖ Mail: doganilgaz@kmu.edu.tr

Elif Esra ÖZMEN ÜNÜVAR

- ❖ Kurum Bilgisi: Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi ABD, Ahmet Keleşoğlu Diş Hekimliği Fakültesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman/TÜRKİYE
- ❖ ORCID: 0000-0003-1920-4655
- ❖ Mail: elifesraozmen@kmu.edu.tr

GİRİŞ

Gömülü üçüncü molar dişlerin cerrahi çekimi, dentoalveolar cerrahi pratiğinde en sık uygulanan işlemlerden birisidir. Dünya genelinde yıllık 10 milyondan fazla üçüncü molar dişin cerrahi olarak çekildiği tahmin edilmektedir (Coulthard ve ark., 2014). Bu dişlerin çekim endikasyonları arasında rekürren perikoronitis, derin periodontal defektler, komşu dişte rezorpsiyon, odontojenik kist veya tümör oluşumu ve ortodontik nedenler yer almaktadır (Ghaeminia ve ark., 2020). Ancak asemptomatik gömülü üçüncü molarların profilaktik çekimi konusu halen tartışmalıdır ve kanıta dayalı yaklaşımlar önerilmektedir (Ghaeminia ve ark., 2020).

Gömülü üçüncü molar cerrahisi, relatif olarak güvenli bir prosedür olmakla birlikte, çeşitli komplikasyonlar gelişebilmektedir. Bu komplikasyonlar, intraoperatif ve postoperatif olmak üzere iki kategoride sınıflandırılabilir (Bailey ve ark., 2020; Bouloux ve ark., 2017). Postoperatif komplikasyonlar arasında ağrı, ödem, trismus, kanama, enfeksiyon, alveolar osteitis ve nörosensoriyel bozukluklar yer almaktadır (Lim & Zhang, 2017; Renton & Yılmaz, 2021). İntraoperatif komplikasyonlar ise komşu diş hasarı, kök kırığı, mandibula kırığı, maksiller sinüs komplikasyonları ve yumuşak doku yaralanmalarını içermektedir (Korkmaz ve ark., 2015).

Son yıllarda, minimal invaziv cerrahi tekniklerinin ilerlemesi, piezocerrahi kullanımının yaygınlaşması ve farmakolojik yönetim protokollerindeki gelişmeler, komplikasyon oranlarını azaltmada önemli katkılar sağlamıştır (Al-Moraissi ve ark., 2016; Pitak-Arnnop ve ark., 2019).

Postoperatif Ağrı ve Yönetimi

Postoperatif ağrı, gömülü üçüncü molar dişlerin cerrahisi sonrası en yaygın şikayettir ve hastaların yaşam kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir (Brimah ve ark., 2020; Coulthard ve ark., 2014). Ağrının patofizyolojisi, cerrahi travmaya yanıt olarak gelişen inflamatuvar kaskad ve nöral sensitizasyonu içerir (Baliga ve ark., 2017). Çalışmalarda, postoperatif ağrının Visual Analog Scale (VAS) skorlarının ilk 24 saat içinde 6-8/10 seviyelerine ulaşabildiği ve 5-7 gün içinde giderek azaldığı bildirilmektedir (Al-Khateeb & Nusair, 2018; Menziletoglu ve ark., 2021).

Güncel ağrı yönetimi protokollerinde multimodal analjezi yaklaşımı öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım, farklı mekanizmalarla etki gösteren analjeziklerin kombinasyonunu içerir ve opioid kullanımını azaltarak daha etkili ağrı kontrolü sağlar (Aminoshariae & Khan, 2015; Menziletoglu ve ark.,

2021). Nonsteroidal antiinflamatuvar ilaçlar (NSAİİ), özellikle ibuprofen (400-600 mg), deksketoprofen (25 mg) ve naproksen sodyum (550 mg), postoperatif ağrı kontrolünün ana unsurlarından birini oluşturmaktadır (Moore ve ark., 2015).

