

MODERN DİŞ HEKİMLİĞİ UYGULAMALARINDA ULTRASONOGRAFİ, DİJİTAL TARAMA SİSTEMLERİ VE DOKU MÜHENDİSLİĞİ TEKNİKLERİ



Editör

Doç. Dr. Nazan KOÇAK TOPBAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Sümeyye COŞGUN BAYBARS
Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Ziya ŞENYURT
Uzm. Dt. Verda Gökçe ÇAKAR
Uzm. Dt. Sümeyye YILMAZ
Arş. Gör. Dt. Mustafa Çağdaş ÖÇAL
Dr. Dt. Can SEVER
Arş. Gör. Zehra DÖNMEZ

ISBN: 978-625-5923-78-3
Ankara -2025

**MODERN DİŞ HEKİMLİĞİ UYGULAMALARINDA
ULTRASONOGRAFİ, DİJİTAL TARAMA
SİSTEMLERİ VE DOKU MÜHENDİSLİĞİ
TEKNİKLERİ**

EDİTÖR

Doç. Dr. Nazan KOÇAK TOPBAŞ
ORCID ID: 0000-0002-3717-2098

YAZARLAR

Dr. Öğr. Üyesi Sümeyye COŞGUN BAYBARS¹

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Ziya ŞENYURT²

Uzm. Dt. Verda Gökçe ÇAKAR³

Uzm. Dt. Sümeyye YILMAZ⁴

Arş. Gör. Dt. Mustafa Çağdaş ÖÇAL⁵

Dr. Dt. Can SEVER⁶

Arş. Gör. Zehra DÖNMEZ⁷

¹Fırat Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene
Radyolojisi Anabilim Dalı, Elazığ
sbaybars@firat.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-4166-3754

²Gaziantep Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji A.D.,
Gaziantep, Türkiye
suleymanszsenyurt@hotmail.com
ORCID ID: 0000-0001-5536-9110

³Diyarbakır Ağız ve Diş Sağlığı Hastanesi,
Protetik Diş Tedavisi Uzmanı, Diyarbakır, Türkiye
v.gokce.yasar@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6976-5093

⁴İnegöl Ağız ve Diş Sağlığı Hastanesi, Protetik Diş Tedavisi
İnegöl, Bursa, Türkiye
smyye_4690@hotmail.com
ORCID: 0000-0002-9030-5179

⁵Fırat Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene
Radyolojisi Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye
mcocal.radiology@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-9795-6994

⁶Yeditepe Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim
Dalı, İstanbul, Türkiye
can.sever@std.yeditepe.edu.tr
ORCID ID: 0000-0006-6406-4865

⁷Gaziantep Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji A.D.,
Gaziantep, Türkiye

aleksey_samsa@outlook.com

ORCID ID: 0009-0006-0417-1802

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16731769>



Copyright © 2025 by UBAK publishing house

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by

any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. UBAK International Academy of Sciences Association Publishing House®

(The Licence Number of Pubicator: 2018/42945)

E mail: ubakyayinevi@gmail.com

www.ubakyayinevi.org

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

UBAK Publishing House – 2025©

ISBN: 978-625-5923-78-3

August / 2025

Ankara / Turkey

ÖNSÖZ

Diş hekimliği alanında yaşanan teknolojik ilerlemeler ve klinik uygulamalardaki yenilikler, mesleğin dinamiklerini ve hasta bakım süreçlerini köklü bir şekilde değiştirmektedir. Bu kitap, diş hekimliğinin çeşitli branşlarındaki güncel ve gelişmiş uygulamaları disiplinlerarası bir perspektifle ele almayı hedeflemektedir.

Kitapta yer alan bölümler, protetik uygulamalarda üç boyutlu baskı tekniklerinden başlayarak, diş hekimliğinde ultrasonografinin temel prensipleri ve uygulamalarına kadar geniş kapsamlı teknik ve klinik bilgileri içermektedir. Ayrıca, dijital ölçüm teknolojileri ve intraoral tarayıcı sistemlerinin evrimi ile ortodontide distalizasyon ve maksiller ekspansiyonun güncel yöntemleri ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Son bölümde ise periodontolojide doku mühendisliği ve rejenerasyon teknikleri incelenmektedir.

Bu kapsamlı çalışma, akademisyenler, klinik uzmanları ve diş hekimliği alanında uzmanlaşmak isteyen öğrencilere değerli bir kaynak sunmaktadır. Disiplinlerarası ve teknolojik gelişmeler ışığında hazırlanan bu eser, diş hekimliği pratiğinin ilerlemesine önemli katkılar sağlamayı amaçlamaktadır.

Eserin hazırlanmasında emeği geçen tüm akademisyen ve araştırmacılara teşekkür eder, okuyuculara faydalı olmasını dileriz.

Bu kitabın basımını titizlikle gerçekleştiren Ubak yayınevinin tüm çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Saygılarımla,

04/08/2025

Doç. Dr. Nazan KOÇAK TOPBAş

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ 5

İÇİNDEKİLER 8

BÖLÜM 1

DİŞ HEKİMLİĞİNDE PROTETİK UYGULAMALARDA 3
BOYUTLU BASKI YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI...(10-26)

Verda Gökçe ÇAKAR

BÖLÜM 2

DİŞ HEKİMLİĞİNDE DİJİTAL ÖLÇÜ TEKNOLOJİLERİ: GÜNCEL
INTRAORAL TARAYICI SİSTEMLERİ.....(27-53)

Sümeyye YILMAZ

BÖLÜM 3

DİŞ HEKİMLİĞİNDE ULTRASONOGRAFİ: TEMEL
PRENSİPLERDEN KLİNİK UYGULAMALARA VE
GELECEĞE.....(54-98)

Mustafa Çağdaş ÖÇAL

Sümeyye COŞGUN BAYBARS

BÖLÜM 4

PERİODONTOLOJİDE DOKU MÜHENDİSLİĞİ VE
REJENERASYON(99-133)

Süleyman Ziya ŞENYURT

Zehra DÖNMEZ

BÖLÜM 5

ORTODONTİDE DİSTALİZASYON: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR
VE KLİNİK UYGULAMALAR.....(134-180)

Can SEVER

BÖLÜM 6

ORTODONTİDE MAKSİLLER EKSPANSİYON VE GÜNCEL
YAKLAŞIMLAR.....(181-209)

Can SEVER

BÖLÜM 1

DIŞ HEKİMLİĞİNDE PROTETİK UYGULAMALARDA 3 BOYUTLU BASKI YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI

Uzm. Dt. Verda Gökçe ÇAKAR

GİRİŞ

Diş hekimliğinde protez uygulamaları kozmetik beklentiler sebebiyle gün geçtikçe daha popüler hale gelmektedir. Kron-köprü uygulamalarına ek olarak implant üstü uygulamalarında yaşanan gelişmeler sayesinde restorasyonların üretim kolaylığı ve hızı önemli bir konu haline gelmektedir. 3 boyutlu baskı (3D) yöntemleri hem hızlı hem de yüksek standartlara uygun olan protezlerin üretimine olanak sağladığı için diş hekimliğinde devrim niteliğine sahip bir uygulama olmuştur. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar; 3D baskı yöntemlerini diş hekimliğinde uygulanabilirliğini araştırırken bir yandan yenilikçi materyallerin kullanımı ile geliştirme yönündedir (Alyami, 2024). Günümüzde ortodonti, diş implantları, protetik uygulamalar, cerrahi ve cerrahi olmayan endodonti uygulamaları için 3D baskı yöntemi geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmuştur (Kim vd., 2021). Dijital diş hekimliğinde bilgisayar destekli tasarım (CAD) bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojisi 3D baskı yöntemi için hızlı prototipleme özelliğine sahip olup hastaya özgü bir tasarım yapılmasına olanak sağlayarak iş kalitesini arttırmaktadır (Dawood vd., 2015; Stansbury vd.; 2016).

3D baskı yöntemi 1984 yılında Hull tarafından 3 boyutlu bir nesnenin stereolitografi veya baskı kullanılarak üretilmesi esasına dayanmaktadır (Generalova vd., 2024; Schubert vd., 2014). Sıvı ve toz yapıdaki maddelerin ya da erimiş yapıdaki ürünlerin tekrar bir madde oluşturmak üzere kullanılması ile yeni bir materyalin üretilmesi mantığı ile tasarlanmıştır (Hadad vd., 2023). Geçmişten günümüze birçok farklı 3D baskı yöntemi mekanizması geliştirilmiş olup; stereolitografi (SLA/SLG), erimiş biriktirme modelleme (FDM), seçici lazer sinterleme (SLS), seçici lazer eritme (SLM), toz bağlayıcı yazıcılar (PBP) ve dijital ışık işleme (DLP) en sık kullanılan tekniklerdendir (Stansbury vd.; 2016; Etemad-Shahidi vd., 2020).

1. Protetik uygulamalarda 3D yönteminin kullanılması

Protetik yapılarının üretiminde aşağıdan yukarı tabaka tabaka ekleme yapılarak kompleks yapıdaki protezlerin hem hassas hem de hızlı bir şekilde üretimine yardımcı olan 3D baskı yönteminin diş hekimliği uygulamalarında konvansiyonel yöntemlerin yerine geçeceği düşünülmektedir (Rezaie vd., 2023) (Tablo 1). Protetik yapıların üretimin daha kolay ve hızlı şekilde gerçekleşmesi, gelişmiş üretim tasarımı ile 3D baskı yönteminin geleneksel yöntemlere göre daha fazla avantaja sahip olmasına sebep olmuştur (Pritham, 1995). 3D baskı yöntemi öncelikli olarak kron ve köprü protezlerinin geçici restorasyonların üretiminde kullanılmış olup marjinal uyumlarının uzun süreçte başarıyı önemli faktörde etkilediği belirtilmiştir (Huang vd., 2015).

Tablo 1. Geleneksel ve gelişmiş üretim yöntemlerinden başlangıç

	BAĞLANGIÇ	SÜREÇ	ÜRETİM
GELENEKSEL	Fiziksel Ölçü (mum, alçı, ölçü malzemesi)	Alçı Modeli	Protez Dökümü Manuel Birleştirme Estetik Son Düzenleme
GELİŞMİŞ ÜRETİM	Medikal Görüntüleme (MRI, CT, fotogrametri)	Bilgisayar Destekli Dizayn (Bilgisayar modeli)	3D Baskı (3D yazdırılmış model, direkt 3D yazdırılmış protez)

süreç ve üretim aşamasın gösterilmesi (Generalova vd., 2024).

Klinik uygulamalarda özellikle geçici restorasyonlar için 3D baskı yöntemi ile anında tasarım yapılıp, üretimi yapıldıktan sonra gün içinde hastaya teslimi yapılabilmektedir. Bu durum klinik üretkenliğini arttırarak analog sistemlere bir alternatif oluşturmaktadır (Tserovski vd., 2019). Marjinal uyum protetik restorasyonların uzun dönem başarısında kritik bir öneme sahiptir. Yapılan çalışmaların çoğu 3D baskı yöntemi ile üretilen restorasyonların geleneksel yöntemler ile karşılaştırılması şeklindedir. 3D baskı yöntemi ile üretilen restorasyonların marjinal uyumu; kullanılan rezin çeşidi, cihazın

kalibrasyonu, baskı makinasının türü, nem ve ortam sıcaklığı gibi birçok faktörden etkilenebilmektedir (Huang vd., 2015; Al-Humood vd., 2023; Tian vd., 2021). Lee ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada paslanmaz çelik ve vinil-polisiloksan materyallerinden CAD/CAM frezleme ve 3D baskı yöntemi ile ürettikleri kronların internal uyumlarını araştırmışlar ve sonuç olarak; 3D baskı yöntemi ile üretilenlerde uyumun daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Hem internal hem de marjinal uyumun daha yüksek olduğu 3D baskı yönteminin geçici restorasyonlara ek olarak dental protezlerin üretimi içinde uygulanabilir olduğu düşünülmüştür (Lee vd., 2017). Başka bir çalışmada Chaturvedi ve arkadaşları chamfer, yuvarlatılmış shoulder ve eğimli yuvarlatılmış shoulder gibi farklı bitiş çizgisine sahip olan geçici kronları frezleme, sıkıştırma ve 3D baskı yöntemi ile üretip karşılaştırmışlardır. Tüm farklı bitiş çizgisine sahip geçici kronlarda minimum marjinal boşluk ve en iyi iç uyum; frezleme ve sıkıştırma teknikleri ile üretilen kronlara göre 3D baskı yönteminde elde edilmiştir (Chaturvedi vd., 2020). Mai ve arkadaşları fotopolimer püskürtme ile üretilmiş 3D kronları sıkıştırma ve frezleme tekniği ile üretilmiş kronlar ile proksimal, marjinal, internal ve internal oklüzal alanlar açısından incelemişlerdir. Çalışmaya göre marjinal ve proksimal bölgelerde frezleme ve 3D baskı yöntemi ile üretilen kronlarda sıkıştırma yöntemine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Buna ek olarak oklüzal bölgede en iyi sonuçlar 3D baskı yöntemlerinde elde edilmiştir. En fazla oklüzal tutarsızlık frezleme tekniğinde elde edilmiş olup; oklüzal bölgede uyumun artması için 3D baskı yöntemlerinden yararlanabileceğini göstermektedir (Mai vd., 2017). Tahayeri ve

arkadaşları yapmış oldukları çalışmada geçici kron ve köprü restoratif materyallerinin stereolitografi parametresi kullanılarak 3D baskı yöntemi ile uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda rezin renk ayarı ve baskı katmanı yoğunluğunun lazer ışını yoğunluğunu etkilediği sonucuna varılmıştır. Özetle 3D baskı yöntemi ile üretimin sınırlı doğruluğuna rağmen geçici restorasyonların ağız içi yeterli mekanik dayanıma sahip olduğu bildirilmiştir (Tahayeri vd., 2018). Protetik materyallerin optik özellikleri ve renk stabiliteleri önemli ve hassas bir konudur. Revilla-Leon ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada 5 farklı 3D baskı materyalini geleneksel akrilik rezin yapıda materyaller ile renk açısından karşılaştırmışlar fakat yarı saydamlığını ve renk kararlılığı açısından karşılaştırmamışlardır (Revilla-León vd., 2020). Buna ek olarak Shin ve arkadaşları 3 CAD/CAM ve 2 3D blogun renk kararlılıklarını ölçmüşlerdir. Yapılan literatür incelemelerine göre 3D baskı bloklarının rengi ve yarı saydamlığı üzerine uzun dönem çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır (Shin vd., 2020; de Oliveira vd., 2015).

2. Dental 3D baskı materyalleri

Diş hekimliğinde 3D baskı sistemleri için hidrojeller, seramikler, metaller, rezin ve termoplastik ürünler gibi birçok çeşitli materyaller kullanılabilmektedir. Yaygın olarak akrilonitril bütadien stiren (ABS) ve polilaktik asit (PLA) gibi rezin malzemeleri 3D baskı yöntemleri için kullanılmaktadır (Pillai vd., 2021; Li vd., 2020). Diş protezlerinin yapımında 3D baskı materyali olarak yeni birçok materyal denenmekte olup bunlara örnek olarak biyoseramik materyalleri de örnek

verilebilmektedir. Dayanıklığı, canlı dokularla ile bağ kurma yeteneği, biyouyumlu olması gibi birçok avantaja sahip olup aşınmaya ve korozyonlara karşı dirençli olmasından kaynaklı oral sıvılara maruz kalan diş protezleri için bir seçenek olmaktadır. Biyoseramik malzemelere örnek olarak zirkonyum, alümina ve hidroksiapatit verilebilir (Tamimi vd., 2014; Zhang vd., 2022; Zandinejad vd., 2021). Bunlara ek olarak metaller ile seramiklerin birleştirilmesine yardımcı olan kompozit materyalide 3D baskı yöntemleri için iyi bir seçenek oluşturmaktadır (Zhang vd., 2022).

❖ Termoplastik Polimerler

Termoplastik materyaller 3D baskı yöntemleri için en çok kullanılan polimer bazlı materyallerdir (Pugliese vd., 2021). Termoplastik materyallerin ana omurga yapısını oluşturan filament yapılar ısı karşısında eriyerek akıcı kıvama gelebilmektedir (van Noort, 2012; Barazanchi vd., 2017). Son zamanlarda yapılan çalışmalarda polimetil metakrilat (PMMA) ve polieter eter keton (PEEK) gibi yüksek cam geçiş sıcaklıklarına sahip olan termoplastik materyaller 3D baskı yöntemleri için araştırılmıştır (Pillai vd., 2021). Schönhoff ve arkadaşları amorf polifenilen sülfonu (PPSU) PEEK materyali ile karşılaştırmışlar ve sonuç olarak PPSU'nun PEEK materyaline göre 3D baskı yöntemleri için daha uygun bir materyal olduğunu bulmuşlardır (Schönhoff vd., 2021). Wieckiewicz ve arkadaşları ise yapmış oldukları çalışmada kontrol olarak poliamid-12'nin (PA) yüzey pürüzlülüğünü, elastikiyetini ve renk kararlılığını PMMA materyali ile karşılaştırmışlar

ve PA materyalinin PMMA'a göre daha fazla renk kararlılığı gösterdiği sonucuna varmışlardır (Wieckiewicz vd., 2014).

❖ Seramikler

3D baskı yöntemleri için seramikler polimer materyallere göre daha az kullanılmaktadır (Chen vd., 2019). Üstün özelliklerinin yanında seramik tozunun ve sinterlenme yapılmış seramik malzemesinin güçlü bir bağlanma oluşturabilmesi için 3D baskı yöntemlerinden stereolitografi (SLA) ve SLS'de kullanılabilmesi seramik materyallerini iyi bir seçenek haline getirmektedir (Malik vd., 2015; Bukhari vd., 2018). Fakat seramik malzemelerin fazla yoğunluktaki materyaller ile işlenebilmesinin zor olmasından kaynaklı seçici lazer sinterlenme ürünleri gözenekli yapıda üretilmektedir. Bunlara ek olarak anizotropik büzülme gibi zorluklardan kaynaklı seramik materyallerin 3D baskı yöntemleri için kullanımını sınırlamıştır (Barazanchi vd., 2017; Obregon vd., 2015; Miyazaki vd., 2013).

❖ Metaller

Diş hekimliğinde nikel, kobalt, krom ve titanyum gibi metaller detaylı olarak incelenmiş ve sıklıkla kullanılmıştır. 3D baskı yöntemleri için metaller seçici lazer sinterlemede kullanım alanı bulmuştur (Vaicelyte vd., 2020). Metal alaşımlarda da seramiklere benzer olarak seçici lazer sinterleme sonrası gözenekli ürünlerin oluşumu ile sonuçlanmıştır (Hong vd., 2017). 3D baskı yöntemlerinde ürünlerin gözenekli olması restorasyonun direncini azaltacağı için sinterleme cihazı için birtakım değişiklikler düşünülmüş ve bu konuya çözüm

bulunmaya çalışılmıştır (Chua vd., 2022; Osakada vd., 2006; Kathuria, 1999) (39-41). Kobalt-krom ve titanyum dayanıklılıklarından dolayı 3D baskı yöntemleri için en çok kullanılan metalik alaşımlar olmuşlardır (Konieczny vd., 2020).