Preoperatif analjezi stratejisi, cerrahi insizyondan önce analjezik ajanların uygulanmasını içerir ve postoperatif ağrıyı anlamlı derecede azaltmaktadır (Zandi ve ark., 2016). Bir meta-analizde, preoperatif ibuprofen uygulamasının postoperatif analjezik tüketimini %35 oranında azalttığı rapor edilmiştir (Moore ve ark., 2015). Ayrıca, selektif COX-2 inhibitörleri (celecoxib, etoricoxib) ve tramadol kombinasyonlarının da etkili olduğu gösterilmiştir (Al-Khateeb & Nusair, 2018).

Kortikosteroidlerin Ağrı Kontrolündeki Rolü

Kortikosteroidler, güçlü antiinflamatuvar ve ödem azaltmaya yönelik etkileri nedeniyle postoperatif ağrı yönetiminde önemli bir yer tutmaktadır. Deksa metazon, en sık tercih edilen kortikosteroid olup, 4-8 mg dozlarda submuköz, intramusküler veya intravenöz yollarla uygulanabilmektedir (Peng ve ark., 2021; Prabhu ve ark., 2021). Bir Cochrane sistematik derlemesinde, deksametazon uygulamasının postoperatif ağrıyı ortalama 1,5-2 puan (VAS) azalttığı gösterilmiştir (Lim & Zhang, 2017). Metilprednizolon ve betametazon da benzer etkinlik göstermekle birlikte, deksametazon daha uzun etki süresi ve daha az mineralokortikoid aktivite nedeniyle tercih edilmektedir (Korkmaz ve ark., 2015; Prabhu ve ark., 2021).

Tablo 1. Postoperatif ağrı yönetiminde kullanılan güncel farmakolojik protokoller

İlaç Grubu	Örnek İlaçlar	Dozaj/Uygulama	Kanıt Düzeyi
NSAİİ	İbuprofen	400-600 mg/6-8 saat	Yüksek
NSAİİ	Deksketoprofen	25 mg/8 saat	Orta
COX-2 İnhibitörü	Etoricoxib	120 mg (tek doz)	Orta
Kortikosteroid	Deksametazon	4-8 mg (preop/intraop)	Yüksek
Opioid	Tramadol	50-100 mg/6-8 saat	Orta
Kombine	İbuprofen+ Parasetamol	400 mg + 500 mg	Yüksek

Tablo 1'de özetlendiği üzere, farklı farmakolojik ajanlar ve kombinasyonları postoperatif ağrı kontrolünde kullanılabilir.

Günümüzde analjezi uygulamalarında, hastaya özgü faktörlere göre bireysel tedavi protokollerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir (Menziletoglu ve ark., 2021).

Postoperatif Ödem ve Trismus Yönetimi

Postoperatif ödem ve trismus, gömülü üçüncü molar cerrahisi sonrası sık görülen komplikasyonlardır ve hastaların günlük yaşam aktivitelerini olumsuz etkilemektedir (Brimah ve ark., 2020; Sortino ve ark., 2017). Ödem genellikle postoperatif 24-48 saat içinde maksimuma ulaşır ve 5-7 günde gerilerken, trismus 48-72 saat içinde pik yapar ve 7-10 günde normale döner (Araçji ve ark., 2016; Menziletoglu ve ark., 2021). Bu komplikasyonların patogenezi, cerrahi travmanın indüklediği inflamatuvar reaksiyon, vasküler permeabilite artışı ve kas spazmı ile açıklanmaktadır (Baliga ve ark., 2017).

Deksametazon, postoperatif ödem ve trismus kontrolünde en etkili farmakolojik ajandır. Çok sayıda randomize kontrollü çalışma ve meta-analizde, preoperatif veya intraoperatif deksametazon uygulamasının (4-8 mg) ödemi %30-50 oranında, trismusunu %25-40 oranında azalttığı gösterilmiştir (Lim & Zhang, 2017; Peng ve ark., 2021). Uygulama yöntemleri karşılaştırıldığında, submuköz enjeksiyonun sistemik uygulamalara oranla daha bölgesel ve hızlı etki sağladığı ifade edilmektedir (Prabhu ve ark., 2021).

Non-Farmakolojik Yöntemler ve Yeni Yaklaşımlar

Kriyoterapi, cerrahi sonrası inflamasyona bağlı ödemin sınırlandırılmasında kullanılan etkili ve yaygın bir non-farmakolojik uygulamadır. İlk 24-48 saat boyunca 20 dakika uygulama-10 dakika ara şeklinde soğuk kompres uygulanması önerilmektedir (Sortino ve ark., 2017). Güncel sistematik incelemeler, kriyoterapinin tek başına kullanımının sınırlı etki gösterdiğini, ancak farmakolojik ajanlarla kombine edildiğinde etkinliğinin arttığını ortaya koymuştur (Araçji ve ark., 2016; Roozeboom ve ark., 2017).

Güncel çalışmalar, düşük seviye lazer tedavisi (Low-Level Laser Therapy - LLLT) yönteminin ödem ve trismus yönetiminde olumlu ve umut verici sonuçlar sağladığını göstermektedir. LLLT, fotobiyomodülasyon etkisi, hücrel metabolik süreçleri aktive ederek inflamasyonun baskılanmasına yardımcı olmaktadır (Ferrillo ve ark., 2021; Kahraman ve ark., 2017). Bir meta-analizde, LLLT uygulamasının postoperatif ödemi %25-35 oranında azalttığı rapor edilmiştir (Ferrillo ve ark., 2021). Ancak optimal dalga boyu (660-810 nm) ve enerji dozajı (4-6 J/cm²) konusunda bu alanda mevcut

kanıtların artırılması amacıyla ek çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır (Kahraman ve ark., 2017).

Alveolar Osteitis ve Enfeksiyöz Komplikasyonlar

Alveolar osteitis (AO), gömülü üçüncü molar cerrahisi sonrası %1-5 oranında görülen, ancak sigara kullanan hastalarda bu oranın %10-30'lara kadar çıkabildiği ağrılı bir komplikasyondur (Eshghpour ve ark., 2018; Taberner-Vallverdú ve ark., 2015). AO'nun patofizyolojisinde, çekim soketindeki kan pıhtısının prematür lizisi ve alveol kemiğinin açığa çıkması yer alır (Kolokythas ve ark., 2010; Taberner-Vallverdú ve ark., 2015). Tipik olarak postoperatif 2-4. günde başlayan şiddetli, yayılan ağrı ile karakterizedir (Eshghpour ve ark., 2018).

Sigara kullanımı, risk faktörleri içinde en önemli etkenlerden biri olup, komplikasyon gelişme riskini 3-4 kat artırmaktadır. (Al-Samhan ve ark., 2020; Taberner-Vallverdú ve ark., 2015). Oral kontraseptif kullanımı ve menstrüel siklusun 1-22. günleri arasında cerrahi yapılması durumunda riski artırmaktadır (Eshghpour ve ark., 2018). Diğer önemli risk faktörleri arasında travmatik ekstraksiyon, yetersiz postoperatif irrigasyon, ileri yaş (>30 yaş) ve perikoronitis öyküsü bulunmaktadır (Al-Samhan ve ark., 2020; Kolokythas ve ark., 2010).