3. Beklentiler ve Sonuçlar

Diş hekimliğinde 3D baskı yöntemi özellikle karmaşık yapıda protezlerin üretimi için devrim niteliğinde bir yenilik olmuştur (Thurzo vd., 2021). 3D baskı yöntemlerinin kullanım alanının artması özel ofis üretim merkezlerine ihtiyacın artması sonucunu doğurabilmektedir (Revilla-León vd., 2019; Jawahar vd., 2019). 3D baskı yöntemleri hasta için mükemmel uyuma sahip restorasyonların üretime olanak sağlar ve böylelikle uygulanan prosedürün doğruluğu ve etkinliği artmış olur. Buna ek olarak geleneksel laboratuvar aşamalarına gerek kalmadığından dolayı tedavi süresinde azalma ile hasta memnuniyetinde artış olmaktadır (Park vd., 2015). Fakat 3D baskı yöntemlerinin diğer yöntemlere göre daha yüksek maliyet gerektirmesi ve kullanılabilir materyal sayısının kısıtlı olması dezavantajlarından sayılmaktadır (Anadioti vd., 2020). Avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak 3D baskı yöntemlerinin geliştirilmesi için daha birçok çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Rezaie vd., 2023).

KAYNAKÇA

- Al-Humood, H., Alfaraj, A., Yang, C. C., Levon, J., Chu, T.G., & Lin, W. S. (2023). Marginal Fit, Mechanical Properties, and Esthetic Outcomes of CAD/CAM Interim Fixed Dental Prostheses (FDPs): A Systematic Review. *Materials* (Basel, Switzerland), 16(5), 1996.
- Alyami M. H. (2024). The Applications of 3D-Printing Technology in Prosthodontics: A Review of the Current Literature. *Cureus*, 16(9), e68501.
- Anadioti, E., Musharbash, L., Blatz, M. B., Papavasiliou, G., & Kamposiora, P. (2020). 3D printed complete removable dental prostheses: a narrative review. *BMC oral health*, 20(1), 343.
- Barazanchi, A., Li, K. C., Al-Amleh, B., Lyons, K., & Waddell, J. N. (2017). Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *Journal of prosthodontics: official journal of the American College of Prosthodontists*, 26(2), 156–163.
- Bukhari, S., Goodacre, B. J., AlHelal, A., Kattadiyil, M. T., & Richardson, P. M. (2018). Three-dimensional printing in contemporary fixed prosthodontics: A technique article. *The Journal of prosthetic dentistry*, 119(4), 530–534.
- Chaturvedi, S., Alqahtani, N. M., Addas, M. K., & Alfarsi, M. A. (2020). Marginal and internal fit of provisional crowns fabricated using 3D printing technology. *Technology and health care : official journal of the European Society for Engineering and Medicine*, 28(6), 635–642.

- Chen Z; Li Z; Li J; Liu C; Lao C; Fu Y; Liu C; Li Y; Wang P; He Y (2019). 3D printing of ceramics: A review. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 39, 661–687.
- Chua K; Khan I; Malhotra R; Zhu D (2022). Additive manufacturing and 3D printing of metallic biomaterials. *Eng. Regen*, 2, 288–299.
- Dawood, A., Marti Marti, B., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. (2015). 3D printing in dentistry. *British dental journal*, 219(11), 521–529.
- de Oliveira, D. C., Ayres, A. P., Rocha, M. G., Giannini, M., Puppini Rontani, R. M., Ferracane, J. L., & Sinhoreti, M. A. (2015). Effect of Different In Vitro Aging Methods on Color Stability of a Dental Resin-Based Composite Using CIELAB and CIEDE2000 Color-Difference Formulas. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.]*, 27(5), 322–330.
- Etemad-Shahidi, Y., Qallandar, O. B., Evenden, J., Alifui-Segbaya, F., & Ahmed, K. E. (2020). Accuracy of 3-Dimensionally Printed Full-Arch Dental Models: A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*, 9(10), 3357.
- Generalova, A. N., Vikhrov, A. A., Prostyakova, A. I., Apresyan, S. V., Stepanov, A. G., Myasoedov, M. S., & Oleinikov, V. A. (2024). Polymers in 3D printing of external maxillofacial prostheses and in their retention systems. *International journal of pharmaceutics*, 657, 124181.

- Hadad, H.; Boos Lima, F.B.; Shirinbak, I.; Porto, T.S.; Chen, J.E.; Guastaldi, F.P (2023). The impact of 3D printing on oral and maxillofacial surgery. *Journal of 3D Printing in Medicine* , 7(2).
- Hong M-H; Min BK; Kwon T-Y (2017). Fabricating high-quality 3D-printed alloys for dental applications. *Appl. Sci*7, 710.
- Huang, Z., Zhang, L., Zhu, J., Zhao, Y., & Zhang, X. (2015). Clinical Marginal and Internal Fit of Crowns Fabricated Using Different CAD/CAM Technologies. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 24(4), 291–295.
- Jawahar A; Maragathavalli G (2019). Applications of 3D Printing in Dentistry—A Review. *Int. J. Pharm. Sci. Res*, 11, 1670–1675.
- Kathuria Y (1999). Microstructuring by selective laser sintering of metallic powder. *Surf. Coat. Technol*, 116, 643–647.
- Kim, J. E., Choi, W. H., Lee, D., Shin, Y., Park, S. H., Roh, B. D., & Kim, D. (2021). Color and Translucency Stability of Three-Dimensional Printable Dental Materials for Crown and Bridge Restorations. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(3), 650.
- Konieczny, B., Szczesio-Wlodarczyk, A., Sokolowski, J., & Bociong, K. (2020). Challenges of Co-Cr Alloy Additive Manufacturing Methods in Dentistry-The Current State of Knowledge (Systematic Review). *Materials (Basel, Switzerland)*, 13(16), 3524.
- Lee, W. S., Lee, D. H., & Lee, K. B. (2017). Evaluation of internal fit of interim crown fabricated with CAD/CAM milling and 3D

- printing system. *The journal of advanced prosthodontics*, 9(4), 265–270.
- Li, C. H., Wu, C. H., & Lin, C. L. (2020). Design of a patient-specific mandible reconstruction implant with dental prosthesis for metal 3D printing using integrated weighted topology optimization and finite element analysis. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 105, 103700.
- Mai, H. N., Lee, K. B., & Lee, D. H. (2017). Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. *The Journal of prosthetic dentistry*, 118(2), 208–215.
- Malik, H. H., Darwood, A. R., Shaunak, S., Kulatilake, P., El-Hilly, A. A., Mulki, O., & Baskaradas, A. (2015). Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications. *The Journal of surgical research*, 199(2), 512–522.
- Miyazaki, T., Nakamura, T., Matsumura, H., Ban, S., & Kobayashi, T. (2013). Current status of zirconia restoration. *Journal of prosthodontic research*, 57(4), 236–261.
- Obregon, F., Vaquette, C., Ivanovski, S., Hutmacher, D. W., & Bertassoni, L. E. (2015). Three-Dimensional Bioprinting for Regenerative Dentistry and Craniofacial Tissue Engineering. *Journal of dental research*, 94(9 Suppl), 143S–52S.
- Osakada K; Shiomi M (2006). Flexible manufacturing of metallic products by selective laser melting of powder. *Int. J. Mach. Tools Manuf*, 46, 1188–1193.

- Park J-Y; Kim H-Y; Kim J-H; Kim J-H; Kim W-C (2015). Comparison of prosthetic models produced by traditional and additive manufacturing methods. *J. Adv. Prosthodont*, 7, 294–302.
- Pillai, S., Upadhyay, A., Khayambashi, P., Farooq, I., Sabri, H., Tarar, M., Lee, K. T., Harb, I., Zhou, S., Wang, Y., & Tran, S. D. (2021). Dental 3D-Printing: Transferring Art from the Laboratories to the Clinics. *Polymers*, 13(1), 157.
- Pritham, C.H (1995). Fundamentals of Facial Prosthetics. *JPO Journal of Prosthetics and Orthotics*,7(22A).
- Pugliese R; Beltrami B; Regondi S; Lunetta C (2021). Polymeric biomaterials for 3D printing in medicine: An overview. *Ann. 3d Print. Med* 2, 100011.
- Revilla-León, M., Besné-Torre, A., Sánchez-Rubio, J. L., Fábrega, J. J., & Özcan, M. (2019). Digital tools and 3D printing technologies integrated into the workflow of restorative treatment: A clinical report. *The Journal of prosthetic dentistry*, 121(1), 3–8.
- Revilla-León, M., Umorin, M., Özcan, M., & Piedra-Cascón, W. (2020). Color dimensions of additive manufactured interim restorative dental material. *The Journal of prosthetic dentistry*, 123(5), 754–760.
- Rezaie, F., Farshbaf, M., Dahri, M., Masjedi, M., Maleki, R., Amini, F., Wirth, J., Moharamzadeh, K., Weber, F. E., & Tayebi, L. (2023). 3D Printing of Dental Prostheses: Current and Emerging Applications. *Journal of composites science*, 7(2), 80.
- Schönhoff, L. M., Mayinger, F., Eichberger, M., Reznikova, E., & Stawarczyk, B. (2021). 3D printing of dental restorations:

- Mechanical properties of thermoplastic polymer materials. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 119, 104544.
- Schubert, C., van Langeveld, M. C., & Donoso, L. A. (2014). Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. *The British journal of ophthalmology*, 98(2), 159–161.
- Shin, J. W., Kim, J. E., Choi, Y. J., Shin, S. H., Nam, N. E., Shim, J. S., & Lee, K. W. (2020). Evaluation of the Color Stability of 3D-Printed Crown and Bridge Materials against Various Sources of Discoloration: An In Vitro Study. *Materials (Basel, Switzerland)*, 13(23), 5359.
- Stansbury, J. W., & Idacavage, M. J. (2016). 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 32(1), 54–64.
- Tahayeri, A., Morgan, M., Fugolin, A. P., Bompolaki, D., Athirasala, A., Pfeifer, C. S., Ferracane, J. L., & Bertassoni, L. E. (2018). 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 34(2), 192–200.
- Tamimi, F., Torres, J., Al-Abedalla, K., Lopez-Cabarcos, E., Alkhraisat, M. H., Bassett, D. C., Gbureck, U., & Barralet, J. E. (2014). Osseointegration of dental implants in 3D-printed synthetic onlay grafts customized according to bone metabolic activity in recipient site. *Biomaterials*, 35(21), 5436–5445.

- Thurzo A; Kočiř F; Novák B; Czako L; Varga (2021). I Three-dimensional modeling and 3D printing of biocompatible orthodontic power-arm design with clinical application. *Appl. Sci*, 11, 9693.
- Tian, Y., Chen, C., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., Lu, X., Shi, H., Lee, E. S., & Jiang, H. B. (2021). A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*, 2021, 9950131.
- Tserovski, S., Georgieva, S., Simeonov, R., Bigdeli, A., Röttinger, H., & Kinov, P. (2019). Advantages and disadvantages of 3D printing for pre-operative planning of revision hip surgery. *Journal of surgical case reports*, 2019(7), rjz214.
- Vaicelyte A; Janssen C; Le Borgne M. (2020). Grosgogeat B Cobalt-Chromium Dental Alloys: Metal Exposures, Toxicological Risks, CMR Classification, and EU Regulatory Framework. *Crystals* 10, 1151.
- van Noort R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 28(1), 3–12.
- Wieckiewicz, M., Opitz, V., Richter, G., & Boening, K. W. (2014). Physical properties of polyamide-12 versus PMMA denture base material. *BioMed research international*, 2014, 150298.
- Zandinejad, A., Revilla-León, M., Methani, M. M., Nasiry Khanlar, L., & Morton, D. (2021). The Fracture Resistance of Additively Manufactured Monolithic Zirconia vs. Bi-Layered Alumina Toughened Zirconia Crowns When Cemented to Zirconia

Abutments. Evaluating the Potential of 3D Printing of Ceramic Crowns: An In Vitro Study. *Dentistry journal*, 9(10), 115.

Zhang, F., Spies, B. C., Willems, E., Inokoshi, M., Wesemann, C., Cokic, S. M., Hache, B., Kohal, R. J., Altmann, B., Vleugels, J., Van Meerbeek, B., & Rabel, K. (2022). 3D printed zirconia dental implants with integrated directional surface pores combine mechanical strength with favorable osteoblast response. *Acta biomaterialia*, 150, 427–441.

BÖLÜM 2

DIŞ HEKİMLİĞİNDE DİJİTAL ÖLÇÜ TEKNOLOJİLERİ: GÜNCEL INTRAORAL TARAYICI SİSTEMLERİ

Uzm. Dt. Sümeyye YILMAZ

GİRİŞ

Son yıllarda dijital teknolojilerin sağlık alanında hızla yaygınlaşması, diş hekimliğinde de köklü bir dönüşüm sürecini beraberinde getirmiştir. Dijital diş hekimliği uygulamaları sayesinde tedaviler yüksek hassasiyetle; daha hızlı ve daha konforlu uygulanabilmektedir (Mangano et al., 2016). Özellikle geleneksel ölçü alma tekniklerinin çeşitli sınırlılıkları – zaman alıcı olması, hasta için rahatsız edici olması, hacimsel deformasyon riskleri taşıması ve laboratuvar süreçlerinde hata payına açık olması – dijital alternatiflere olan ilgiyi artırmıştır (Ender & Mehl, 2013).

Bu bağlamda geliştirilen intraoral tarayıcılar (IOS), diş hekimliğinde dijitalleşmenin temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir. IOS teknolojisi sayesinde hastanın ağız içi yapıları, doğrudan ve temassız bir şekilde üç boyutlu olarak dijital ortamda taranabilmekte; bu durum hem hasta konforunu önemli ölçüde artırmakta hem de ölçülerin doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini yükseltmektedir (Logozzo et al., 2014). Ayrıca bu tarayıcılar, klasik silikon esaslı ölçü yöntemlerinde görülebilecek büzülme, genişleme ya da deformasyon gibi sorunları ortadan kaldırarak daha güvenilir veriler elde edilmesini sağlamaktadır.

İntraoral tarayıcılarla elde edilen dijital görüntüler CAD/CAM sistemleriyle entegre edilerek kullanılmaktadır. Bu teknoloji sayesinde tedavi sürecinde hekim ve hastalara pek çok avantaj sunmaktadır. Özellikle kuron, köprü, inley/onley ve implant üstü protezlerin üretiminde, dijital veriler doğrultusunda hızlı ve kişiye özel tasarımlar yapılabilen; böylece tedavi süresi kısalmakta, klinik randevu sayısı azalmakta ve restorasyonların başarısı artmaktadır. Dijital iş akışı, ayrıca laboratuvar ile klinik arasındaki iletişimi kolaylaştırmakta, veri transferinde hata riskini azaltmakta ve tedavi planlarının daha öngörülebilir olmasına katkı sunmaktadır(Bakıç et al., 2021).

1. Dijital İntraoral Tarayıcılar

Dijital iş akışı ile planlanan protetik restorasyon uygulamalarının ilk aşamasını dijital ölçüler oluşturmaktadır. Bu işlem sırasında intraoral tarayıcılar aracılığıyla elde edilen ağız içi sert ve yumuşak dokuların yanı sıra dijital tarama postlarının görselleri, tarama yazılımı tarafından nokta bulutları şeklinde işlenmektedir. Bu nokta bulutları daha sonra üçgenleştirilerek nokta ağı (mesh) yapısında dijital modeller haline dönüştürülür (Imburgia et al., 2017; Martin et al., 2015).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan intraoral tarayıcılar, tek bir tarama işlemi ile tüm arkin üç boyutlu çıktısını elde edebilecek kapasitede değildir. Bu nedenle, birden fazla görüntü alınmakta ve bu görüntüler yazılım aracılığıyla birleştirilerek nihai üç boyutlu model oluşturulmaktadır. Elde edilen bu dijital modeller, konvansiyonel yöntemlerle hazırlanan alçı modellerin sanal karşılıkları olarak işlev görmektedir(Aragón et al., 2016; Kim et al., 2018).

CAD/CAM teknolojilerinde iki temel tarayıcı tipi bulunmaktadır: optik ve mekanik tarayıcılar. Optik tarayıcılar, ışık kaynağı ile reseptör arasındaki belirli açıların etkileşimiyle çalışan ve triangulasyon ilkesine dayanan sistemlerdir(Beuer et al., 2008).

Beyaz ışık veya lazer ışını kullanarak yüksek çözünürlüklü ve hızlı veri elde edilmesini sağlarlar(Strub et al., 2006). Direkt (intraoral) ve indirekt (model tarayıcı) olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ancak yüksek maliyet, mekanik karmaşıklık ve uzun üretim süresi dezavantajları arasında yer alır. Örnek sistemler arasında Lava Scan ST, Everest Scan ve ES1 yer almaktadır.

Mekanik tarayıcılar ise modelin fiziksel olarak bir prob aracılığıyla tarandığı sistemlerdir. Yüksek doğruluk ve hassasiyet sağlamalarına rağmen, karmaşık yapıları ve üretim sürelerinin uzunluğu nedeniyle daha az tercih edilmektedir(Beuer et al., 2008). Bu tür tarayıcılara örnek olarak Procera Scanner verilebilir.

Restoratif tedavilerde başarı, dijital ya da konvansiyonel yöntemle elde edilen ölçü verisinin doğruluğuna bağlıdır. Çoğu intraoral tarayıcı, çoklu 3D görüntüleri birleştirme prensibiyle çalışırken, bazı sistemler doğrudan 3D video kaydı ile veri toplayarak modelleme ve üretim aşamalarına geçiş sağlar(Kostiukova et al., 2014; Logozzo et al., 2011).

2. Dijital İntraoral Tarayıcıların Çalışma Prensipleri

1) Aktif Triangülasyon Yöntemi

Aktif triangülasyon, ağız içi tarayıcının farklı dalga boylarındaki ışığı yüzeye iletmesi ve yansıyan ışının sensörlerce algılanarak üç

boyutlu veriye dönüştürülmesi esasına dayanır(Zimmermann et al., 2015). Bu yöntemde, bir noktanın konumu, bilinen iki nokta arasındaki mesafe ve açı değerleri kullanılarak Triangölasyon Teoremi ile hesaplanır(Patzelt et al., 2014).

Sistemde lazer ışık kaynağı, lens ve ışığa duyarlı sensör bulunur. Lazer, yüzey üzerinde bir nokta aydınlatarak sensörde bir ışık görüntüsü oluşturur ve yüzeye olan mesafe hesaplanır(Logozzo et al., 2014). Bu temasız sistem, mikron düzeyinde hassas ölçüm olanağı sunar.

CEREC, bu prensiple çalışan sistemlerden biridir. Bluecam modeli pudralama gerektirirken, Omnicam gerçek renkli ve pudrasız tarama imkânı sağlar(Gintaute et al., 2018; Zimmermann et al., 2015).

2) Konfokal Mikroskopi Yöntemi

Konfokal mikroskopi, farklı derinliklerdeki yüzeylerin x, y ve z eksenlerinde yüksek çözünürlüklü kesit görüntülerini elde etmeye olanak tanır(Carlsson et al., 1985). Paralel lazer ışınlarının yüzeye gönderilip aynı eksenden geri yansmasıyla çalışan bu yöntem, uzaysal filtreleme ile yüzey dışı yansımaları elimine eder(Zimmermann et al., 2015).

Bu teknikte nokta bazlı görüntüler birleştirilerek üç boyutlu model oluşturulur. Renkli görüntü elde edilebilir ve pudra kullanımına gerek yoktur. Ancak işlem hızı, aktif wavefront örnekleme yöntemine kıyasla daha düşüktür.

Trios 3 (3Shape) ve iTero (Align Technology) tarayıcıları bu prensiple çalışır. iTero sistemi, tarama sırasında 100.000 kırmızı lazer ışını kullanırken; Trios 3, farklı zaman ve açılarda alınan çok sayıda

görüntüyü dijital model haline getirir(Logozzo et al., 2014; Taneva et al., 2015).

3) Aktif Wavefront Örneklemeye Yöntemi

Aktif wavefront örneklemeye, derinlik bilgisini tek bir optik yol ve kamera kullanarak elde eden bir görüntüleme yöntemidir. Üç sensör, nesneyi farklı açılardan eşzamanlı olarak görüntüler; bu veriler odak içi ve odak dışı bilgilerle işlenerek üç boyutlu model oluşturulur(Syrek et al., 2010).