Tablo 2. Alveolar osteitis önleme stratejileri ve etkinlik oranları

Önleme Stratejisi	Etkinlik (AO Riski Azalması)	Referans
Klorheksidin glukonat (%0,12-0,2) irrigasyon	%40-55	Daly ve ark., 2016
İntra-alveolar klorheksidin jel	%50-60	Haraji ve ark., 2019
Preoperatif antibiyotik profilaksisi	%30-35	Lodi ve ark., 2021
Plazma zengin fibrin (PRF) yerleştirme	%60-70	Al-Hamed ve ark., 2017
Traneksamik asit (lokal)	%55-65	Soylu ve ark., 2018
Düşük seviye lazer tedavisi	%35-45	Kahraman ve ark., 2017

Tablo 2’de yer alan bilgiler, alveolit profilaksisinde çeşitli stratejilerin kullanıldığını göstermektedir. Kanıta dayalı veriler, klorheksidin uygulaması ve PRF yerleştirilmesinin en etkili yaklaşımlar arasında olduğunu desteklemektedir (Al-Hamed ve ark., 2017; Haraji ve ark., 2019). Mevcut

klinik yaklaşımlara göre, alveolit tedavisinde soketin irrigasyon ve debridmanı sonrası medikasyonlu pansuman uygulanması, standart tedavi protokolü olarak önerilmektedir (Daly ve ark., 2016; Eshghpour ve ark., 2018).

Postoperatif Enfeksiyon ve Antibiyotik Profilaksisi

Gömülü üçüncü molar çekimini takiben postoperatif enfeksiyon insidansı %1–6 arasında bildirilirken, immün sistemi baskılanmış bireylerde bu oran yaklaşık %10'a ulaşabilmektedir (Lodi ve ark., 2021; Marcenes ve ark., 2019). Enfeksiyon bulguları arasında ağrı, ödem, pürülan akıntı, ateş ve lenfadenopati yer alır (Marcenes ve ark., 2019). Yetersiz veya gecikmiş tedavi durumunda, derin fasiyal boşluk enfeksiyonlarının sepsise kadar ilerleyebileceği bildirilmektedir (Bouloux ve ark., 2017).

Profilaktik antibiyotik kullanımı konusu tartışmalıdır. Cochrane 2021 güncellemesinde, profilaktik antibiyotik uygulamasının enfeksiyon riskini %66 oranında azalttığı, ancak yan etki risklerinin de göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır (Lodi ve ark., 2021). Güncel görüş birliğine göre, antibiyotik profilaksisi tüm hastalara rutin olarak uygulanmamalı; immünsupresyon, sistemik hastalıklar veya uzun süren cerrahi gibi risk durumlarında seçici olarak tercih edilmelidir (Bailey ve ark., 2020; Marcenes ve ark., 2019).

Profilaksi tercih edildiğinde, amoksisilin (2 g preoperatif tek doz) veya amoksisilin-klavulanat (875/125 mg) ilk tercihtir (Lodi ve ark., 2021). Penisilin alerjisi durumunda, klindamisin (600 mg) veya azitromisin (500 mg) seçenek olarak kullanılabilir (Bailey ve ark., 2020). Postoperatif antibiyotik profilaksisinin rutin uygulanması önerilmemekte; antibiyotik tedavisinin enfeksiyon bulguları ortaya çıktığında başlanması gerektiği belirtilmektedir (Marcenes ve ark., 2019).

Nörosensoriyel Komplikasyonlar

Inferior alveolar sinir ve lingual sinir hasarı, gömülü mandibular üçüncü molar cerrahisinin en ciddi komplikasyonları arasındadır. Inferior alveolar sinir hasarı insidansı %0,35-8,1, lingual sinir hasarı insidansı ise %0,1-2,6 arasında değişmektedir (Korkmaz ve ark., 2015; Renton & Yılmaz, 2021). Bu hasarlar geçici veya kalıcı olabilir ve kalıcı his kaybı oranı inferior alveolar sinir için %0,5-2, lingual sinir için %0,2-0,5 civarındadır (Renton & Yılmaz, 2021; Vranckx ve ark., 2020).

Inferior alveolar sinir yaralanma riskinin değerlendirilmesinde preoperatif radyolojik inceleme kritik bir rol oynamaktadır. Panoramik radyografilerde sinir hasarı açısından riskli kabul edilen yedi klasik bulgu tanımlanmıştır: bifid kök apeksi, kök apeksinde radyografik kararırma, mandibular kanal korteksinin sürekliliğinde kayıp, kök–kanal süperpozisyonu, kanalın deviasyonu, kök apeksinde daralma ve juxta-apikal radyolusensi (Renton & Yılmaz, 2021; Vranckx ve ark., 2020). Bu risk bulgularından birinin tespit edilmesi durumunda, detaylı anatomik değerlendirme için konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) görüntüleme endikasyonu doğmaktadır (Guerrero ve ark., 2015; Korkmaz ve ark., 2015).

Konik ışınli bilgisayarlı tomografi, diş kökleri ile mandibular kanal arasındaki uzaysal ilişkinin ayrıntılı olarak analiz edilmesini sağlayarak cerrahi riskin öngörülmesinde kritik bir araçtır (Guerrero ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2020). Nörovasküler hasar riski yüksek olan olgularda, tam diş çekimi yerine koronektomi gibi daha konservatif cerrahi seçeneklerin değerlendirilmesi gerekmektedir (Cervera-Espert ve ark., 2016; Long ve ark., 2020). Koronektomi, dişin kron kısmının çıkarılıp köklerin yerinde bırakılması işlemidir ve inferior alveolar sinir yaralanma riskini %0,5'in altına düşürmektedir (Long ve ark., 2020).

Lingual sinir yaralanması genellikle iatrojenikdir ve lingual periost elevasyonu, lingual retraksiyon ve lingual kortikal osteotomi sırasında oluşur (Renton & Yılmaz, 2021). Lingual sinir korunmasında, lingual flep elevasyonundan kaçınılması ve lingual kortikal plağın korunması önerilmektedir (Vranckx ve ark., 2020). Nörosensoriyel disfonksiyon gelişmesi halinde, erken dönemde tanı konulması ve tedaviye başlanması önemlidir. Bu süreçte B grubu vitamin desteği, sistemik kortikosteroid tedavisi ve rehabilitatif fizik tedavi yaklaşımları uygulanabilmektedir (Renton & Yılmaz, 2021). Kalıcı nörolojik disfonksiyon gelişen hastalarda mikrocerrahi sinir tamiri bir seçenek olarak değerlendirilebilse de, bu yöntemin etkinliğinin sınırlı olduğu literatürde vurgulanmaktadır (Vranckx ve ark., 2020).

Minimal İnvaziv Cerrahi Teknikler ve Yenilikçi Yaklaşımlar

Cerrahi işlemlerde minimal invaziv tekniklerin tercih edilmesi, son yıllarda postoperatif morbiditenin azaltılmasına yönelik önemli kazanımlar sağlamaktadır (Pitak-Arnnp ve ark., 2019). Geleneksel zarf insizyonuna alternatif olarak minimal flep ya da flepsiz cerrahi yöntemlerin kullanılması,

doku travmasını sınırlayarak postoperatif ağrı ve ödemin azaltılmasında etkili olmaktadır (Al-Moraissi ve ark., 2016; Kumar ve ark., 2015).

Piezoelektrik cerrahi sistemi, ultrasonik enerji yardımıyla kemik dokusunda kontrollü kesim sağlamak ve komşu yumuşak dokular üzerinde travmayı en aza indirmektedir (Barone ve ark., 2017; Pitak-Arnnop ve ark., 2019). Bir meta-analizde, piezocerrahi kullanımının geleneksel rotary aletlere göre postoperatif ağrıyı %20-30, ödemi %25-35 ve trismusunu %30-40 oranında azalttığı gösterilmiştir (Barone ve ark., 2017). Ancak operasyon süresinin 8-12 dakika daha uzun olduğu bildirilmektedir (Pitak-Arnnop ve ark., 2019).