Bu yöntemde dönen açıklık prensibi ve mavi ışık projeksiyonu kullanılır; saniyede 24 milyon veri noktası toplanarak yüksek ayrıntılı tarama sağlanır(Logozzo et al., 2014). Yöntem, özellikle Lava COS ve True Definition (3M ESPE) gibi ağız içi tarayıcılarda kullanılmakta olup, genellikle pudra kullanımını gerektirir (Patzelt et al., 2014).

3. Güncel Tarayıcı Sistemleri

1) CEREC (Chairside Economical Restorations of Esthetic Ceramics) Intraoral Tarayıcı Sistemi

Dijital diş hekimliğinde önemli bir dönüm noktası, 1985 yılında Mörmann ve Brandestini tarafından geliştirilen ve klinik ortamda ilk inley restorasyonunun üretildiği CEREC 1 sistemiyle yaşanmıştır. Bu sistem 2 boyutlu tarama teknolojisine sahip olup, ilerleyen süreçte inlay, onlay ve laminate veneer üretimini mümkün kılmıştır (Mörmann et al., 1987).

CEREC 2, 1994 yılında Siemens tarafından geliştirilmiş ve tam kron üretimini desteklemiştir. Ancak bu sistemde ağız içi tarama özelliği bulunmamaktadır. CEREC 3 sistemi ise 2000 yılında Dentsply

Sirona tarafından sunulmuş ve ilk kez intraoral tarayıcı entegrasyonu sağlanmıştır. 2003 itibarıyla sistem, 3D tasarım yetenekleriyle güçlendirilmiştir (Bindl et al., 2006; Bindl & Mörmann, 2003).

CEREC AC BlueCam, 2009 yılında tanıtılmış olup aktif triangulasyon prensibiyle çalışmaktadır. Kron, veneer ve köprü gibi restorasyonları destekleyen bu sistem, yalnızca tek renkli görüntü elde edebilmekte ve pudralama gereksinimi taşımaktadır (Van der Meer et al., 2012).

CEREC AC Omnicam, 2012 yılında geliştirilmiş ve görüntüleme tekniği olarak ardışık görüntülerin birleştirilmesine dayalı pudrasız, renkli tarama özelliği sunmuştur. Omnicam ile elde edilen veriler özel dosya formatlarının yanı sıra STL formatına dönüştürülebilir (Aydın & Yanikoğlu, 2022).

En güncel sistem olan Primescan, 2019 yılında piyasaya sürülmüştür. Bu cihaz, saniyede 50.000'den fazla görüntü yakalayarak ve 1 milyonun üzerinde veri noktası tarayarak yüksek çözünürlükte dijital modeller oluşturmaktadır. 20 mm derinliğe kadar tarama kapasitesi ve geniş görüş alanı ile dikkat çeken sistem, sadece kablolu olarak çalışmakta ve otomatik artefakt temizleme gibi gelişmiş yazılımsal özellikler sunmaktadır. Ayrıca yumuşak dokuların (dudak, yanak) tarama dışı bırakılması da mümkündür (Aydın & Yanikoğlu, 2022).

Primescan ile üst ve alt çene taramaları, oklüzyon kaydı ve model hesaplamaları ortalama 2–3 dakika içerisinde tamamlanabilmektedir. Sistem, kapalı mimariye sahiptir ve çıktı dosyaları STL formatına dönüştürülebilir.

2) Trios Intraoral Tarayıcı Sistemi

Trios serisi, 3Shape (Kopenhag, Danimarka) firması tarafından geliştirilen ve diş hekimliğinde dijital ölçülerin alınmasında yaygın olarak kullanılan bir intraoral tarayıcı grubudur. Trios tarayıcılar, konfokal mikroskopi prensibine dayalı olarak çalışır ve yüksek çözünürlükte, renkli, üç boyutlu dijital modeller oluşturabilir. Serinin öne çıkan modeli olan Trios 3®, fotoğraf kalitesi açısından oldukça gelişmiş olup, gerçek diş rengine en yakın görüntüyü elde edebilmektedir. Bu özellik, özellikle estetik bölgelerde yapılan restorasyonların planlamasında ve marjinlerin hassas tespitinde büyük avantaj sağlar(Mangano et al., 2019)

Trios 3, tarama sırasında yumuşak dokuları ayırt ederek istenmeyen yapıların modele dahil edilmesini önleyebilir. Bu, cihazın başlığının ergonomik yapısı ve görüntü işleme algoritmalarının hassasiyetinden kaynaklanmaktadır. Tarayıcı ucu 320×56×16 mm boyutlarındadır; bu da posterior bölgelerde dahi kolay tarama yapılmasına olanak tanır. Tarayıcı kapalı sistem olarak çalışmaktadır ve çıktılar özel olarak .dcm uzantılıdır. Ancak, sistemin açık veri formatları ile uyumlu hale gelmesi adına, alınan görüntüler .stl dosya formatına dışa aktarılabilir. Trios tarayıcılar, inlay, onlay, veneer, kron, köprü, implant üst yapılar ve ortodontik planlamalar gibi birçok endikasyonda kullanılabilir(Bakış et al., 2021).

Trios 4® modeli, Trios 3'ün gelişmiş bir versiyonu olarak tanıtılmıştır. En önemli farklarından biri batarya ömrünün uzatılmış olmasıdır. Kablosuz kullanım imkanı sunan cihaz, tam ark taramalarını 25 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleştirebilmektedir. Ancak bu süre,

kullanıcının deneyimine ve klinik şartlara bağılı olarak değişkenlik gösterebilir. Trios 4 ayrıca akıllı tip transillüminasyon görüntüleme teknolojisine sahiptir. Bu özellik, kızılötesi ışıklar aracılığıyla gözle görülmeyen proksimal çürüklerin erken teşhisinde kullanılabilecek potansiyele sahiptir. Ancak bu teknoloji, henüz FDA (Food and Drug Administration) onayı almadığı için klinik kullanımda aktif olarak yer almamaktadır. Gelişmiş yazılım altyapısı sayesinde tarama sırasında oluşan artefaktlar otomatik olarak filtrelenebilmekte, yumuşak dokular modelden ayıklanabilmektedir(Bakıç et al., 2021; Nedelcu et al., 2018).

3) ITero® Tarayıcı Sistemleri (Cadent Ltd, İsrail)

ITero® serisi, özellikle Element 1®, Element 2® ve Element Flex® modelleri ile dikkat çekmektedir. Bu modellerde, konfokal mikroskopi prensibi kullanılmaktadır. Element Flex® modeli mobil kullanım için tasarlanmıştır ve tüm ITero cihazlarında hızlı tarama, otomatik kalibrasyon, ağ bağlantısı (network sistemi) ve hızlandırılmış görüntü işleme özellikleri mevcuttur. Cihaz, beyaz ışık taraması yapar ve bu beyaz ışık üç farklı lazer ışığının (kırmızı, yeşil ve mavi) birleşiminden oluşur. ITero, özel bir dosya sistemine sahip olmakla birlikte, tarama verileri .stl formatında dışa aktarılabilir, böylece farklı CAD/CAM yazılımlarında kullanımı mümkün olmaktadır (Logozzo et al., 2014; Syrek et al., 2010).

- **Element 5D®**

ITero serisinin en son piyasaya sürülen modeli olan Element 5D®, Near Infrared Imaging (NIRI) teknolojisi ile donatılmıştır. Bu teknoloji, hastaların dişlerindeki çürükleri tarama sırasında gerçek

zamanlı olarak gösterme kapasitesine sahiptir. Özellikle proksimal çürüklerin tespiti açısından klinik uygulamalarda etkin olduğu raporlanmıştır. Niri teknolojisi, invaziv olmayan ve radyasyonsuz bir yöntem olarak ağız içi dokuların detaylı değerlendirilmesini sağlamaktadır (Syrek et al., 2010).

- **E4D (D4D Technologies, LLC, ABD)**

E4D sistemi, Optik Koherens Tomografi (OCT) prensibine dayanan ileri bir görüntüleme teknolojisi kullanmaktadır. Bu teknoloji, nesnenin tek bir pozisyonunda çoklu lazer segmentleriyle üç boyutlu haritaların oluşturulmasını sağlar. Sistem, özel bir pudra ya da toza ihtiyaç duymadan yüksek çözünürlükte tarama yapabilmektedir. Ayrıca, E4D kendine ait bir milling (freze) sistemi ile bütünleşik çalışabilme özelliğine sahiptir. E4D teknolojisi, başlangıçta CEREC teknolojisinin bazı bileşenlerini içermekle birlikte, daha sonra Planmeca tarafından PlanScan adı altında geliştirilmiş ve ticari olarak sunulmuştur (Moörmann, 2006; Patzelt et al., 2014).

4) Carestream CS 3500 Intraoral Tarayıcı Sistemi

Carestream CS 3500, Carestream Dental firması tarafından 2014 yılında geliştirilmiş, dijital diş hekimliği uygulamalarında kullanılan bir intraoral tarayıcıdır. Sistem, aktif triangülasyon prensibiyle çalışmakta olup, bu teknoloji sayesinde yüzey derinliği ve üç boyutlu yapı hassasiyetle hesaplanabilmektedir (Imburgia et al., 2017). CS 3500, pudralama gerektirmeyen bir sistemdir; bu da hem hasta konforunu artırmakta hem de tarama süresini kısaltmaktadır.

Tarayıcı, çoklu görüntü alımı gerçekleştirerek bunları dijital ortamda birleştirir ve yüksek çözünürlüklü bir üç boyutlu renkli model oluşturur. Sistemde yer alan LED ışıklar, kullanıcıya taramanın kalitesi hakkında anlık geri bildirim verir; böylece görüntünün tam alınıp alınmadığı ve tarayıcının doğru şekilde odaklanıp odaklanmadığı görsel olarak takip edilebilir. Bu özellik, kullanıcıya yönlendirme sağlarken hata payını azaltır. CS 3500'de, otoklavlanabilir ve tek kullanımlık olmak üzere iki farklı tarayıcı ucu seçeneği mevcuttur. Bu uç seçenekleri, enfeksiyon kontrol protokollerine uyumu destekler ve kullanım kolaylığı sağlar. Tarayıcı, gerçek renkli görüntüleme teknolojisiyle diş, implant ve yumuşak dokular arasındaki sınırların ayırt edilmesini kolaylaştırır. Bu özellik, özellikle marjin tespiti ve restoratif planlamalarda klinik doğruluğu artırmaktadır. Tarama sırasında oluşabilecek artefaktlar veya eksik bölgeler, sistemin entegre yazılımı olan Carestream Dental's Imaging Software aracılığıyla tespit edilip düzenlenebilmektedir. CS 3500, açık sistem altyapısıyla çalışmakta olup, taranan veriler STL dosya formatında dışa aktarılabilir. Bu sayede taranan modeller, farklı CAD/CAM sistemleri ve yazılımlarıyla entegre bir şekilde kullanılabilir (Bashir, 2023; Imburgia et al., 2017).

5) Medit i500 ve i700 Ağız İçi Tarayıcı Sistemleri

Medit i500, 2018 yılında Medit firması tarafından geliştirilmiş ve piyasaya sürülmüş dijital ağız içi tarayıcıdır. Açık sistem yapısı sayesinde elde edilen tarama verileri farklı CAD/CAM yazılımlarına kolaylıkla aktarılabilir. Bu özellik, kullanıcıya sistemler arası esneklik ve uyum sağlar.

Cihaz, iki entegre kamera ve gelişmiş bir akıllı tarama algoritması kullanarak yüksek hassasiyetli 3 boyutlu dijital veriler oluşturur. Tarama sırasında herhangi bir pudralama işlemine ihtiyaç duyulmaması, işlem süresini kısaltmakta ve hasta konforunu artırmaktadır. Tarayıcı üzerinde bulunan fiziksel düğme aracılığıyla tarama başlatılabilir ve durdurulabilir, bu da kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca, kullanıcı belirli bölgeleri seçerek yalnızca o alanlarda yüksek çözünürlüklü tarama gerçekleştirebilir. Bu özellik, hem veri kalitesinin artırılmasına hem de işlem süresinin optimize edilmesine katkı sağlar(Kim et al., 2019; Logozzo et al., 2014).

Medit i500, kompakt ve ergonomik tarama ucu sayesinde özellikle posterior bölgelerde daha rahat kullanım imkânı sunar. Tarama verilerinin yönetimi ve dışa aktarımı Medit'in bulut tabanlı platformu olan MeditLink yazılımı ile sağlanmaktadır.

Medit firması, i500 modelinin ardından geliştirdiği Medit i700 tarayıcısını piyasaya sürmüştür. Bu yeni model, selefine kıyasla daha hafif ve daha hızlı bir performansa sahiptir. Kablosuz kullanım özelliği ile klinik kullanım sırasında hareket özgürlüğünü artırmakta ve kablo kaynaklı teknik kısıtlamaları ortadan kaldırmaktadır. Medit i700, tarama doğruluğu, kullanıcı dostu arayüzü ve dijital iş akışına entegrasyonu açısından güncel dijital diş hekimliği uygulamalarıyla uyumlu bir teknolojidir (Dutton et al., 2020; Gatzemann, 2024).

6) Lava™ C.O.S (3M ESPE, ABD) İntraoral Tarayıcı Sistemi

Lava™ C.O.S, 3M ESPE tarafından geliştirilen ve mavi lazer teknolojisi kullanarak ölçüm yapan ileri bir intraoral tarayıcıdır. Cihaz,

nesne noktalarının düzlem dışı koordinatlarının örneklenmesi ve farklı pozisyonlarda sürekli imaj varyasyonları oluşturularak üç boyutlu hareketlerin kaydedilmesi prensibine dayanan Active Wavefront Sampling teknolojisini kullanmaktadır. Tarayıcı saniyede 20 adet üçlü imaj yakalayarak yüksek çözünürlüklü ve detaylı dijital modeller oluşturabilmektedir. Elde edilen veriler, firmaya ait özel dosya uzantılarının yanı sıra, yaygın olarak kullanılan stl formatında da dışa aktarılabilmektedir(Boeddinghaus et al., 2015; Medina-Sotomayor et al., 2019).

Lava™ C.O.S ayrıca kendine ait bir kazıma ünitesi ile entegre çalışmakta ve taranan çenelerin dijital olarak artikülasyona getirilmesine olanak sağlamaktadır. Tarama sırasında hasta dişleri maksimum interkusal ilişkiye getirilir ve marjinal bölgelerin ölçümü titanyum oksit spreyleri kullanılarak desteklenmektedir. Bu sayede marjinal hassasiyet yaklaşık olarak 120 mikron (µm) seviyesinde sağlanmaktadır(Logozzo et al., 2011; Shembesh et al., 2017).

7) Emerald® ve PlanScan® İntraoral Tarayıcı Sistemleri (Planmeca, Finlandiya)

Emerald® serisi, Planmeca tarafından geliştirilmiş olan üç farklı intraoral tarayıcı modeli (Emerald, Emerald S ve PlanScan) içermektedir. Bu sistemler, inley, onley, veneer, kron, köprü, tam ark taraması, bölgesel tarama, model taraması ve ölçü taraması gibi çeşitli klinik uygulamalarda kullanılabilmektedir. Ayrıca kendilerine ait freze üniteleri bulunmaktadır ve tarama verileri yaygın olarak kullanılan .stl ve .ply dosya formatlarında dışa aktarılabilmektedir(Bakış et al., 2021).

- **Emerald® ve Emerald S®**

2017 yılında tanıtılan Emerald ve Emerald S modelleri, Projected Pattern Triangulation™ teknolojisini kullanmakta olup, özel toz kullanımı gerektirmemektedir. Bu tarayıcılar, mavi, yeşil ve kırmızı lazer ışıklarını kombine ederek renkli ve gerçekçi üç boyutlu görüntüler oluşturmaktadır. Emerald S modeli, önceki modele kıyasla daha yüksek tarama hızı, gelişmiş tanılama yetenekleri ve kullanım kolaylığı sunmaktadır. Tarayıcıların boyutları 41x45x249 mm olup, Emerald S 229 gram, Emerald ise 223 gram ağırlığındadır. Tarayıcılar kablolu bağlantı ile bilgisayara entegre edilmektedir. Ergonomik ve çıkarılabilir başlıkları sayesinde sterilizasyon için otoklavda yıkanabilme özelliğine sahiptirler. Ayrıca, gerçek zamanlı renkli görüntüleme teknolojisi ve görüntüleme sırasında buğulanmayı önleyen sistemler mevcuttur(Bakıç et al., 2021).

- **PlanScan®**

PlanScan, mavi lazer teknolojisi kullanmakta ve tomografi ile uyumlu konfokal mikroskopi prensibiyle çalışmaktadır. Bu cihaz, inley, onley, veneer, kron ve köprü üretiminde kullanılabilir. Dört farklı tarayıcı başlığı ile her bir başlık belirli bir ağız bölgesi için optimize edilmiştir. Ayrıca PlanScan, konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) verileri ile senkronize edilerek rehber model hazırlanmasında da kullanılmaktadır(Oy, 2019).

8) Fussen İntraoral Tarayıcı Sistemi (Çin)

Fussen markasına ait intraoral tarayıcı, üç farklı LED ışık kaynağı kullanarak tarama işlemini gerçekleştirmektedir. Cihaz içerisinde yer

alan optik bileşenler arasında mikrolens dizisi, kolimatör mercek grubu, gri kodlama ızgara plakası, optik yansıtıcı, projeksiyon mercek grubu ve reflektörler bulunmaktadır. Yansıtıcı yüzeyleri birbirine zıt şekilde konumlandırılmış olup, paralel yerleştirilmiş ikinci ve üçüncü yansıtıcılar ile kameralar aktif görüntülemeyi sağlamaktadır. Bu yapı, cihazın yüksek hassasiyetle ve hızlı şekilde üç boyutlu veri elde etmesine olanak tanımaktadır.

Sistem, tarama sırasında toz kullanımını gerektirmemektedir, bu da hasta konforunu artırmakta ve işlem süresini kısaltmaktadır. Tarama doğruluğu 25 mikrona kadar ulaşabilmekte olup, bu da klinik uygulamalarda yeterli bir hassasiyet düzeyini temsil etmektedir. Elde edilen tarama verileri yaygın olarak kabul gören .stl ve .ply dosya formatlarında dışa aktarılabilir. Cihaz taşınabilir özelliktedir, ancak başlık kısmı kablolu çalışmamaktadır(Wu et al., 2015).

9) Zfx™ IntraScan (Zimmer Biomet, Almanya)

Zfx™ IntraScan, konfokal ölçüm ve moiré düzenlemesi prensibiyle çalışan bir intraoral tarayıcıdır. Yaklaşık 600 gram ağırlığında olup, saniyede 18 fotoğraf çekme kapasitesine sahiptir. Laptop ile uyumlu çalışabilmesi sayesinde mobil kullanım avantajı sunar. Tarama sırasında toz veya sprej kullanımına gerek yoktur. Maksimum tarama alanı 10.4 x 9.6 x 18 mm boyutlarındadır. Elde edilen veriler standart .stl formatında dışa aktarılabilir(Bakıç et al., 2021).

4. Dijital İnteraoral Tarayıcıların Avantajları

Dijital tarama teknolojileri, diş hekimliğinde konvansiyonel ölçü yöntemlerine kıyasla birçok avantaj sunmaktadır. Bu avantajlar hem hasta konforunu artırmakta hem de klinik uygulamaların etkinliğini desteklemektedir.

1. Hasta konforu artar: Dijital tarama yöntemleri, özellikle ölçü alımı sırasında hastada meydana gelen rahatsızlık hissini azaltarak hasta konforunu artırmaktadır.
2. Zamandan tasarruf sağlar: Ölçü işleminin dijital ortamda gerçekleştirilmesi, hem klinik hem de laboratuvar aşamalarında zaman kazancı sağlamaktadır.
3. Sabit protez uygulamalarında ölçü alma süreci kolaylaştırır: Dijital sistemler, sabit protetik restorasyonlar için daha pratik ve hatasız ölçü alınmasını mümkün kılar.
4. Maliyet avantajı sunar: Diş hekiminin ölçü materyali, alçı, ölçü kağıdı gibi sarf malzemelerine olan ihtiyacı ortadan kaldırır.
5. Klinik prosedürler sadeleşir: Dijital tarama ile uygulama süreçleri daha sistematik ve hızlı hâle gelir.
6. Üç boyutlu modellerle detaylı analiz yapılabilir: Elde edilen dijital modeller, tüm yüzeylerin kapsamlı bir şekilde incelenmesini sağlar.
7. Uzun süreli dijital arşivleme mümkündür: Dijital modeller, fiziksel deformasyona uğramadan uzun süre saklanabilir.
8. Farklı cihazlarda üretim ve analiz imkânı sunar: Üç boyutlu modeller farklı teknolojilerle (örneğin 3D yazıcılar) gerçek nesnelere dönüştürülebilir ve detaylı analiz yapılabilir.

9. Kusma refleksi olan hastalar için uygundur: Ağız içi tarama, konvansiyonel ölçülerin tetiklediği refleksleri azaltarak işlem başarısını artırır.
10. Dezenfeksiyon gerekliliği ortadan kalkar: Fiziksel temas gerektirmeyen ölçü süreci, enfeksiyon kontrolünü kolaylaştırır.
11. Tedavi öncesi dijital diyagnostik modeller üzerinden simülasyon yapılabilir: Klinik planlamalar, ölçü alınmadan önce dijital modellerde gerçekleştirilebilir.
12. Konvansiyonel ölçü materyallerinde aranan birçok özellik gereksiz hâle gelir: Dijital sistemler, klasik yöntemlerdeki akıcılık, rijidite gibi özelliklerin önemini azaltır.
13. Konvansiyonel yöntemler kadar hassas sonuçlar verir: Günümüzde kullanılan tarayıcılar, geleneksel ölçü yöntemleriyle karşılaştırılabilir düzeyde hassasiyet sunmaktadır.
14. Kesitsel ya da bölgesel analiz yapılabilir: Tarama verileri üzerinde belirli bölgeler izole edilerek detaylı değerlendirme yapılabilir.
15. Sanal artikülatör entegrasyonu mümkündür: Elde edilen modeller, bilgisayar ortamında sanal artikülatörlere bağlanarak oklüzyon analizi ve tedavi planlaması yapılabilir.
16. Veri paylaşımı kolaylaşır: Dijital veriler, internet aracılığıyla hızlı ve güvenli şekilde diğer klinikler veya laboratuvarlarla paylaşılabilir.

17. Veri formatları farklı sistemlerde kullanılabilir: STL ve PLY gibi formatlara dönüştürülen veriler, diğer dijital sistemlerle (CT, CBCT) entegre edilebilir.
18. Ölçü tekrarlanabilir ve lokal düzeltmeler yapılabilir: Gerekğinde yalnızca başarısız bölgelerin yeniden taranması mümkündür.
19. Doğru renk seçimi sağlanabilir: Renk analiz sistemleriyle entegre çalışan tarayıcılar, doğru renk tayini yapılmasına olanak tanır(Luqmani et al., 2020; Punj et al., 2017; Zimmermann et al., 2015)(Bakıç et al., 2021).

5. Dijital İntraoral Tarayıcıların Dezavantajları

Dijital ölçüleme sistemleri birçok avantaj sunmakla birlikte, mevcut teknolojilerin sınırlamaları ve klinik uygulamalarda karşılaşılan bazı zorluklar nedeniyle birtakım dezavantajları da beraberinde getirmektedir.

1. Yüksek kurulum ve bakım maliyetleri: Bazı intraoral tarayıcıların ilk yatırım maliyeti, yazılım lisansları, periyodik bakım ve program güncellemeleri ekonomik açıdan yük oluşturabilir.
2. Kullanım becerisi gerektirir: Dijital tarayıcıların doğru ve etkili bir şekilde kullanılabilmesi için eğitilmiş ve deneyimli personel gerekmektedir.
3. Gingival marjinlerin kaydı zordur: Özellikle subgingival bölgelerdeki marjinlerin dijital olarak eksiksiz taranabilmesi zor olup, bu durum retraksiyon ihtiyacını artırmaktadır.

4. Cihaz boyutu hasta konforunu etkileyebilir: Özellikle büyük hacimli tarayıcı uçları, hastalar tarafından yabancı cisim olarak algılanmakta ve posterior bölgelerde kusma refleksini tetikleyebilmektedir.
5. Toz uygulaması marjinal uyumsuzluğa neden olabilir: Intraoral tozlar, ölçü netliğini artırabilse de, bu uygulama bazı restorasyonlarda uyum problemlerine yol açabilir.
6. Diş rengi ve yüzey özellikleri ölçüm doğruluğunu etkiler: Dişin rengi, sıcaklığı ve yüzey yapısı gibi faktörler, dijital renk analizi ve ölçüm sonuçlarında sapmalara neden olabilmektedir.
7. Kapalı sistemler tasarım özgürlüğünü sınırlar: Bazı CAD/CAM sistemlerinin kapalı altyapıda çalışması, özellikle implant üstü restorasyonlarda veri paylaşımı ve tasarım esnekliğini kısıtlamaktadır.
8. Oklüzal temasların ayarlanmasında sınırlılık: Dijital sistemlerle elde edilen oklüzal ilişkiler, konvansiyonel yöntemlerle karşılaştırıldığında daha az hassasiyet gösterebilir.
9. Tam ark ve dişsiz vakalarda doğruluk düşebilir: Özellikle tam dişsiz ağızlarda ya da geniş ark taramalarında, dijital tarayıcıların konvansiyonel ölçü sistemlerine göre daha az başarılı olduğu bildirilmiştir.
10. Oral sıvılar tarama kalitesini olumsuz etkiler: Kan, tükürük ve diğer oral sıvılar, dijital tarayıcıların yüzeyleri doğru

şekilde okuyabilmesini zorlaştırarak ölçü kalitesini düşürebilir.

11. Parlak ve translüsens yüzeylerde tarama güçlüğü: Seramik gibi ışık yansıtıcı veya yarı saydam yüzeylerde tarayıcıların veri toplaması zorlaşabilir; bu durum görüntüleme hatalarına yol açabilir(Bakıç et al., 2021; Bhajibhakare et al., 2019; Imburgia et al., 2017; Mangano et al., 2016; Prudente et al., 2018).

SONUÇ

Dijital intraoral tarayıcılar, diş hekimliğinde ölçü alma süreçlerinde devrim niteliğinde bir dönüşüm yaratmış ve geleneksel yöntemlerin birçok sınırlamasını ortadan kaldırmıştır. Günümüzde dijital diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan gelişmiş intraoral tarayıcı sistemleri arasında Trios (3Shape), iTero (Align Technology), Primescan (Dentsply Sirona), Medit i700 ve Planmeca Emerald S gibi cihazlar yer almaktadır.

Güncel sistemler, yalnızca dijital ölçü alım süreçlerini değil; aynı zamanda tanı koyma, tedavi planlaması ve hasta ile etkili iletişim gibi klinik uygulamaların tüm aşamalarını dijital ortamda yüksek verimlilikle desteklemektedir. Dijital iş akışının sağladığı zaman tasarrufu, hasta konforu ve klinik doğruluk, intraoral tarayıcıların modern diş hekimliğinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmesini sağlamıştır. Ancak, bu teknolojilerin etkin kullanımı için yeterli klinik eğitim, endikasyona uygunluk ve cihazlar arasındaki performans

farklılıklarının iyi anlaşılması gerekmektedir. Güncel teknolojik gelişmeler dikkate alındığında, intraoral tarayıcıların gelecekte daha entegre ve çok yönlü dijital sistemlerle uyumlu hâle gelerek dijital diş hekimliğinin temel bileşenlerinden biri olması öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aragón, M. L. C., Pontes, L. F., Bichara, L. M., Flores-Mir, C., & Normando, D. (2016). Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: a systematic review. *European Journal of Orthodontics*, 38(4), 429–434.
- Aydin, Z., & Yanikoğlu, N. (2022). Farklı Dijital Tarayıcılar ile Elde Edilen Ölçülerden CAD-CAM Sistemi ile Hazırlanan Zirkonya ile Güçlendirilmiş Lityum Silikat Kuronların Marjinal ve İnternal Aralıklarının Değerlendirilmesi: İn Vitro Bir Çalışma. *Türkiye Klinikleri. Dishekimligi Bilimleri Dergisi*, 28(3), 650–659.
- Bakıç, H., Kocacıklı, M., & Korkmaz, T. (2021). Diş Hekimliğinde Güncel İnteraoral Tarayıcılar. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 31(2), 289–304.
- Bashir, T. (2023). *Concept and Scope of Dental Digitization-Teleorthodontics*.
- 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.
- Bhajibhakare, D., Yeshwante, B., Baig, N., Jadhav, V., Gorde, K., & Vaidya, P. (2019). Intraoral scanner: A new era of digital dentistry. *Int J Sci Res*, 8.
- Bindl, A., Lüthy, H., & Mörmann, W. H. (2006). Strength and fracture pattern of monolithic CAD/CAM-generated posterior crowns.

Dental Materials, 22(1), 29–36.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.02.007>

- Bindl, A., & Mörmann, W. H. (2003). Clinical and SEM evaluation of all-ceramic chair-side CAD/CAM-generated partial crowns. *European Journal of Oral Sciences*, 111(2), 163–169.
- Boeddinghaus, M., Breloer, E. S., Rehmann, P., & Wöstmann, B. (2015). Accuracy of single-tooth restorations based on intraoral digital and conventional impressions in patients. *Clinical Oral Investigations*, 19(8), 2027–2034.
- Carlsson, K., Danielsson, P.-E., Lenz, R., Liljeborg, A., Majlöf, L., & Åslund, N. (1985). Three-dimensional microscopy using a confocal laser scanning microscope. *Optics Letters*, 10(2), 53–55.
- Dutton, E., Ludlow, M., Mennito, A., Kelly, A., Evans, Z., Culp, A., Kessler, R., & Renne, W. (2020). The effect different substrates have on the trueness and precision of eight different intraoral scanners. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(2), 204–218.
- Ender, A., & Mehl, A. (2013). Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 109(2), 121–128.
- Gatzemann, A. (2024). *Precision of recession measurement with digital intraoral scanners*.
- Gintaute, A., Papatriantafyllou, N., Aljehani, M., & Att, W. (2018). Accuracy of computerized and conventional impression-making

- procedures for multiple straight and tilted dental implants. *International Journal of Esthetic Dentistry*, 13(4).
- Imburgia, M., Logozzo, S., Hauschild, U., Veronesi, G., Mangano, C., & Mangano, F. G. (2017). Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*, 17(1), 92.
- Kim, R. J.-Y., Benic, G. I., & Park, J.-M. (2019). Trueness of digital intraoral impression in reproducing multiple implant position. *PloS One*, 14(11), e0222070.
- Kim, R. J.-Y., Park, J.-M., & Shim, J.-S. (2018). Accuracy of 9 intraoral scanners for complete-arch image acquisition: A qualitative and quantitative evaluation. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 120(6), 895–903.
- Kostiukova, V. V., Riakhovskii, A. N., & Ukhanov, M. M. (2014). Comparative study of intraoral 3D digital scanners for restorative dentistry. *Stomatologiia*, 93(1), 53–59.
- Logozzo, S., Franceschini, G., Kilpela, A., Governi, L., Caponi, M., & Blois, L. (2011). A comparative analysis of intraoral 3D digital scanners for restorative dentistry. *Internet Journal of Medical Technology*, 5, 0.
- 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.

- Luqmani, S., Jones, A., Andiappan, M., & Cobourne, M. T. (2020). A comparison of conventional vs automated digital Peer Assessment Rating scoring using the Carestream 3600 scanner and CS Model+ software system: A randomized controlled trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 157(2), 148–155.
- Mangano, F. G., Hauschild, U., Veronesi, G., Imburgia, M., Mangano, C., & Admakin, O. (2019). Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*, 19(1), 101.
- Mangano, F. G., Veronesi, G., Hauschild, U., Mijiritsky, E., & Mangano, C. (2016). Trueness and precision of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *PLoS One*, 11(9), e0163107.
- Martin, C. B., Chalmers, E. V, McIntyre, G. T., Cochrane, H., & Mossey, P. A. (2015). Orthodontic scanners: what's available? *Journal of Orthodontics*, 42(2), 136–143.
- Medina-Sotomayor, P., Pascual-Moscardo, A., & Camps, I. (2019). Accuracy of 4 digital scanning systems on prepared teeth digitally isolated from a complete dental arch. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 121(5), 811–820.
- Moörmann, W. H. (2006). The evolution of the CEREC system. *The Journal of the American Dental Association*, 137, 7S-13S.
- Mörmann, W. H., Brandestini, M., & Lutz, F. (1987). The Cerec system: computer-assisted preparation of direct ceramic inlays in

- 1 setting. *Die Quintessenz*, 38(3), 457–470.
- Nedelcu, R., Olsson, P., Nyström, I., & Thor, A. (2018). Finish line distinctness and accuracy in 7 intraoral scanners versus conventional impression: an in vitro descriptive comparison. *BMC Oral Health*, 18(1), 27.
- Oy, P. (2019). Accurate intraoral scanner for chairside cad/cam. *Kaynak: <https://www.planmeca.com/Cadcam/Dental-Scanning/Planmeca-Planscan/Technical-Specifications>*.
- Patzelt, S. B. M., Emmanouilidi, A., Stampf, S., Strub, J. R., & Att, W. (2014). Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clinical Oral Investigations*, 18(6), 1687–1694.
- Prudente, M. S., Davi, L. R., Nabbout, K. O., Prado, C. J., Pereira, L. M., Zancopé, K., & Neves, F. D. (2018). Influence of scanner, powder application, and adjustments on CAD-CAM crown misfit. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(3), 377–383.
- Punj, A., Bompolaki, D., & Garaicoa, J. (2017). Dental impression materials and techniques. *Dental Clinics*, 61(4), 779–796.
- Shembesh, M., Ali, A., Finkelman, M., Weber, H., & Zandparsa, R. (2017). An in vitro comparison of the marginal adaptation accuracy of CAD/CAM restorations using different impression systems. *Journal of Prosthodontics*, 26(7), 581–586.
- Strub, J. R., Rekow, E. D., & Witkowski, S. (2006). Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities. *The Journal of the American Dental Association*, 137(1), 10–17.

Association, 137(9), 1289–1296.

- Syrek, A., Reich, G., Ranftl, D., Klein, C., Cerny, B., & Brodesser, J. (2010). Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *Journal of Dentistry*, 38(7), 553–559.
- Taneva, E., Kusnoto, B., & Evans, C. A. (2015). 3D scanning, imaging, and printing in orthodontics. *Issues in Contemporary Orthodontics*, 148(5), 862–867.
- Van der Meer, W. J., Andriessen, F. S., Wismeijer, D., & Ren, Y. (2012). *Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology*.
- Wu, Q., Bin, H. U. I., Gong, X., Li, J., & Jianpang, Z. (2015). *Intra-oral scanner for digital impression and real-time reconstruction system for inner surface topographic image of oral cavity*. Google Patents.
- Zimmermann, M., Mehl, A., Mörmann, W. H., & Reich, S. (2015). Intraoral scanning systems-a current overview. *International Journal of Computerized Dentistry*, 18(2), 101–129.

BÖLÜM 3

DİŞ HEKİMLİĞİNDE ULTRASONOGRAFİ: TEMEL PRENSİPLERDEN KLİNİK UYGULAMALARA VE GELECEĞE

Arş. Gör. Dt. Mustafa Çağdaş ÖÇAL

Dr. Öğr. Üyesi Sümeyye COŞGUN BAYBARS

GİRİŞ

Ultrasonografi (USG), tıpta yaygın biçimde kullanılan, iyonize radyasyon içermeyen non-invaziv bir görüntüleme yöntemidir. Yüksek frekanslı ses dalgalarının doku arayüzlerinden yansımaları prensibine dayanan bu teknik, kadın doğum, kardiyoloji ve genel cerrahi olmak üzere birçok tıbbi disiplinde yıllardır güvenle kullanılmaktadır (Wakasugi-Sato et al., 2010). Ancak dental alanda, özellikle de ağız içi uygulamalarda kullanımı nispeten yenidir ve son yıllarda hızla artan bir akademik ve klinik ilgi görmektedir (Caglayan et al., 2018; Sharma et al., 2021).

Dış hekimliğinde görüntüleme, tanı ve tedavi planlamasının temel taşlarından biridir. Radyografik yöntemler özellikle periapikal, panoramik ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) kemik yapıların değerlendirilmesinde standart araçlardır. Ancak bu teknikler yumuşak dokular hakkında sınırlı bilgi verir ve radyasyon maruziyeti içerir (Fuglsig et al., 2024). Ultrasonografi ise hem yumuşak dokuları hem de kemik yüzeylerini değerlendirebilmesiyle bu boşluğu

dolduracak potansiyele sahiptir. Ayrıca taşınabilir olması sayesinde hastalarda anında uygulama yapılabilmesi, bu yöntemi diş hekimliğinde cazip hale getirmektedir (Fan et al., 2021; Figueredo et al., 2021).

Ultrason teknolojisinin diş hekimliğine entegrasyonunun ilk örnekleri 1970'li yıllara dayansa da, ağız içi yumuşak dokulara yönelik yüksek frekanslı problemlerin geliştirilmesi ve çözünürlüğün artmasıyla birlikte, bu yöntem son beş yılda daha geniş bir kabul görmeye başlamıştır (Marotti et al., 2013). Özellikle periodontal hastalıkların değerlendirilmesi, peri-implant doku analizi, temporomandibular eklem (TME) incelemeleri, tükürük bezi patolojileri ve intraoral kitlelerin tanısı gibi alanlarda ultrasonografi giderek artan oranda kullanılmaktadır (Ramseier et al., 2024; Elbarbary et al., 2022; Reda et al., 2021).

Periodontal muayenede klasik olarak periodontal sonda ile cep derinliği ölçülürken, bu ölçüm kişiye ve uygulayıcıya bağlı değişkenlik gösterebilir. Ultrason ise gingival marjin, sement-emaye birleşimi ve alveol kret seviyesini doğrudan görüntüleyerek objektif ve tekrar edilebilir ölçümler sunar (de Magalhães et al., 2025). Benzer şekilde, implant çevresi yumuşak dokuların kalınlığı, keratinize doku genişliği ve peri-implantitis bulguları da radyasyonsuz olarak değerlendirilebilir (Palaskar et al., 2015). Bu durum, hem klinik uygulamalarda hem de tedavi sonrası izlemlerde ultrasonun güvenli ve etkili bir alternatif olabileceğini göstermektedir (Elbarbary et al., 2022).

Ayrıca, ultrasonun düşük maliyetli, kolay erişilebilir ve gerçek zamanlı görüntü sağlayabilen bir yöntem olması; özellikle pediatrik

hastalar, hamileler ve sık takip gerektiren olgularda ciddi bir avantaj sunmaktadır (Jawli et al., 2024). Yapay zeka destekli algoritmaların da bu alana entegrasyonu, otomatik doku sınıflandırmaları ve klinik karar destek sistemlerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (Reda et al., 2021).

Bu kitap bölümü, diş hekimliğinde ultrasonografinin teknik temellerini, klinik kullanım alanlarını ve gelecekteki potansiyelini güncel bilimsel literatür ışığında tartışmayı amaçlamaktadır.