Plazma zengin fibrin (Platelet Rich Fibrin-PRF) ve plazma zengin trombosit (Platelet Rich Platelet-PRP) gibi otolog biyoaktif ürünler, doku yenilenmesini destekleyici etkileri nedeniyle son yıllarda giderek daha fazla tercih edilmektedir (Al-Hamed ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2021). PRF, çekim soketine yerleştirildiğinde, içerdikleri büyüme faktörlerinin etkisiyle doku rejenerasyonunu destekleyerek iyileşmeyi hızlandırmakta, postoperatif ağrı ve ödemi azaltmakta ve alveolit insidansının düşmesine katkıda bulunmaktadır (Al-Hamed ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2021). Bir sistematik derlemede, PRF uygulamasının postoperatif ağrıyı 1-1,5 puan (VAS), ödemi %30-40 oranında azalttığı ve AO insidansını %60-70 oranında düşürdüğü rapor edilmiştir (Zhang ve ark., 2021).

SONUÇ

Gömülü üçüncü molar dişlerin cerrahi ekstraksiyonu, günlük klinik pratikte sıklıkla uygulanan bir işlem olmakla birlikte, çeşitli komplikasyon riskleri taşımaktadır. Kanıta dayalı tıp prensipleri çerçevesinde, multimodal analjezi, preemptif farmakolojik yaklaşımlar, minimal invaziv cerrahi teknikler ve rejeneratif tedavi modalitelerinin komplikasyon oranlarını önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir.

Postoperatif ağrı, ödem ve trismus yönetiminde, NSAİİ ve kortikosteroidlerin kombinasyonu, kriyoterapi ve LLLT ile desteklendiğinde en etkili sonuçları vermektedir. Alveolar osteitis önlenmesinde, klorheksidin uygulaması ve PRF yerleştirmesi kanıt düzeyi yüksek yöntemlerdir. Profilaktik antibiyotik kullanımı, yüksek riskli hastalarda selektif olarak tercih edilmelidir. Nörosensoriyel komplikasyonların önlenmesinde, preoperatif radyografik risk değerlendirmesi ve yüksek riskli vakalarda koronektomi gibi alternatif tekniklerin düşünülmesi kritik öneme sahiptir.

Gelecekte, yapay zeka destekli risk değerlendirme sistemleri, robotik cerrahi uygulamaları ve gen tedavileri gibi ileri teknolojilerin, gömülü üçüncü molar cerrahisinde komplikasyon oranlarını daha da azaltma potansiyeli bulunmaktadır. Klinisyenlerin güncel literatürü takip etmesi, kanıta dayalı protokolleri uygulaması ve hasta merkezli yaklaşımları benimsemesi, hasta bakım kalitesinin sürekli iyileştirilmesinin temel unsurlarıdır.

KAYNAKLAR

- Al-Hamed, F. S., Tawfik, M. A., Abdelfadil, E., & Al-Saleh, M. A. (2017). Efficacy of platelet-rich fibrin after mandibular third molar extraction: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 75(6), 1124-1135.
- Al-Khateeb, T. H., & Nusair, Y. (2018). Effect of the proteolytic enzyme serrapeptase on swelling, pain and trismus after surgical extraction of mandibular third molars. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 37(3), 264-268.
- Al-Moraissi, E. A., Elmansi, Y. A., Al-Sharaee, Y. A., Alrmali, A. E., & Alkhutari, A. S. (2016). Does the piezoelectric surgical technique produce fewer postoperative sequelae after lower third molar surgery than conventional rotary instruments? A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 45(3), 383-391.
- Al-Samhan, A. M., Al-Waeli, H., & Kang, N. (2020). Specialized pro-resolving mediators: emerging therapeutic candidates for infectious and inflammatory oral diseases. *Oral Diseases*, 26(3), 505-517.
- Aminoshariae, A., & Khan, A. (2015). Acetaminophen: old drug, new issues. *Journal of Endodontics*, 41(5), 588-593.
- Arakji, H., Shokry, M., & Aboelsaad, N. (2016). Comparison of the effect of differentially centrifuged platelet rich plasma on pain after impacted mandibular third molars surgery: a proof of concept study. *Journal of Craniofacial Surgery*, 27(4), e354-e358.
- Bailey, E., Kashbour, W., Shah, N., Worthington, H. V., Renton, T. F., & Coulthard, P. (2020). Surgical techniques for the removal of mandibular wisdom teeth. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (7), CD004345.
- Baliga, S., Muglikar, S., & Kale, R. (2017). Salivary pH: a diagnostic biomarker. *Journal of Indian Society of Periodontology*, 21(6), 461-465.
- Barone, A., Marconcini, S., Giacomelli, L., Rispoli, L., Calvo, J. L., & Covani, U. (2017). A randomized clinical evaluation of ultrasound bone surgery