Ultrason Dalgalarının Temel Fiziksel Prensipleri

Ultrason cihazları, piezoelektrik kristallerin elektriksel uyarım sonucu yüksek frekanslı ses dalgaları (genellikle 2-50 MHz) üretmesi ve bu dalgaların doku arayüzlerinden yansıyarak geri toplanması esasına göre çalışır. Bu yansıyan ses dalgaları, cihaz içinde dijital sinyallere çevrilir ve görüntüye dönüştürülür. Dalgaların dokuya nüfuzu ve geri dönüş süreleri, hedef dokuların akustik empedanslarına göre değişir. Ağız içi yapılar için 20–40 MHz gibi daha yüksek frekanslar tercih edilir çünkü bu aralıkta doku çözünürlüğü artarken penetrasyon derinliği azalır (Figueredo et al., 2024; Reda et al., 2021). Bu sayede periodontal bağ dokusu, gingival marjin, sement-emaye birleşimi (CEJ) gibi mikrometrik yapıların hassasiyeti artmış bir şekilde görüntülenmesi mümkün hâle gelmiştir (Renaud et al., 2023).

Transdüser Tipleri ve Dental Uygulamalara Uyum

Diş hekimliğinde ultrason uygulamaları için geliştirilen transdüserler genellikle lineer formdadır ve ağız içi uygulamalarda kolaylık sağlaması için kompakt boyutta üretilmiştir. Özellikle "hockey-stick" tipi minyatür probalar, anterior bölgelerde ve çocuk hastalarda daha kolay pozisyonlandırma imkânı sunar. Bazı cihazlarda probalar steril kılıflarla kullanılabilir ve bu da enfeksiyon kontrolü açısından avantaj sağlar (Fan et al., 2023).

Klinik çalışmalarda, bu tür transdüserlerle alınan görüntülerde periodontal ligament, gingival yumuşak doku kalınlığı, alveol kret seviyesi ve peri-implant mukozanın sınırları başarılı şekilde ortaya konmuştur (Elbarbary et al., 2022; Jawli et al., 2024).

Ultrason Modları: Görüntüleme Yöntemleri

Ultrason cihazları farklı görüntüleme modlarında çalışabilir:

- **B-Mod (Brightness mode):** En yaygın kullanılan moddur. Doku sınırları gri olarak görüntülenir ve periodontal ölçümlerde sıklıkla tercih edilir (de Magalhães et al., 2025).
- **M-Mod (Motion mode):** Hareketli yapıların zaman içinde görüntülenmesini sağlar. TME değerlendirmelerinde önemlidir (de Magalhães et al., 2025).
- **Doppler Mod:** Doku içindeki kan akımını değerlendirmeye yöneliktir. Gingival inflamasyon, vaskülarite ve rejeneratif tedavi

sonrası hemodinamik değişikliklerin izlenmesinde kullanılır. Renkli Doppler ve Power Doppler gibi versiyonları, vasküler yapılar da kan akımının yönünü ve yoğunluğunu gösterir (Renaud et al., 2023). Doppler ultrasonografi ile yapılan bazı çalış malar, periodontal enflamasyonun vasküler değişiklikleri üzerinden değerlendirilmesine olanak tanımıştır. Özellikle Renkli Doppler ile kan akımında artış, inflamasyonun bir göstergesi olarak raporlanmıştır (Elbarbary et al., 2022).

Görüntü Kalitesini Etkileyen Teknik ve Klinik Faktörler

Dental uygulamalarda görüntü kalitesi; transdüser frekansı, ses dalgalarının dokuya giriş açısı, temas jeli kalitesi, tükürük miktarı ve hastanın hareketi gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Ağız içi alanın sınırlı olması, dil ve dudak gibi mobil dokuların engel oluşt urması nedeniyle görüntü elde etme süreci deneyim ve özen gerektirir. Yine de güncel sistemlerde otomatik görüntü optimizasyonu ve sabit transdüser tutucular ile bu zorluklar aşılabilmektedir (Jawli et al., 2024; Nava et al., 2025).

Bazı çalış malarda, sabit transdüser pozisyonlandırıcılar kullanılarak gingival kalınlık ölçümünde yüksek tekrarlanabilirlik oranları elde edilmiştir. Bu, ultrasonun özellikle objektif takiplerde değerli bir yöntem olabileceğini göstermektedir (Reda et al., 2021).

Yapay Zeka Destekli Ultrason Uygulamaları

Son yıllarda gelişen yapay zeka (AI) tabanlı algoritmalar, ultrason görüntülerinin analizinde yeni bir dönemi başlatmıştır. Görüntü segmentasyonu, sınır belirleme, otomatik ölçüm ve patoloji tanımlama gibi görevlerde derin öğrenme sistemlerinin oldukça başarılı olduğu gösterilmiştir (Renaud et al., 2023). Dental alanda da CEJ, gingival marjin ve alveol kret noktalarının otomatik olarak tanımlanması için AI destekli yazılımlar geliştirilmektedir. Bu sistemler sayesinde, görüntüleme süreçlerinin operatöre bağlılığı azalmakta ve klinik karar destek sistemleri geliştirilebilmektedir (Qi et al., 2023). Bazı yayınlarda, AI sistemleriyle insan operatörlerin ölçüm uyumunun benzer seviyede olduğu ve ölçümlerin doğruluğunu artırdığı vurgulanmıştır (Renaud et al., 2023).

Ultrasonografi Rehberliğinde Yapılan Girişimler

Ultrasonografi, yalnızca tanısal amaçlarla değil; aynı zamanda çeşitli girişimsel işlemlerde de aktif biçimde kullanılan, dinamik bir görüntüleme yöntemidir. Son yıllarda diş hekimliğinde minimal invazivlik ve hasta konforunu artırmak adına ultrason rehberliğinde gerçekleştirilen işlemler giderek artmaktadır. Bu teknik, girişimlerin doğruluğunu artırmakla kalmaz, aynı zamanda komplikasyon oranlarını da belirgin biçimde azaltır (Sharma et al., 2014).

- **İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi (FNAB):** Ultrasonografi eşliğinde yapılan ince iğne aspirasyon biyopsisi (FNAB), baş-

boyun bölgesinde, özellikle intraoral veya derin submukozal lezyonlarda oldukça etkin bir tanı yöntemidir. Palpasyonla saptanması zor olan lezyonlar, yüksek çözünürlüklü ultrason cihazlarıyla hassas biçimde lokalize edilebilir. Böylece iğnenin lezyonun solid kısmına yönlendirilmesi sağlanarak tanısal doğruluk artar (Renaud et al., 2023; Qi et al., 2023).

Doppler USG'nin yardımıyla vasküler yapılardan kaçınılarak kanama komplikasyonu riski azaltılır. FNAB, benign ve malign tümör ayrımında, özellikle yüksek morbiditeli açık biyopsilere kıyasla düşük riskli ve tekrarlanabilir bir alternatif sunar (Nava et al., 2025).

• **Kist ve Abse Aspirasyonu:** Kistik lezyonlar ve dental apseler, ultrason yardımıyla kolaylıkla tanımlanabilir. Bu sayede intraoral veya ekstraoral yerleşimli kistlerin boşaltılması, içeriğin analizi ve drenajı mümkün hale gelir. Özellikle submandibular, parotis veya pterigomaksiller bölgede yer alan lezyonlarda ultrasonografi, cerrahi müdahaleyi minimal düzeye indirir (Betancourt et al., 2024).

Reaktif lenfadenopatiler, epidermoid kistler veya ranulalarda, ultrason eşliğinde yapılan aspirasyon işlemleri ile tedavi süreci kısaltılır. Ayrıca işlem sonrası kontrol değerlendirmeleri yine ultrason ile kolayca yapılabilir (Jawli et al., 2024).

• **Enjeksiyon Uygulamaları:** TME enjeksiyonları, botulinum toksin uygulamaları veya kortikosteroid infiltrasyonlarında

ultrason rehberliği hem güvenliği hem de etkinliği artırır. Özellikle sinovial boşluğa doğru enjeksiyonların başarı oranı, kr uygulamalara kıyasla anlamlı düzeyde yüksektir (Hayashi et al., 2012).

Sklerozan tedaviler, ganglion kistlerine veya tükürük fistllerine yönelik uygulamalarda da ultrason, enjeksiyonun doğru dokuya yönlendirilmesini sağlar. Klinik takipte de enjeksiyon sonrası etkinin değerlendirilmesine olanak sunar (Quarato et al., 2023).

• **Drenaj ve Girişimsel Takip:** İleri evre periodontal apseler, derin dokularda sınırlı yayılım gösteren enfeksiyonlar veya travmatik hematomlar gibi durumlarda ultrason eşliğinde yapılan drenaj işlemleri, klasik yöntemlerden daha az invazivdir. Ayrıca dren yerleşimi ve drenajın etkinliği anlık olarak gözlenebilir (Chan et al., 2020). Postoperatif demlerin boyutunun takibi, nekroz alanlarının değerlendirilmesi ve inflamatuvar sürecin dinamik izlenimi de ultrason ile yapılabilir. Bu takipte hem gri skala hem de Renkli Doppler modlar etkili biçimde kullanılır (Renaud et al., 2023).

Ultrasonografinin Klinik Uygulamalardaki Yeri

Periodontal Değerlendirmelerde Ultrasonografinin Yeri

Periodontal hastalıkların tanı, takip ve tedavi planlamasında doğru ve ayrıntılı doku değerlendirmesi oldukça önemlidir. Geleneksel

yöntemler arasında periodontal sondalama, periapikal radyografiler ve panoramik görüntüleme yer alır. Ancak bu yöntemler invaziv olabilmekte veya radyasyon içermektedir. Ultrasonografi (USG), son yıllarda özellikle yumuşak doku kalınlığı ölçümü, periodontal cep derinliği tahmini ve enflamasyonun değerlendirilmesi açısından umut verici bir araç olarak öne çıkmaktadır (Betancourt et al., 2024; Poul et al., 2024).

- **Periodontal Yumuşak Doku Kalınlığı Ölçümü:** Yüksek frekanslı lineer ultrason probları (≥ 15 MHz), dişeti ve mukogingival birleşim gibi yumuşak dokuların kalınlığını yüksek doğrulukla ölçebilmektedir. Ultrasonografi ile ölçülen yumuşak doku kalınlıkları, histolojik ve invaziv ölçümlerle karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı uyum göstermektedir (Ghorayeb et al., 2008). Özellikle estetik bölgelerde yapılan mukogingival cerrahiler öncesi planlama sürecinde bu ölçümler büyük değer taşır.

- **Periodontal Cep ve Alveolar Kemik Yüksekliğinin Tahmini:** Yumuşak doku sınırlarıyla birlikte kemik konturlarını da değerlendirebilen gelişmiş ultrason sistemleri, periodontal cep derinliği ve kemik rezorpsiyonu hakkında bilgi verebilir. Örneğin, USG ile kemik yüzeyine olan mesafeyi belirlemek ve bu mesafenin dişeti yüzeyiyle ilişkisini değerlendirmek mümkündür (Poul et al., 2025). Bu değerlendirme özellikle kemik desteği sınırlı olan bölgelerde prognoz tayininde kullanılabilir.

- **Periodontal Enflamasyonun Ultrasonografik Göstergeleri:**

Enflamasyon varlığında periodontal dokularda vaskülerite artışı, doku kalınlığında artış ve eko yapısında değişiklikler meydana gelir. Doppler ultrasonografi, artmış kan akımını ve vasküler yoğunluğu saptamada faydalıdır (Elbarbary et al., 2022). Ayrıca elastografi uygulamaları ile doku sertliği ölçülebilir; bu da enflamatuvar sürecin derecesi hakkında bilgi verebilir (Quarato et al., 2023). Ligatür-indüklenmiş hayvan modellerinde yapılan çalışmalarda, USG ile enflamatuvar süreçler dinamik olarak izlenmiştir (Fu et al., 2025).

- **Tedavi Sonrası İyileşmenin Takibi:** Periodontal tedavi sonrası

USG ile yapılan değerlendirmelerde, dişeti kalınlığında azalma, cep derinliğinde gerileme ve kan akımı yoğunluğunda düşüş gibi bulgular, tedaviye olumlu yanıtın göstergesi olarak izlenebilir. Bu izlem, radyasyon içermemesi ve sık aralıklarla uygulanabilmesi açısından avantajlıdır (Jawli et al., 2024).

Peri-İmplant Doku Değerlendirmelerinde Ultrasonografinin Kullanımı

Dental implantolojide tedavi başarısını etkileyen en önemli faktörlerden biri, peri-implant yumuşak ve sert dokuların sağlıklı olmasıdır. Bu yapıların değerlendirilmesinde geleneksel yöntemler olan klinik probing ve radyografi sınırlı bilgi sunabilir. Son yıllarda ultrasonografi (USG), peri-implant doku analizi için umut vadeden bir

görüntüleme yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır (de Magalhães et al., 2025; Renaud et al., 2023).

- **Peri-İmplant Mukozanın Değerlendirilmesi:** Yüksek frekanslı ultrason probu (≥ 15 MHz), peri-implant mukozanın kalınlığını ölçmede yüksek doğruluk sağlamaktadır. Bu ölçüm, yumuşak doku profilini değerlendirmek, estetik planlama yapmak ve mukozal kalınlığın implant prognozu üzerindeki etkilerini araştırmak için önemlidir (Elbarbary et al., 2022). 2D ve 3D ultrason teknikleriyle yapılan çalışmalarda, mukozal kalınlık ile kemik kaybı arasında anlamlı ilişkiler saptanmıştır (Tanaka et al., 2023). Ayrıca peri-implant yumuşak doku değerlendirmelerinde lineer ve konveks problemlerin karşılaştırmalı kullanımı da doğruluğu artırmaktadır (Betancourt et al., 2023).

- **Peri-İmplantitis Tanısında Ultrason:** Peri-implantitis, kemik kaybı ile karakterize enflamatuar bir durumdur. USG yardımıyla implant çevresindeki yumuşak doku inflamasyonu, sıvı birikimi, vaskülarite artışı ve kemik konturu değerlendirmesi yapılabilir. doppler modunda yapılan incelemelerde, iltihabi durumlarda vasküler akımın belirgin arttığı gözlenmiştir (Quarato et al., 2023; Poul et al., 2025). Elastografi kullanımı ile dokunun sertliğindeki değişiklikler de değerlendirilebilir. Ayrıca bazı çalışmalar, peri-implantitis bölgelerinde USG'nin, konvansiyonel radyografi ve klinik muayene bulgularına göre daha erken ve hassas değişimleri tespit ettiğini göstermiştir (Sharma et al., 2014).

- **Sert Doku ve Kemik Desteğinin Değerlendirilmesi:**

Ultrasonografi ile peri-implant kortikal kemik sınırları izlenebilir ve kemik kaybının derinliği ölçülebilir. Fotoakustik görüntüleme, hem yumuşak hem sert dokuların yüksek çözünürlükle görüntülenmesine olanak tanımaktadır (Nava et al., 2025). Bunun yanı sıra peri-implant kemik seviyeleri hakkında bilgi veren lineer ölçümler ile radyografik değerlendirmelere paralel sonuçlar elde edilmiştir (Fan et al., 2023).

- **Ultrason Rehberliğinde Tedavi Takibi:** Peri-implant yumuşak doku kalınlığında tedavi sonrası değişimlerin izlenmesi, USG ile kolaylıkla yapılabilir. Medikal veya cerrahi tedavi sonrası peri-implant dokulardaki inflamasyon düzeylerinin azalması, doppler ve elastografi ile belgelenebilir (Betancourt et al., 2024). Bu yöntem, özellikle peri-implant rejeneratif tedavi uygulamalarının etkinliğinin kısa vadede değerlendirilmesinde büyük avantaj sağlar. Ayrıca kontrol seanslarında radyasyon içermeyen bir izlem yöntemi sunar.

Tükürük Bezi Patolojileri Ve Sialolitiaziste Ultrasonografik Değerlendirme

Tükürük bezleri, ağız sağlığı ve sindirim süreci için kritik öneme sahip yapılardır. Bu bezlerde görülen patolojilerin doğru teşhis ve yönetimi, hasta konforu ve sistemik sağlık açısından hayati olabilir. Ultrasonografi, özellikle yüzeysel büyük tükürük bezlerinin (parotis,

submandibular) değerlendirilmesinde birinci basamak görüntüleme yöntemi olarak kabul edilmektedir (Çağlayan et al., 2021). Yüksek çözünürlüklü lineer transdüserlerle yapılan ultrasonografik değerlendirme, glandüler yapıların morfolojik değişimlerini, kitle lezyonlarını, inflamasyon bulgularını ve taş oluşumlarını başarıyla ortaya koyabilir (de Magalhães et al., 2025).

- **Tükürük Bezi Anatomisinin Ultrason ile Görüntülenmesi:**

USG ile parotis ve submandibular bezlerin iç yapısı, ekojenitesi ve bez sınırları oldukça net biçimde değerlendirilebilir. Submandibular bez genellikle izoekojen ve homojen bir yapıya sahiptir. Duktal sistemin (Wharton ve Stenon kanalları) genişliği, taş varlığı ve drenaj yapısı da USG ile görüntülenebilir (Elbarbary et al., 2022).

- **Sialolitiazis (Tükürük Bezi Taşı) Tanısı:**

Sialolitiazis, özellikle submandibular bezde yaygın olarak gözlenen, duktal sistemde mineralize taşların birikimi ile karakterize bir durumdur. USG ile bu taşlar hiperekoik yapılar olarak izlenir ve arkasında akustik gölge oluştururlar (Renaud et al., 2023). Çalışmalar, USG'nin sialolit tanısında %90'a varan sensitiviteye sahip olduğunu göstermektedir (Sengupta et al., 2016). Ayrıca taşın lokalizasyonu ve boyutu kolayca belirlenebilir, böylece minimal invaziv cerrahi yaklaşımlar planlanabilir.

- **Tükürük Bezi Enfeksiyonları ve Enflamatuvar Durumlar:**

Sialadenit (tükürük bezi enfeksiyonu) akut veya kronik olabilir.

Akut durumlarda bezde genel büyüme, hipoekoik odaklar ve artmış kanlanma izlenebilir. Doppler USG, inflamasyona bağlı vaskülarite artışını değerlendirmede büyük avantaj sağlar (Jawli et al., 2023). Kronik sialadenitlerde ise bezde fibrotik değişimler, düzensiz sınırlar ve düşük ekojenite dikkat çeker (Nava et al., 2025).

• **Neoplastik Lezyonların Değerlendirilmesi:** Tükürük bezinde yer alan benign veya malign tümörlerin değerlendirilmesinde USG oldukça değerlidir. Pleomorfik adenomlar genellikle homojen, düzgün sınırlı ve hipoekoik yapılar olarak izlenirken; malign lezyonlar heterojen, düzensiz sınırlı ve artmış vaskülariteye sahip olabilir (Chan et al., 2020). Elastografi gibi ileri ultrason teknikleri, lezyon sertliğini değerlendirerek benign-malign ayrımı için ek bilgi sunar (Quarato et al., 2023).

• **USG Rehberliğinde Müdahaleler:** Tükürük bezi kitlelerinin değerlendirilmesinde USG rehberliğinde yapılan ince iğne aspirasyon biyopsisi (FNAB), tanısal doğruluğu artırmaktadır. Özellikle şüpheli nodüller veya derin yerleşimli lezyonlarda minimal invaziv bir yaklaşım olarak tercih edilir. Bu yöntemle lezyonun yeri net olarak saptanabilir ve iğne yönlendirilebilir (Caglayan et al., 2018; Alhazmi et al., 2025).