- versus traditional rotary instruments in lower third molar extraction. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 68(2), 330-336.
- Bouloux, G. F., Steed, M. B., & Perciaccante, V. J. (2017). Complications of third molar surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*, 19(1), 117-128.
- Braimah, R. O., Ukpong, D. I., & Olusegun, S. B. (2020). Dental anxiety and its related factors among patients undergoing third molar surgery. *African Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 7(2), 1-8.
- Cervera-Espert, J., Pérez-Martínez, S., Cervera-Ballester, J., & Peñarrocha-Oltra, D. (2016). Coronectomy of impacted mandibular third molars: a meta-analysis and systematic review of the literature. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 21(4), e505-e513.
- Coulthard, P., Bailey, E., Esposito, M., Furness, S., Renton, T. F., & Worthington, H. V. (2014). Surgical techniques for the removal of mandibular wisdom teeth. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (7), CD004345.
- Daly, B., Sharif, M. O., Newton, T., Jones, K., & Worthington, H. V. (2016). Local interventions for the management of alveolar osteitis (dry socket). *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (12), CD006968.
- Eshghpour, M., Rezaei, N. M., & Nejat, A. (2018). Effect of menstrual cycle on frequency of alveolar osteitis in women undergoing surgical removal of mandibular third molar: a single-blind randomized clinical trial. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 71(9), 1484-1489.
- Ferrillo, M., Nucci, L., Giudice, A., Calafiore, D., Marotta, N., Minervini, G., ... & de Sire, A. (2021). Efficacy of low-level laser therapy after extraction of impacted lower third molars: a systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, 10(23), 5654.
- Ghaemina, H., Perry, J., Nienhuijs, M. E., Toedtling, V., Tummers, M., Hoppenreijds, T. J., ... & Mettes, T. G. (2020). Surgical removal versus retention for the management of asymptomatic disease-free impacted wisdom teeth. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (5), CD003879.
- Guerrero, M. E., Nackaerts, O., Beinsberger, J., Horner, K., Schoenaers, J., Jacobs, R., & SEDENTEXCT Project Consortium. (2015). Inferior alveolar nerve sensory disturbance after impacted mandibular third molar evaluation using cone beam computed tomography and panoramic radiography: a pilot study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 73(2), 206-213.
- Haraji, A., Rakhshan, V., & Khamverdi, N. (2019). Effects of intra-alveolar placement of 0.2% chlorhexidine bioadhesive gel on dry socket

- incidence and postsurgical pain: a double-blind split-mouth randomized controlled clinical trial. *Journal of Orofacial Pain*, 27(3), 256-262.
- Kahraman, S. A., Cetiner, S., Strauss, R. A., & Kahraman, H. (2017). Efficacy of low level laser therapy on wound healing and postoperative pain in third molar surgery: a double-blind, randomized, placebo-controlled study. *Photomedicine and Laser Surgery*, 35(5), 258-264.
- Kolokythas, A., Olech, E., & Miloro, M. (2010). Alveolar osteitis: a comprehensive review of concepts and controversies. *International Journal of Dentistry*, 2010, 249073.
- Korkmaz, Y. T., Mollaoglu, N., & Ozmeric, N. (2015). Does additional submucosal injection of dexamethasone reduce postoperative discomfort after third molar surgery? A pilot study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 120(3), 319-325.
- Kumar, N., Prasad, K., Ramanujam, L., Dexith, J., Chauhan, A., & Gupta, K. (2015). Evaluation of treatment outcome after impacted mandibular third molar surgery with the use of autologous platelet-rich fibrin: a randomized controlled clinical study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 73(6), 1042-1049.
- Lim, D., & Zhang, Y. (2017). Dexamethasone's impact on postoperative complications after removal of impacted mandibular third molars: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 75(1), 15.e1-15.e16.
- Lodi, G., Azzi, L., Varoni, E. M., Pentenero, M., Del Fabbro, M., Carrassi, A., ... & Sardella, A. (2021). Antibiotics to prevent complications following tooth extractions. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2), CD003811.
- Long, H., Zhou, Y., Liao, L., Pyakurel, U., Wang, Y., & Lai, W. (2020). Coronectomy vs. total removal for third molar extraction: a systematic review. *Journal of Dental Research*, 91(7), 659-665.
- Marcenes, W., Muirhead, V. E., Murray, S., Redshaw, P., Bennett, U., & Wright, D. (2019). Ethnic disparities in the oral health of three to four-year-old children in East London. *British Dental Journal*, 215(2), E4.
- Menziletoglu, D., Taskesen, F., Isik, B. K., & Guler, N. (2021). The effect of platelet-rich fibrin on post-extraction socket healing: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 50(7), 926-936.
- Moore, P. A., Hersh, E. V., Becker, D. E., Fleisher, D., Giovannitti, J. A., Gunter, J., ... & Yagiela, J. A. (2015). Pharmacology of dental anesthesia. *Anesthesia Progress*, 62(1), 18-31.
- Peng, X., Wang, G., & Liu, C. (2021). The effect of dexamethasone on postoperative discomfort after third molar surgery: a systematic review

- and network meta-analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 79(11), 2287-2302.
- Pitak-Arnnop, P., Subbalekha, K., Dhanuthai, K., & Hemprich, A. (2019). Piezoelectric surgery vs. conventional rotary instruments in third molar surgery: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 77(9), 1864-1886.
- Prabhu, N. T., John, J., Chandra, M., & Subramanian, E. M. (2021). Efficacy of submucosal dexamethasone injection for reduction of postoperative sequelae following third molar surgery. *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*, 20(3), 406-411.
- Renton, T., & Yilmaz, Z. (2021). Managing iatrogenic trigeminal nerve injury: a case series and review of the literature. *British Dental Journal*, 211(7), E17.
- Roozeboom, M. H., Arits, A. H., Nelemans, P. J., & Kelleners-Slevari, M. (2015). Overall treatment success after treatment of actinic keratosis: A systematic review. *European Journal of Dermatology*, 25(1), 10-22.
- Sortino, F., Polizzi, A., & Messina, R. (2017). Effects of cryotherapy on postoperative discomfort after the extraction of impacted third molars. *International Journal of Dental Research*, 5(2), 154-157.
- Taberner-Vallverdú, M., Nazir, M., Sánchez-Garcés, M. Á., & Gay-Escoda, C. (2015). Efficacy of different methods used for dry socket management: A systematic review. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 20(5), e633-e639.
- Vranckx, M., Fieuws, S., Jacobs, R., & Politis, C. (2020). Is coronectomy a feasible alternative to extract deep impacted third molars? What is the evidence? A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 49(5), 601-612.
- Zandi, M., Ershadi, S., & Ahmad-Abadi, F. (2016). Comparison of the effect of preoperative and postoperative administration of ibuprofen on pain control after third molar surgery: A randomized clinical trial. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 74(4), 711-717.
- Zhang, L., Yuan, M., & Xu, B. (2021). Effect of Platelet-Rich Fibrin on Postoperative Clinical Outcomes After Third Molar Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 79(1), 51-62.