• **Sınırlılıklar ve Gelecek Vaat Eden Uygulamalar:** Her ne kadar yüzeysel tükürük bezlerinin değerlendirilmesinde etkin olsa da, USG'nin küçük tükürük bezleri (örneğin minör bezler) ve

derin parotis lobu gibi yapıların incelenmesinde sınırlamaları vardır. Bu durumda MR sialografi veya BT gerekebilir (Cloutier et al., 2021). Bununla birlikte, son yıllarda geliştirilen kontrastlı USG (CEUS) ve shear-wave elastografi gibi teknikler sayesinde, lezyonların karakterizasyonunda daha yüksek doğruluk sağlanmaktadır (Fu et al., 2025).

Temporomandibular Eklem (TME) Hastalıklarında Ultrasonografi

Temporomandibular eklem (TME) disfonksiyonları diş hekimliği pratiğinde sıklıkla karşılaşılan problemlerdendir. TME hastalıklarının tanısında fizik muayene, panoramik radyografi, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve bilgisayarlı tomografi (BT) gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler ya radyasyon içerir ya da oldukça maliyetli ve erişimi sınırlıdır. Son yıllarda yüksek frekanslı ultrasonografi (USG), TME değerlendirmelerinde non-invaziv, dinamik ve ekonomik bir alternatif olarak öne çıkmıştır (Qi et al., 2023).

Ultrasonografi ile TME'nin yumuşak dokuları (disk, kapsül, retrodiskal bölge) ve eklem aralığı görüntülenebilir. Lineer yüksek frekanslı prob (7–15 MHz), transvers ve longitudinal düzlemde uygulandığında mandibular kondil ve temporal kemiğin konturları net bir şekilde izlenebilir. Diskin pozisyonu, kalınlığı, hareketi ve yer

değiştirmeleri değerlendirilebilir (Chan et al., 2020; Sengupta et al., 2016).

- **TME Disfonksiyonlarında Ultrasonografi Kullanımı:** TME disfonksiyonlarının en yaygın formları disk dislokasyonları, kondil hareket kısıtlılıkları ve eklem içi sıvı artışıdır. Ultrasonografi (USG) ile temporomandibular eklemdede diskin anterior, lateral veya medial yöndeki yer değişimleri görüntülenebilir. Dinamik ultrason kullanılarak, ağız açma ve kapama sırasında diskin konumundaki değişiklikler takip edilebilir. Ayrıca, eklem aralığında sıvı birikimi (efüzyon) hipoekoik alanlar olarak izlenebilirken, kapsüler kalınlaşma ile retrodiskal bölgedeki ödem ve inflamatuvar değişiklikler de saptanabilmektedir (Renaud et al., 2023; Nava et al., 2025). Literatürde, USG'nin diskin konumunu belirlemede manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile %80'in üzerinde korelasyon gösterdiği bildirilmiştir (Betancourt et al., 2023).

- **Travmatik ve Dejeneratif TME Hastalıklarında USG:** Kondil fraktürleri, özellikle subkondiler bölgede USG ile değerlendirilebilir. Osteoartrit, eklem yüzeyindeki düzensizlikler ve osteofit oluşumlarıyla karakterizedir; USG ile bu yapısal değişiklikler tespit edilebilir. Juvenil idiopatik artrit gibi sistemik hastalıklara bağlı TME tutulumlarında, erken dönemde sinovyal hipertrofi ve efüzyon tespiti mümkündür (Marotti et al., 2013; Ozturk et al., 2018; Renaud et al., 2023).

- **Doppler ve Elastografi Uygulamaları:** Doppler USG, TME çevresindeki vaskülariteyi değerlendirmeye yardımcı olur. İnflamatuvar durumlarda artmış kan akımı izlenebilir (Maranini et al., 2022). Elastografi, TME çevresi yumuşak dokuların sertlik analizini sunar. Ağrılı bölgelerdeki dokuların rijiditesi bu teknikle değerlendirilebilir (Poul et al. 2025).

- **Tedavi Takibi ve Rehabilitasyon:** Fizik tedavi, splint uygulamaları ve ilaç tedavisi sonrası TME'deki yapısal ve fonksiyonel değişimler USG ile izlenebilir. Klinik bulgularla birlikte dinamik ultrason bulguları, tedaviye yanıtın objektif değerlendirmesini mümkün kılar. Böylece hastanın takip protokolü optimize edilebilir (Cloutier et al., 2021).

- **Ultrasonografinin TME'deki Sınırlılıkları:** Diskin tam konumunun değerlendirilmesinde MRG'ye göre sınırlı çözünürlük sunabilir. Derin yapılardaki görüntüleme kalitesi operatör bağımlıdır. Bu nedenle, USG'nin özellikle ilk basamak değerlendirme aracı olarak kullanılması önerilmekte, gerekli durumlarda MRG ile tamamlayıcı inceleme yapılması tavsiye edilmektedir (Thapar et al., 2025).

Ağız İçi Yumuşak Doku Lezyonlarının Ultrasonografi İle Değerlendirilmesi

Ağız içi yumuşak doku lezyonları, diş hekimliğinde sık karşılaşılan klinik durumlardan biridir ve doğru tanı bu lezyonların

yönetiminde kritik öneme sahiptir. Geleneksel tanı yöntemleri arasında palpasyon, radyografi ve gerekirse biyopsi bulunmakla birlikte, ultrasonografi (USG), bu değerlendirmelere non-invaziv, hızlı ve radyasyonsuz bir alternatif sunmaktadır (Çağlayan et al., 2021). Yüksek frekanslı lineer probalar (10–20 MHz), oral mukozal ve submukozal yapıların görüntülenmesini mümkün kılar. USG ile lezyonun boyutu, şekli, içeriği, sınırları ve derinliği detaylı biçimde değerlendirilebilir. Ayrıca lezyonların çevre dokularla olan ilişkisi ve olası vaskülaritesi hakkında da bilgi sağlar (Sharma et al., 2014; Reda et al., 2021). Gelişmiş teknolojilerle donatılmış portatif ultrason cihazları, muayenehane koşullarında da rahatlıkla kullanılabilir (Betancourt et al., 2024).

Klinik Olarak Sık Karşılaşılan Lezyonlar ve Ultrason Bulguları

- **Mukosel:** Homojen, hipoekoik ve düzgün sınırlı kistik yapılar. Posterior akustik güçlenme izlenir (Fan et al., 2023).
- **Fibrom:** Solid, izoekojen yapıda, düzgün sınırlı lezyonlar (Poul et al., 2025).
- **Hemanjiyom:** Doppler USG ile vaskülarite saptanabilir, heterojen eko yapısı vardır (Renaud et al., 2023).
- **Aftöz ülser ve travmatik lezyonlar:** Yüzeyel hipoekoik inflamatuvar alanlar (Elbarbary et al., 2022).

- **Lipom:** Hiperekoik veya izoekojen, genellikle kapsüllü ve mobil yapılardır (Tavelli et al., 2025).
- **Lenfanjiyom ve dermoid kistler:** Multiloküle yapılar ve tipik sıvı seviyeleri USG ile görüntülenebilir (Fu et al., 2025).

Bu ayırıcı tanı bulguları, klinisyenlere lezyon karakterizasyonunda önemli katkı sağlar ve gereksiz biyopsi girişimlerinin önüne geçebilir (Jawli et al., 2024).

Malignite Şüphesi Taşıyan Lezyonlar

Malign lezyonlar genellikle düzensiz sınırlı, heterojen eko yapısına sahip ve iç yapılarında nekrotik alanlar barındıran formdadır. Doppler USG ile artmış vaskülarite gözlenebilir (Nava et al., 2025). Elastografi tekniği, dokuların sertliğini ölçerek malign şüpheli bölgelerin belirlenmesine katkı sağlar (Quarato et al., 2023). Bu yöntem özellikle skuamöz hücreli karsinom gibi tümörlerde kullanılmaktadır (Renaud et al., 2023).

Çocuk Diş Hekimliğinde (Pedodonti) Ultrasonografi Kullanımı

Pediyatrik hastalarda dental tanı ve tedavi planlamasında minimal invazivlik büyük önem taşır. Ultrasonografi (USG), çocuk hastalarda radyasyonsuz, ağrısız ve hızlı bir görüntüleme yöntemi sunarak özellikle yaşa özgü anatomik farklılıkların değerlendirilmesinde önemli avantajlar sağlar (Tanaka et al., 2023). USG uygulamaları, çocuğun yaşı

ve kooperasyon durumuna bağı olarak ebeveyn kucağında ya da dental koltukta gerçekleştirilebilir. Ayrıca sessiz çalışan, küçük boyutlu ve intraoral uygulamaya uygun yüksek frekanslı probalar (≥ 15 MHz) tercih edilir (Chan et al., 2020). Çocuk diş hekimliğinde ultrasonografi çeşitli amaçlarla kullanılabilir:

- **Travmatik diş yaralanmalarının değerlendirilmesi:** Dişin yer değiştirmesi, periapikal bölgede kanama, apikal dokularda ödem gibi bulgular USG ile görüntülenebilir (Qi et al., 2023).
- **Primer dişlerde kök rezorpsiyonunun izlenmesi:** Özellikle periapikal radyografilerle görüntülenmesi zor olan vakalarda USG ile kök boyunun ve çevresindeki doku durumunun değerlendirilmesi mümkün olur (Jawli et al., 2024).
- **Dentoalveoler enfeksiyonların (apse, selülit) yayılım yönünün saptanması:** Abse oluşumlarını tespit edebilir, akut servikal şişlikte selülit-flegmon ayrımı yapılabilir ve derin boyun enfeksiyonları USG ile tanınabilir ve izlenebilir (Cloutier et al., 2021; Hosokawa et al., 2023).
- **Lokelize kist ve tümörlerin takibi:** USG, tedavi öncesi ve sonrası hacim değişikliklerini non-invaziv biçimde gösterebilir (Sidhu et al., 2024).
- **Tükürük bezi anomalilerinin değerlendirilmesi:** Çocukluk çağı tükürük bezi taşları, konjenital anomaliler veya akut viral enfeksiyonlar ultrason ile ayırt edilebilir (Çağlayan et al., 2021).

- **Lenfadenopatilerin ayırıcı tanısı:** Servikal bölgede yer alan lenf nodlarının reaktif ya da malign kökenli olup olmadığı Doppler USG ve elastografi gibi gelişmiş ultrason teknikleriyle ayırt edilebilir (Nava et al., 2025).
- **Drenaj ve aspirasyon rehberliği:** Özellikle mandibular apse ve parafaringeal bölge enfeksiyonlarında drenajın hassasiyetini artırır. biyopsi gerektiren olgularda rehber olarak kullanılabilir. Özellikle çocuk hastalarda sedasyonsuz bir tanısal yaklaşım sunarak, komplikasyon riskini azaltır (Limardo et al., 2022).

Çocuklarda En Sık Görülen Lezyonların Ultrason Bulguları

- **Periapikal apse:** Hipoekoik ve kapsüllü sıvı birikimleri; çevresinde hiperemik inflamatuvar alan Doppler USG ile saptanabilir (Sharma et al., 2014).
- **Osteomyelit:** Subperiosteal sıvı birikimi, kortikal düzensizlik ve hiperekoik ödem alanları ile karakterizedir (Betancourt et al., 2023).
- **Travmatik lezyonlar:** Pulpa dokusunun ekogenitesi, kök apeksi çevresinde inflamasyon, kırık hattına ait ekojenik çizgiler USG ile gösterilebilir (Elbarbary et al., 2022).
- **Gelişimsel anomaliler ve kistik lezyonlar:** Radiküler ve dentigeröz kist gibi yapılar homojen hipoekoik içerik ve düzgün sınırlı yapı gösterir (Poul et al., 2025).

- **Lenf nodu patolojileri:** Reaktif lenf nodlarında oval, hiperekoik hilus yapısı izlenirken; malign nodlar daha yuvarlak, hipoekoik ve hilussuz izlenir (Renaud et al., 2023).

Endodontik Ve Travmatik Durumlarda Ultrasonografi Kullanımı

Endodontik tanılarda konvansiyonel radyografi, periapikal enfeksiyonları ve kök kanalı morfolojisini değerlendirmede yaygın olarak kullanılsa da, iki boyutlu olması ve radyasyon içermesi nedeniyle bazı sınırlılıklar taşır (Avcı et al., 2022). Ultrasonografi (USG), yumuşak doku bileşenlerini değerlendirmede radyasyonsuz, dinamik ve non-invaziv bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Özellikle periapikal patolojiler, travmatik diş yaralanmaları ve apikal rezorpsiyon gibi durumlarda, USG'nin etkinliği artan şekilde raporlanmaktadır (Renaud et al., 2023; Qi et al., 2023).

Periapikal Lezyonların Değerlendirilmesi

Periapikal apse, granülom veya kist gibi lezyonlar, USG ile kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Kistik yapılar hipoekoik, düzgün sınırlı ve genellikle posterior akustik güçlenme gösterirken; granüloamatöz lezyonlar ise daha heterojen ve düzensiz sınırlarla karakterizedir (Shah et al., 2014). Bu farklılıklar, özellikle tedavi planlamasında (örn. cerrahi müdahale gerekliliği) kritik önem taşır.

- **Granülom:** Hipoekoik, düzgün sınırlı, genellikle avasküler yapı.
- **Apikal kist:** Homojen hipoekoik, posterior akustik güçlenme ile tanınır.
- **Apse:** Anekoik merkezli, çevresel hiperemik alanlar; Doppler USG ile artmış vaskülarite izlenir (Betancourt et al., 2023).

Bu değerlendirme ile konvansiyonel radyografinin aksine yalnızca lezyonun varlığı değil, içeriği ve inflamasyon derecesi hakkında da bilgi edinilebilir.

Travmatik Diş Yaralanmalarında Ultrason Kullanımı

Dişlerin travmaya maruz kaldığı durumlarda USG; dişin pozisyonunun, periodontal ligament boşluğunun ve çevre yumuşak dokuların değerlendirilmesinde kullanılabilir (Jaswal et al., 2022). Apex açık olan genç daimi dişlerde, apikal kan damarları ve sinirlerin canlılığı Doppler USG ile değerlendirilebilir. Bu sayede dişin vitalitesi hakkında radyasyonsuz bilgi sağlanır (de Magalhães et al., 2025).

- **Lüksasyon (yer değiştirme):** Periodontal ligament boşluğunda genişleme ve periapikal bölgede inflamasyon.
- **Kök kırığı:** Ekojenik kırık hattı ve çevresel hipoekoik ödem alanları.

- **Alveoler fraktür:** Kortikal devamlılığının bozulduğu hiperekogen alanlarla görüntülenir (Quarato et al., 2023).

Apikal Rezorpsiyonun Değerlendirilmesi ve Ultrason Eşliğinde Endodontik Girişimler

Gelişmiş ultrason teknolojileri, endodontik tedavi sürecinde hem tanısal hem de cerrahi aşamalarda önemli katkılar sunmaktadır. Kök kanal tedavisi sonrasında, kök çevresindeki inflamasyon alanları ve apikal rezorpsiyon bölgeleri yüksek çözünürlüklü ultrason ile görüntülenebilmektedir (Jawli et al., 2024). Ayrıca, kök ucu rezeksiyonu sonrası iyileşme süreci de USG ile non-invaziv olarak takip edilebilmektedir. Bu tür değerlendirmeler için genellikle 15–20 MHz frekans aralığında çalışan yüksek çözünürlüklü lineer probler tercih edilmektedir (Elbarbary et al., 2022).

Bu doğrultuda, endodontik cerrahi işlemler sırasında da ultrasonun yönlendirici bir araç olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle apikal rezeksiyon gibi müdahalelerde, vital anatomik yapılar ile patolojik lezyonlar arasındaki mesafenin ultrason eşliğinde değerlendirilmesi cerrahi planlamayı kolaylaştırmakta ve komplikasyon riskini azaltmaktadır. Mandibular posterior bölgede mental foramen ve inferior alveolar sinir gibi kritik yapılarla olan ilişkinin hassas biçimde belirlenmesi, cerrahi güvenliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır (Chan et al., 2020).

Teknik Ve Donanımsal Gelişmeler

Diş hekimliğinde ultrasonografi teknolojisi, yalnızca mevcut görüntüleme ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp aynı zamanda daha hassas, objektif ve hasta konforunu artıran yöntemlerin geliştirilmesini de mümkün kılmaktadır.

Yüksek Frekanslı Ultrasonografi (HFUS)

Yüksek frekanslı ultrasonografi (HFUS), 10–30 MHz aralığında çalışan problarla yüzeysel dokuların yüksek çözünürlüklü görüntülenmesini sağlar. Geleneksel ultrasonografiye göre daha iyi doku ayrımı yapılabilmesi, özellikle periodontal ligament, gingiva ve peri-implant yumuşak dokular gibi yüzeysel yapılar için büyük avantaj sunmaktadır (de Magalhães et al., 2025).

HFUS ile dişeti kalınlığı, bukkal kemik yüksekliği ve peri-implant yumuşak doku biyotipleri değerlendirilebilir (Renaud et al., 2023). Yapılan çalışmalar, HFUS kullanımının periodontal değerlendirmelerde proba ölçüm kadar güvenilir sonuçlar verdiğini ve biyopsi gereksinimini azaltabildiğini göstermektedir (Shah et al., 2014). Ayrıca HFUS ile elde edilen görüntülerin dijital arşivlenmesi ve zamana bağlı karşılaştırma yapılabilmesi, tedavi takibi açısından önem taşımaktadır (Qi et al., 2023).

Doppler Ultrasonografi

Doppler ultrasonografi, dokular içerisindeki kan akımının yönü ve şiddetini değerlendiren bir tekniktir. Gingival inflamasyon, periapikal enfeksiyon ve tümöral vaskülaritenin tespitinde kullanılır. Renkli Doppler, özellikle hiperemik bölgelerdeki artmış kanlanmayı göstererek akut-persistan enfeksiyonların ayırt edilmesine yardımcı olur (Jawli et al., 2024; Nava et al., 2025).

Periapikal inflamasyonlu dişlerde Doppler ile apex bölgesinde belirgin vaskülarite gözlenirken, vitalitesi kaybolmuş dişlerde kan akımı izlenemez. Bu durum, vitalite değerlendirmesi için alternatif bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Quarato et al., 2023). Ayrıca peri-implantitis olgularında, yumuşak dokudaki artmış vaskülarite Doppler USG ile gösterilerek erken teşhis yapılabilir (Fan et al., 2023; Reda et al., 2021).

Speckle Tracking ve Elastografi

Speckle tracking, ultrason sinyalindeki sabit nokta desenlerinin izlenmesine dayalı olarak doku deformasyonlarını ölçen bir tekniktir. Bu teknoloji ile doku hareketleri ve iç gerilimler objektif olarak analiz edilebilir (Cloutier et al., 2021).

Elastografi ise dokuların sertlik özelliklerini ölçerek malign-benign ayrımı yapılmasında kullanılır. Elastikiyeti düşük (sert) lezyonlar genellikle malign karakter gösterirken, yüksek elastikiyetli (yumuşak) lezyonlar benign yapıdadır. Diş hekimliğinde submukozal lezyonların karakterizasyonu, ağız tabanı veya yanak mukozasında

yerleşmiş tümörlerin değerlendirilmesinde elastografinin tanı değeri giderek artmaktadır (Sengupta et al., 2016).

Elastografi, özellikle oral skuamöz hücreli karsinom gibi agresif tümörlerin ayırıcı tanısında, geleneksel B-mod görüntülemeye göre daha yüksek tanısal doğruluk sunmaktadır (Poul et al., 2024). Aynı zamanda, tedavi sonrası doku rejenerasyonunun izlenmesinde de kullanılabilir.

Üç Boyutlu (3D) Ultrasonografi

3D ultrasonografi ile hacimsel veri setleri oluşturularak doku morfolojisinin daha ayrıntılı şekilde değerlendirilmesi sağlanır. Periodontal cep hacmi, dişeti retraksiyonu, implant çevresi kemik hacmi gibi ölçümler 3D USG ile daha güvenilir hale gelmektedir (Palaskar et al., 2015).

Üç boyutlu veriler, yazılımlar aracılığıyla rekonstrükte edilerek klinisyene daha zengin anatomik bilgi sunar. Özellikle cerrahi planlamalarda (implant yerleşimi, flep tasarımı) kullanılabilir, tedavi öncesi ve sonrası karşılaştırmalara olanak sağlamaktadır (Betancourt et al., 2024; Chan et al., 2020).

Yapay Zeka ve Otomatik Görüntü Analizi

Yapay zeka (YZ), diş hekimliği ultrasonografisinde son yıllarda hızlı gelişim göstermektedir. Derin öğrenme tabanlı algoritmalar, USG

görüntülerinin analizinde klinisyenin karar sürecini desteklemek amacıyla geliştirilmiştir. Otomatik segmentasyon, yapı sınıflandırması ve doku kalınlığı ölçümü gibi işlemler, algoritmalar yardımıyla hızlı ve tutarlı biçimde gerçekleştirilebilmektedir (Poul et al., 2025).

Periodontal doku sınıflandırmaları, lezyon ayrımları ve implant çevresi kemik değerlendirmeleri YZ ile yüksek doğruluk oranlarında yapılabilmektedir. Ayrıca elastografi verileri ile kombine edilen YZ algoritmaları, malignite riskini objektif kriterlerle analiz ederek tanısal güvenilirliği artırmaktadır (Jawli et al., 2024; Tavelli et al., 2025).

Yapay zeka tabanlı sistemler henüz rutin klinik kullanıma girmemiş olsa da pilot çalışmalarda umut vaat eden sonuçlar elde edilmiştir. Bu sistemlerin gelecekte mobil ultrason cihazlarıyla entegre edilerek klinik karar destek sistemlerine dönüşmesi öngörülmektedir.

Ultrasonun Eğitimde Ve Klinik Karar Verme Sürecinde Yeri

Ultrasonografi, yalnızca tanı ve tedavi uygulamalarıyla sınırlı kalmayan; aynı zamanda diş hekimliği eğitimi ve klinik karar destek süreçlerinde de değerli katkılar sunan bir teknolojidir. Radyasyonsuz, anlık geri bildirim sağlayabilen yapısı ve taşınabilirliği, hem öğrenciler hem de klinisyenler için öğrenme ve karar alma süreçlerini hızlandırmaktadır (Betancourt et al., 2023).

Ultrasonun eğitimdeki en büyük katkılarından biri, öğrencilere gerçek zamanlı görselleştirme imkânı sunmasıdır. Özellikle anatomi, patoloji ve tanı derslerinde ultrasonla yapılan interaktif uygulamalar,

öğrencilerin görsel ve kinestetik öğrenmelerini desteklemektedir. Periodontal dokuların derinliği, TME'nin dinamik hareketleri veya tükürük bezlerinin yapısı gibi konular, ultrason yardımıyla doğrudan gözlemlenebilir hâle gelir (Caglayan et al., 2018; Poul et al., 2025). Bazı dental fakülteler, preklinik dönemden itibaren öğrencilere ultrason cihazları ile eğitim verilmesini teşvik etmektedir. Öğrenciler, fantom modeller veya gönüllü hastalar üzerinde uygulama yaparak, hem teknik becerilerini hem de klinik öngörü yetilerini geliştirmektedir (Shah et al., 2014). Ayrıca interdisipliner eğitime katkı olarak, tıp fakülteleriyle ortak ultrasonografi eğitim modülleri geliştirilmekte; bu sayede dental öğrenciler, sistemik hastalıkların ağız içi yansımalarını değerlendirme becerisi kazanabilmektedir (Fu et al., 2025).

Klinik kararlarda ultrasonografi, tanı doğruluğunu artırarak gereksiz ileri görüntüleme ihtiyacını azaltır. Örneğin, bir tükürük bezi şişliği klinikte ultrason ile incelendiğinde; kist, solid tümör veya taş ayrımı hızla yapılabilir. Bu sayede ileri radyolojik tetkiklere gerek kalmadan uygun yönlendirme sağlanabilir (Salmon et al., 2012). Ayrıca yapay zeka destekli ultrason analiz sistemleri, hekime öneri sunabilen algoritmalarla tanı destek süreçlerini daha objektif hâle getirmektedir. Klinik karar verme sürecinde; "lezyon malign mi?", "kist mi yoksa abse mi?" gibi sorulara anlık, veriye dayalı yanıtlar alınması mümkün hâle gelmektedir (Quarato et al., 2023). Bu tür gelişmeler, özellikle az deneyimli hekimlerin karar verme sürecini desteklemesi açısından önemlidir. Geliştirilen yazılımlar, belirli ultrason bulgularına dayalı algoritmik uyarılar sunarak tanısal hata riskini azaltır.

Ultrasonografinin Sınırlılıkları Ve Zorlukları

Diş hekimliğinde ultrasonografi, pek çok avantajına rağmen bazı temel sınırlamalar ve uygulama zorlukları içermektedir. Bu faktörler, hem tanı doğruluğunu hem de klinik kullanımı doğrudan etkileyebilmekte, ultrasonun rutin uygulamalara entegrasyonunu zorlaştırabilmektedir (Yeung et al., 2024).

- **Anatomik Sınırlar (Kemik ve Hava Bariyeri):**

Ultrasonografi, ses dalgalarının hava ve kemik gibi yoğun ortamlardan geçememesi nedeniyle ağız içi yapılar arasında bazı bölgeleri görüntülemeye yetersiz kalabilmektedir. Özellikle kortikal kemiğin posterior kısımları, mandibular kanal, maksiller sinüs içi ve alveolar kemik iç yapıları klasik ultrason cihazlarıyla görüntülenemez (Sengupta et al., 2016; Salmon et al., 2012). Bu nedenle, kemik içi lezyonların değerlendirilmesi ya da diş kökü gibi sert dokuların doğrudan görüntülenmesi için CBCT veya BT gibi alternatif radyolojik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca hava içeren boşluklar (ör. ağız boşluğu, sinüs) ses dalgalarının iletimini engelleyerek artefakt oluşumuna neden olabilir (Renaud et al., 2023).

- **Operatör Bağımlılığı:**

Ultrason görüntülemesi, büyük ölçüde uygulayıcının tecrübesine, prob kullanım becerisine ve anatomik bilgi düzeyine bağlıdır. Özellikle intraoral alanlarda uygun prob seçimi, doğru yerleşim ve optimal temas sağlamak deneyim gerektirir. Operatörün hatalı açılarla görüntü alması ya da yanlış yorum yapması, tanısal doğruluğu olumsuz etkileyebilir (Shah et

al., 2014). Bu nedenle, klinik uygulamaya geçmeden önce hekimlerin sistematik bir ultrasonografi eğitimi almaları gerekmektedir. Eğitim eksikliği, bu teknolojinin yaygınlaşmasının önündeki başlıca engellerdendir (Sharma et al., 2014).

- **Standart Protokol Eksiklikleri:** Diş hekimliğinde ultrasonografi için henüz evrensel kabul görmüş bir uygulama protokolü bulunmamaktadır. Hangi frekans aralığı kullanılmalı, hangi prob tipi tercih edilmeli, hangi bölgeye nasıl yerleştirilmelidir gibi detaylar çalışmalarda farklılık gösterebilmektedir (de Magalhães et al., 2025). Bu durum, farklı klinikler arasında karşılaştırılabilirliğin azalmasına ve bazı bulguların çelişkili yorumlanmasına yol açabilir. Ayrıca raporlama standartlarının eksikliği, elde edilen görüntülerin klinik kayıt olarak kullanımını da kısıtlayabilmektedir (Jawli et al., 2024).

- **Hasta Kooperasyonu ve Uygulama Zorlukları:** Ağız içi uygulamalarda ultrason kullanımında hastanın sabit pozisyonda durması ve probun yerleşimine yardımcı olması gerekir. Özellikle çocuk hastalar, trismus, ağrı ya da refleksif hareketleri olan bireylerde bu tür uygulamalar zorlaşmaktadır (Poul et al., 2024). Ayrıca, intraoral ortamın sınırlı hacmi, yüksek frekanslı problemlerin yerleştirilmesini güçleştirebilir. Bu durum, yeterli jel uygulanamaması ya da sterilite koşullarının sağlanamaması ile birleştiğinde görüntü kalitesinde düşüşe neden olabilir. Bu

bağlamda, özel tasarlanmış küçük boyutlu intraoral proplar ve steril kılıfların geliştirilmesi kritik önem taşır (Chan et al., 2020).

Ultrasonografinin Avantajları

Ultrasonografi, diş hekimliğinde artan oranda kullanılan ve hem tanı hem de tedavi planlamasında önemli rol oynayan bir görüntüleme yöntemidir. Radyasyon içermemesi, gerçek zamanlı değerlendirme imkânı sunması ve non-invaziv yapısı ile hem hekimler hem de hastalar açısından cazip hale gelmiştir (Elbarbary et al., 2022; Betancourt et al., 2023). Ultrasonografinin avantajları;

- **Radyasyonsuz Görüntüleme:** Ultrasonografi iyonize radyasyon içermez. Bu nedenle gebeler, çocuk hastalar ve radyasyona duyarlılığı yüksek bireylerde güvenle kullanılabilir (Renaud et al., 2023; Quarato et al., 2023). CBCT ve panoramik radyografilerle karşılaştırıldığında güvenlik profili oldukça yüksektir.
- **Yumuşak Dokuya Özgü Değerlendirme:** Ultrasonografi, özellikle yumuşak doku lezyonlarında oldukça yüksek rezolüsyona sahiptir. Dişeti, kas, tükürük bezi, yumuşak doku kitleleri, sinüs mukozası gibi yapılarda detaylı inceleme imkânı sunar (de Magalhães et al., 2025).
- **Gerçek Zamanlı Dinamik Gözlem:** Kas aktivitesi, eklem hareketleri veya vasküler yapıların değerlendirilmesinde anlık

veri sağlayarak fonksiyonel bir değerlendirme yapılmasına olanak tanır. Örneğin TME disk dislokasyonlarında veya hemanjiyomlarda gerçek zamanlı gözlem avantaj sağlar (Nava et al., 2025).

- **Maliyet ve Erişilebilirlik Avantajı:** Ultrason cihazlarının maliyeti CBCT veya MR gibi ileri görüntüleme yöntemlerine göre daha düşüktür. Mobil cihazların yaygınlaşmasıyla birlikte poliklinik şartlarında dahi kolayca uygulanabilmektedir (Tanaka et al., 2023).

- **Rehberlik Sağlaması:** Biyopsi, aspirasyon, enjeksiyon ve drenaj gibi müdahalelerde görüntüleme rehberliği sağlaması girişimsel doğruluğu artırır ve komplikasyon riskini azaltır (Qi et al., 2023).

- **Eğitimde ve Klinik Karar Desteğinde Rolü:** Ultrasonografi, öğrencilerin anatomik yapıları canlı olarak gözlemlemelerine ve patolojik değişimleri doğrudan anlamalarına olanak tanır. Ayrıca klinik karar destek sistemleri ile entegre edilebilir (Poul et al., 2025).

Gelecek Perspektifi

- **Yapay Zeka ve Otomatik Görüntü Analizi:** Yapay zeka (YZ) ve derin öğrenme algoritmaları, ultrason görüntülerinde lezyonların tespiti, sınıflandırılması ve boyutlandırılmasında

kullanılmaya başlanmıştır. YZ destekli analiz sistemleri, operatör bağımlılığını azaltarak daha standart ve nesnel değerlendirme yapılmasını mümkün kılmaktadır (Fu et al., 2025). Gelecekte YZ destekli uygulamalar sayesinde rutin klinik kullanımlarda lezyonlar otomatik olarak analiz edilip hekime tanı önerisi sunulabilecektir.

- **Üç Boyutlu ve Elastografik Yorumlama:**

Üç boyutlu ultrasonografi (3D-US), lezyonların hacimsel değerlendirmesine olanak tanıyarak cerrahi planlamada kritik rol oynayabilir. Elastografi teknolojisi ise doku sertliğini ölçerek malignite ayırımında kullanılabilir. Özellikle skuamöz hücreli karsinomlar gibi malign lezyonlarda dokusal farklılıkların değerlendirilmesi için elastografinin kullanımı giderek artmaktadır (Jawli et al., 2024; Quarato et al., 2023).

- **Taşınabilir Sistemler ve Uzaktan Değerlendirme:** Kompakt ve taşınabilir ultrason cihazları sayesinde klinik dışı alanlarda, örneğin evde bakım, kırsal alanlar veya mobil sağlık hizmetlerinde ultrasonografi yapılması mümkün hale gelmiştir. Bu cihazlar, tele-dentistry ile entegre edildiğinde uzman hekimlere görüntülerin uzaktan iletilmesi ve değerlendirme yapılması sağlanabilir (Betancourt et al., 2023).

- **Standart Protokollerin Oluşumu:** Farklı merkezler ve cihazlar arasında görüntüleme sonuçlarının karşılaştırılabilirliği açısından standart protokollerin geliştirilmesi büyük önem arz

etmektedir. Uluslararası kuruluşların iş birliği ile diş hekimliğinde kullanılan USG protokolleri belirlenmekte ve validasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu protokoller, hem eğitim hem de klinik uygulamalarda tutarlılığı artıracaktır (Ramseier et al., 2024).

- **Multimodal Görüntüleme Entegrasyonu:** Ultrasonografi, diğer görüntüleme yöntemleriyle kombine edilerek daha kapsamlı ve doğru tanı süreçleri oluşturulabilir. Örneğin, CBCT ile kemik yapılar değerlendirilirken, USG ile yumuşak dokular detaylı olarak analiz edilebilir. Bu hibrit yaklaşım, implant planlaması, tümör cerrahisi ve travmatik olgularda klinik kararlara büyük katkı sağlayacaktır (Fan et al., 2023).

- **Gelişmiş Problar ve Yüzey Araçları:** İntraoral kullanıma uygun minyatür problar ve steril kılıflar ile daha erişilebilir ve yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağlanabilecektir. Ayrıca, piezoelektrik malzemelerdeki teknolojik ilerlemeler daha hassas ve dayanıklı probların üretilmesine olanak tanımaktadır (Chan et al., 2020).

- **Eğitim Simülasyon Sistemleri:** Gelecekte, diş hekimliği öğrencileri ve uzmanlık eğitimi alan klinisyenler için sanal gerçeklik destekli USG simülasyon sistemleri geliştirilecektir. Bu sistemler sayesinde karmaşık anatomik yapıların güvenli, etkili ve tekrarlanabilir biçimde öğrenilmesi mümkün olacaktır (Reda et al., 2021).

• **Klinik Rehberlere Entegrasyon:** Uzun vadede, ultrasonografi ile elde edilen verilerin tedavi algoritmalarına ve klinik rehberlere entegre edilmesi hedeflenmektedir. Bu, hastaya özgü tanı ve tedavi planlamasını destekleyen kişiselleştirilmiş diş hekimliği anlayışına katkı sağlayacaktır (Poul et al., 2024).

SONUÇ

Diş hekimliği pratiği, son yıllarda hızlı teknolojik gelişmelere paralel olarak görüntüleme yöntemlerinde de önemli bir dönüşüm yaşamaktadır. Ultrasonografi, bu dönüşüm içinde öne çıkan; radyasyonsuz, non-invaziv, gerçek zamanlı ve tekrarlanabilir bir görüntüleme yöntemi olarak dikkat çekmektedir. Bu bölümde ayrıntılı biçimde sunulduğu üzere, periodontal dokuların değerlendirilmesinden, peri-implant yumuşak dokulara; tükürük bezlerinden temporomandibular ekleme kadar geniş bir klinik yelpazede kullanımı mümkündür.

Elde edilen bulgular göstermektedir ki, ultrasonografinin diş hekimliğine entegrasyonu yalnızca klinik karar verme süreçlerine katkı sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda hastaların tedaviye uyumunu, güvenliğini ve memnuniyetini artırmaktadır. Ultrasonun eğitimsel açıdan da diş hekimliği öğrencilerine somut, interaktif ve radyasyonsuz bir anatomi deneyimi sunması, gelecekte bu yöntemin öğretim programlarında daha merkezi bir rol oynamasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Ancak bu potansiyelin tam anlamıyla hayata geçebilmesi için bazı kritik ihtiyaçların karşılanması gerekmektedir. Öncelikle, tanı ve uygulama sürecinde bir standardizasyon sağlanabilmesi adına, ulusal ve uluslararası düzeyde standart protokollerin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, ultrasonografi uygulamalarının güvenilirliği ve tekrarlanabilirliğinin artırılması için operatör eğitimlerinin sistematik hâle getirilmesi ve sertifikasyon programlarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Cihaz teknolojilerinin, özellikle ağız içi kullanım için optimize edilmesi de klinik uygulamalarda etkinliği doğrudan etkileyecek bir diğer unsurdur. Ayrıca, mevcut literatürün güçlendirilmesi ve genel geçer sonuçlara ulaşılabilmesi adına daha fazla çok merkezli ve prospektif klinik çalışmaya ihtiyaç vardır. Son olarak, görüntü analizinde doğruluk ve hızın artırılması için yapay zeka destekli analiz sistemlerinin entegrasyonu da gelecekteki gelişmeler açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır.

Sonuç olarak, ultrasonografi diş hekimliğinin geleceğinde yer almaya aday güçlü bir teknolojidir. Bu yöntemin yalnızca tanı amaçlı değil, aynı zamanda izlem, tedavi planlama ve girişimsel işlemlerde de etkili biçimde kullanılabilmesi için bilimsel çabaların artırılması elzemdir. Ulusal ve uluslararası düzeyde, multidisipliner iş birliğiyle yürütülecek araştırma ve uygulamalar, bu değerli teknolojinin diş hekimliğinde daha geniş kabul görmesini ve standardize biçimde uygulanmasını mümkün kılacaktır.

KAYNAKÇA

- Alhazmi, D. M., & Jadu, F. M. (2025). Effectiveness of ultrasound-guided peripheral mandibular nerve block: A systematic review. *Medicine*, 104(20), e42509.
- Avcı, F., Etöz, M., Üstün, Y., & Arslan, T. (2022). Evaluation of ultrasonography as a diagnostic tool in the management of periapical cysts and granulomas: A clinical study. *Imaging science in dentistry*, 52(2), 209.
- Betancourt, A. R., Kripfgans, O. D., Meneghetti, P. C., Mendonça, G., Pereira, R., Teixeira, W., ... & Chan, H. L. (2024). Intraoral ultrasonography image registration for evaluation of partial edentulous ridge: A methodology and validation study. *Journal of Dentistry*, 148, 105136.
- Betancourt, A. R., Samal, A., Chan, H. L., & Kripfgans, O. D. (2023). Overview of ultrasound in dentistry for advancing research methodology and patient care quality with emphasis on periodontal/peri-implant applications. *Zeitschrift für Medizinische Physik*, 33(3), 336-386.
- Caglayan, F., & Bayrakdar, I. S. (2018). The intraoral ultrasonography in dentistry. *Nigerian journal of clinical practice*, 21(2), 125-133.
- Chan, H. L., & Kripfgans, O. D. (2020). *Dental ultrasound in periodontology and implantology*. Cham: Springer, 161-75.

- Cloutier, G., Destrempes, F., Yu, F., & Tang, A. (2021). Quantitative ultrasound imaging of soft biological tissues: a primer for radiologists and medical physicists. *Insights into Imaging*, 12, 1-20.
- Çağlayan, F., İlbaş, F. N. Y., & Aksakal, B. S. (2021). The use of ultrasonography in oral radiology: An ultrasound archive study. *Journal of Oral and Maxillofacial Radiology*, 9(1), 20-25.
- de Magalhães, A. A., & Santos, A. T. (2025). Advancements in diagnostic methods and imaging technologies in dentistry: A literature review of emerging approaches. *Journal of Clinical Medicine*, 14(4), 1277.
- Elbarbary, M., Sgro, A., Khazaei, S., Goldberg, M., Tenenbaum, H. C., & Azarpazhooh, A. (2022). The applications of ultrasound, and ultrasonography in dentistry: a scoping review of the literature. *Clinical oral investigations*, 1-18.
- Fan, S., Sáenz-Ravello, G., Al-Nawas, B., Schiegnitz, E., Diaz, L., & Sagheb, K. (2023). The feasibility of ultrasonography for the measurement of periodontal and peri-implant phenotype: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 25(5), 892-909.
- Figueredo, C. A., Catunda, R. Q., Gibson, M. P., Major, P. W., & Almeida, F. T. (2024). Use of ultrasound imaging for assessment of the periodontium: A systematic review. *Journal of Periodontal Research*, 59(1), 3-17.

- Fu, L., Chang, J. J., Al Hezaimi, K., Sasi, L., Khan, S., Qi, B., ... & Jokerst, J. V. (2025). In vivo periodontal ultrasound imaging via a hockey-stick transducer and comparison to periodontal probing: a proof-of-concept study. *Clinical Oral Investigations*, 29(5), 275.
- Fuglsig, J. M. D. C. E. S., Reis, I. N. R. D., Yeung, A. W. K., Bornstein, M. M., & Spin-Neto, R. (2024). The current role and future potential of digital diagnostic imaging in implant dentistry: a scoping review. *Clinical Oral Implants Research*, 35(8), 793-809.
- Ghorayeb, S. R., Bertoncini, C. A., & Hinders, M. K. (2008). Ultrasonography in dentistry. *IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, 55(6), 1256-1266.
- Hayashi, T. (2012). Application of ultrasonography in dentistry. *Japanese Dental Science Review*, 48(1), 5-13.
- Hosokawa, T., Tanami, Y., Sato, Y., Deguchi, K., Takei, H., & Oguma, E. (2023). Role of ultrasound in the treatment of pediatric infectious diseases: case series and narrative review. *World Journal of Pediatrics*, 19(1), 20-34.
- Jaswal, S., Patil, N., Singh, M. P., Dadarwal, A., Sharma, V., Sharma, A. K., ... & Sharma, A. (2022). A comparative evaluation of digital radiography and ultrasound imaging to detect periapical lesions in the oral cavity. *Cureus*, 14(10).
- Jawli, A., Aldehany, W., Nabi, G., & Huang, Z. (2024). Tissue-mimicking material fabrication and properties for

multiparametric ultrasound phantoms: a systematic review. *Bioengineering*, 11(6), 620.

Limardo, A., Blanco, L., Menéndez, J., & Ortega, A. (2022). Ultrasound-guided drainage vs surgical drainage of deep neck space abscesses: a randomized controlled trial. *Acta Otorrinolaringologica (English Edition)*, 73(1), 4-10.

Maranini, B., Ciancio, G., Mandrioli, S., Galiè, M., & Govoni, M. (2022). The role of ultrasound in temporomandibular joint disorders: an update and future perspectives. *Frontiers in medicine*, 9, 926573.

Marotti, J., Heger, S., Tinschert, J., Tortamano, P., Chuembou, F., Radermacher, K., & Wolfart, S. (2013). Recent advances of ultrasound imaging in dentistry—a review of the literature. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*, 115(6), 819-832.

Nava, P., Sabri, H., Calatrava, J., Zimmer, J., Chen, Z., Li, J., & Wang, H. L. (2025). Ultrasonography-Guided Dental Implant Surgery: A Feasibility Study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 27(1), e13401.

Ozturk, A., Grajo, J. R., Dhyan, M., Anthony, B. W., & Samir, A. E. (2018). Principles of ultrasound elastography. *Abdominal Radiology*, 43, 773-785.

- Palaskar, J., Sheikh, S., Shambulingappa, P., Aggarwal, A., Gupta, D., & Salaria, S. (2015). Role of ultrasonography in dentistry. *Dental Buzz Journal of ida North-West Delhi Branch*, 1(2).
- Poul, D., Samal, A., Betancourt, A. R., Quesada, C., Chan, H. L., & Kripfgans, O. D. (2025). Quantitative ultrasound for periodontal soft tissue characterization. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 51(2), 288-301.
- Poul, D., Samal, A., Betancourt, A. R., Quesada, C., Chan, H. L., & Kripfgans, O. D. (2024, September). Ultrasound Characterization of Oral Soft Tissues in vivo Using the Burr Speckle Model. In *2024 IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Joint Symposium (UFFC-JS)* (pp. 1-4). IEEE.
- Qi, B., Hariri, A., Khazaeinezhad, R., Fu, L., Li, Y., Jin, Z., ... & Jokerst, J. V. (2023). A miniaturized ultrasound transducer for monitoring full-mouth oral health: a preliminary study. *Dentomaxillofacial Radiology*, 52(1), 20220220.
- Quarato, C. M. I., Lacedonia, D., Salvemini, M., Tuccari, G., Mastrodonato, G., Villani, R., ... & Sperandeo, M. (2023). A review on biological effects of ultrasounds: key messages for clinicians. *Diagnostics*, 13(5), 855.
- Ramseier, C. A. (2024). Diagnostic measures for monitoring and follow-up in periodontology and implant dentistry. *Periodontology 2000*, 95(1), 129-155.

- Reda, R., Zanza, A., Cicconetti, A., Bhandi, S., Miccoli, G., Gambarini, G., & Di Nardo, D. (2021). Ultrasound imaging in dentistry: a literature overview. *Journal of Imaging*, 7(11), 238.
- Renaud, M., Delpierre, A., Becquet, H., Mahalli, R., Savard, G., Micheneau, P., ... & Denis, F. (2023). Intraoral ultrasonography for periodontal tissue exploration: a review. *Diagnostics*, 13(3), 365.
- Salmon, B., & Le Denmat, D. (2012). Intraoral ultrasonography: development of a specific high-frequency probe and clinical pilot study. *Clinical Oral Investigations*, 16, 643-649.
- Sengupta, A., Brown, J., & Rudralingam, M. (2016). The use of intraoral ultrasound in the characterization of minor salivary gland malignancy: report of two cases. *Dentomaxillofacial Radiology*, 45(4), 20150354.
- Shah, N., Bansal, N., & Logani, A. (2014). Recent advances in imaging technologies in dentistry. *World journal of radiology*, 6(10), 794.
- Sharma, S., Rasila, D., Singh, M., & Mohan, M. (2014). Ultrasound as a diagnostic boon in Dentistry a review. *Int J Sci Stud*, 2(2), 70-76.
- Sidhu, V. K., Nath, S., Debbarma, H., Lahiri, B., Amin, R., & Chakraborty, S. (2024). Evaluation of the Efficiency of Ultrasonography and Color Doppler in Diagnosis of Intraosseous Jaw Lesions: An In Vivo Study. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 25(10), 964.

- Tanaka, R., Lau, K., Yeung, A. W., Leung, W. K., Hayashi, T., Bornstein, M. M., ... & Pelekos, G. (2023). Diagnostic application of intraoral ultrasonography to assess furcation involvement in mandibular first molars. *Dentomaxillofacial Radiology*, 52(6), 20230027.
- Tavelli, L., Kripfgans, O. D., Chan, H. L., Vera Rodriguez, M., Sabri, H., Mancini, L., ... & Barootchi, S. (2025). Doppler ultrasonographic evaluation of tissue revascularization following connective tissue graft at implant sites. *Journal of clinical periodontology*, 52(1), 68-79.
- Thapar, P. R., Nadgere, J. B., Iyer, J., & Salvi, N. A. (2025). Diagnostic accuracy of ultrasonography compared with magnetic resonance imaging in diagnosing disc displacement of the temporomandibular joint: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 133(2), 446-454.
- Wakasugi-Sato, N., Kodama, M., Matsuo, K., Yamamoto, N., Oda, M., Ishikawa, A., ... & Morimoto, Y. (2010). Advanced clinical usefulness of ultrasonography for diseases in oral and maxillofacial regions. *International journal of dentistry*, 2010(1), 639382.
- Yeung, A. W. K., AlHadidi, A., Vyas, R., Bornstein, M. M., Watanabe, H., & Tanaka, R. (2024). Nonionizing diagnostic imaging modalities for visualizing health and pathology of periodontal and peri-implant tissues. *Periodontology 2000*, 95(1), 87-101.

BÖLÜM 4

PERİODONTOLOJİDE DOKU MÜHENDİSLİĞİ VE REJENERASYON

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Ziya ŞENYURT^{1*}
Arş. Gör. Zehra DÖNMEZ^{2*}

GİRİŞ

Periodontologlar yıllardır periodontal hastalıkların tedavisinde kaybedilmiş periodontal dokuları doğal morfolojilerine ulaştırmayı amaçlamaktadırlar. Bugüne kadar geliştirilen cerrahisiz ve cerrahi işlemler tedavide etkili olsa da azalmış ataşman, kemik miktarı ve daha apikale konumlanmış diş eti kenarı gibi durumları beraberinde getirmektedir. Günümüzde bu dezavantajların giderilmesi ve sağlıklı bir rejenerasyon oluşturmak için pek çok farklı yöntem ve materyal geliştirilmiş olmakla birlikte istenilen hedefe tam olarak ulaşılamamıştır. Langer tarafından tanımlanan ‘doku mühendisliği’ alanındaki ilerlemeler periodontal doku rejenerasyonu çalışmalarına da ışık tutmaktadır. Bu çerçevede biz de bu bölümde doku mühendisliğinin periodontolojideki uygulamalarını ve rejeneratif periodontal tedaviyle arasındaki olası ilişkileri güncel çalışmalar ışığında ele aldık.

Periodontal Rejenerasyon ve Doku Mühendisliği

İltihabi ve enfeksiyöz bir hastalık olan periodontitis, diş çürükleriyle birlikte diş kayıplarının en önemli sebeplerinden biridir.

Erken dönemde sadece diş etini etkileyen patolojik değişiklikler iken hastalığın ilerlemesiyle birlikte bağ doku ataşmanın parçalanmasına, alveoler kemik yıkımına ve sonrasında da dişin kaybına sebebiyet vermektedir. Periodontal hastalıkların tedavisinde amaç; primer etiyolojik faktör olan mikrobiyal dental plağın uzaklaştırılmasıdır. Ağız bakım uygulamalarıyla başlayan tedavi süreci cerrahi olmayan tedavilerle devam eder sonrasında bu tedavilere rağmen iyileşmenin sağlanamadığı durumlarda cerrahi periodontal tedavilere geçilir (Plessas, vd., 2014). Günümüzde yaygın kullanılan mevcut cerrahi tedaviler patojenik mikroflora eliminasyonunu sağlamasına rağmen iyileşme sonrasında birtakım anatomik yapı bozukluklarına ve azalmış periodonsiyuma sebebiyet vermektedir. Periodontal hastalık sonucunda ortaya çıkan anatomik yapı bozukluklarının giderilmesi ve sağlıklı bir periodontal çevrenin oluşturulması amacıyla da rejeneratif periodontal tedavi konsepti gündeme gelmiştir (Sallum, vd., 2019).

Rejeneratif tedavilerin tarihsel gelişimine bakıldığında, 19. yy başında Younger “periodontal defektlerde yumuşak doku küretajının reataşmanla sonuçlanacağını” bildirmiştir (Younger, vd., 1893). Stones periodontal iyileşmeyi histopatolojik olarak değerlendirmiştir. Fish ve Ramfjord’un maymunlarda, W.J. Linghorne’nun köpeklerde yaptığı deneysel çalışmaların sonuçları Stones’un ulaştığı sonuçları destekler niteliktedir (Stones, vd., 1934), (Linghorne, vd., 1950). Waerhaug ve diğer araştırmacıların yaptığı çalışmalar sonucunda “plak ve diş taşının diş yüzeyinden uzaklaştırılmasıyla cep derinliğinin azalacağı ve bunun sonucunda diş eti sağlığının elde edilebileceği” bildirilmiştir (Waerhaug, vd., 1952). Prichard kendi cerrahi yöntemiyle tedavi ettiği

kemik içi defektlerindeki iyileşmeyi yeni ataşman olarak tanımlamış ve bu şekilde “yeni ataşman” terimi ortaya çıkmıştır. Cerrahisiz kök yüzeyi tedavisi ve sonrasındaki cerrahi tedavilerin sonucunda meydana gelen periodonsiyumun doğal yapısıyla aynı özellikte olmayan dokuların yara bölgesini doldurmasıyla gerçekleşen iyileşme şekline tamir denilmiş olmakla birlikte yeni ataşman oluşumuna mine-sement sınırının yaklaşık 1-2 mm altına kadar alveol kemiği dolununun eklenmesiyle ortaya çıkan iyileşmeye ise periodontal rejenerasyon denmiştir. Bu amaçla araştırmacılar, periodontal rejenerasyonun en üst düzeyde oluşacağı daha ileri çalışmalara yönelmiştir (Newman, vd., 2011). Kök yüzeyi uygulamalarıyla periodontitisten etkilenmiş kök yüzeylerini yeni bağ doku ataşmanına uygun hale getirmek amacıyla farklı ajanlar uygulanmıştır. Bunların arasında asit uygulamaları en çok araştırılan konulardan biri olmuştur. İn vitro çalışmalarda asit uygulamasının kök yüzeylerine hücre migrasyon ve ataşmanını artırdığı saptanmıştır (Wikesjö, vd., 1986).

Rejeneratif periodontal tedavide kemik greftleri, kemik içi defektlerde pıhtının stabilizasyonun sağlanması, dokuların dolduracağı boşluğun korunması, kemik gelişiminin desteklenmesi, kemik grefti içindeki hücrelerin ve proteinlerin kemik yapısıyla birlikte kök yüzeylerinde yeni sement ve fibröz ataşman oluşumunu uyarabileceği düşüncesiyle kullanılmaktadır (Moussa, vd., 2020). Kemik greft materyalleri osteojenik, osteoindüktif ve osteokondüktif olarak sınıflandırılmaktadır. Otojen greftler osteojenik, osteoindüktif ve osteokondüktif özellikleri bir arada barındırması nedeniyle diğer greftlere oranla daha yüksek rejenerasyon potansiyeline

sahiptir. Otojen greftlerin elde edilme zorlukları, alınabilecek kemiğin miktarının sınırlı olması, artmış morbidite, hızlı remodelasyon ve kök rezobsiyonuna neden olması gibi olumsuz yönleri nedeniyle de otojen greftlerin yerine allogreftler, ksenogreftler ve sentetik greft materyalleri tercih edilebilmektedir (Yamaguchi, vd., 1996).

Melcher periodonsiyumu oluşturan dokuların farklı iyileşme potansiyeline sahip olduğunu ve iyileşme sürecinde yara bölgesine gelecek hücre tiplerinin oluşacak iyileşmenin şeklini belirleyeceğini bildirmiştir (Melcher, 1976). Bu düşünceden yola çıkarak Nyman ve ark. epitel, diş eti bağ dokusu, alveol kemiği ve periodontal ligament hücreleri'nin iyileşmedeki rolünü incelemek amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Kök yüzeyi ve kemik defektinin milipore filtre ile örtülerek diş eti bağ dokusu ve epitelin kök yüzeyine temasının engellendiği deneysel defekt modelinde kemik dolumuyla birlikte yeni ataşman oluşumu gözlenmiştir. Bu araştırmalar sonucunda yeni ataşmanın oluşum mekanizması açıklanmış ve yönlendirilmiş doku rejenerasyonu (YDR) tekniği ortaya çıkmıştır (Nyman, vd., 1982). İnsan üzerinde 1982 yılında yapılan ilk çalışmada selüloz asetat daha sonra rezorbe olmayan e-PTF membranlar, kolajenden üretilmiş rezorbe olabilen membranlar, PLA ve poliglikolik asit (PGA) ve bunların ko-polimerlerinden üretilen ve dokularda hidrolize olan membranlar periodontal doku rejenerasyonunda kullanılmıştır (Gottlow, vd., 1986). Kontrollü klinik çalışmaların sonuçları farklı rezorbsiyon özelliğine sahip membranların benzer klinik ataşman kazancı seviyeleri sağlandığını ayrıca tek başına flep cerrahisiyle

karşılaştırıldığında membran gruplarında istatistiksel olarak daha fazla atışman kazancının elde edildiğini göstermiştir (Ren, vd., 2022).

Doku mühendisliği, hücre ve gelişim biyolojisi ve biyomalzeme bilimi ilkelerinden yararlanarak hasarlı dokuların yerini alacak yeni dokuların üretilmesi için teknikler geliştirmeyi amaçlayan bir bilim dalıdır (Vacanti, vd., 1999). Periodontal rejenerasyon ise sert ve yumuşak dokuların bir arada ve sıralı bir uyum içerisinde iyileşmesini sağlayan karmaşık bir durumdur. Doku mühendisliği uygulamalarının periodontal rejenerasyondaki hedefi kaybedilen dokuları yerine koyarak periodonsiyuma fizyolojik işlevini geri kazandırmaktır. Doku mühendisliği hücre kültürü ve ekimi, poröz veya enjekte edilebilir iskelelerin üretimi, 3 boyutlu yazıcıda iskele oluşturma ve genetik uygulamaların da dahil olduğu çok çeşitli stratejileri içermektedir (Roato, vd., 2022).

Hücre uygulamalarına bakıldığında periodontal ligament (PDL); sement, alveol kemiği ve PDL benzeri doku üretebilen pluripotent kök hücre (PDL-SC) topluluğuna sahiptir (Ibi, vd., 2007). Deneysel çalışmaların meta analizinde hem kemik iliği mezenkimal kök hücrelerinin (BMSC'ler) hem de PDL-SC'lerin yeni kemik oluşumunun indüklenmesinde benzer rejenerasyon yeteneğine sahip olduğu saptanmışken PDL oluşumu üzerinde ise sadece PDL-SC'lerin olumlu etkisi görülmüştür (Swanson, vd., 2022). Kök hücrelerin kullanımıyla ilgili güncel yaklaşımlar, defekt bölgesine kök hücre transplantasyonu yerine daha çok biyomateryaller aracılığı ile defekt bölgesine taşınan büyüme faktörleri sayesinde vücudun kendi hücre

kaynaklarının ve kök hücrelerinin rejeneratif etkisinin artırılması yönünde olmaktadır (Galli, vd., 2021).

Gen tedavisi, tedavi edici ajanların üretilmesi için bireyin kendi hücrelerinin kullanıldığı, spesifik genleri sunmak, baskılamak veya yönlendirmek için moleküler teknikleri içeren genetik mühendisliğine dayanmaktadır. Trombosit kaynaklı büyüme faktörü (PDGF) ve kemik morfogenetik protein (BMP-7) gibi büyümeyi destekleyen moleküllerin aşırı ekspresyonunu sağlamak için adenoviral vektörlerin salımının, deneysel periodontal defektlerde kemik ve sement rejenerasyonunu artırdığı görülmüştür (Zhang, vd., 2009). Bu yöntemlerin güncel kullanıma girmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Doku iskelesi olarak kullanılacak biyomalzemeler biyolojik olarak uyumlu, hücrelerin üç boyutta organize olmasına izin veren ve zamanla yeni dokularla yer değiştiren, biyolojik olarak parçalanabilir ve indüktif uyarıları içeren moleküllerin defekt bölgesine kontrollü salımını sağlayabilecek özellikte olmalıdır (Swanson, vd., 2022). Doğal polimerler genellikle mekanik stabiliteden yoksundur, sentetik polimerler gibi esnek olmayan malzemelerle desteklenmesi önerilmektedir.

İndüktif sinyal moleküllerinin kullanımında çeşitli büyüme faktörleri (BMP'ler), mine matriks proteinleri (EMD), PDGF'ler ve P-15 peptitlerini içeren biyomateriyaller ticari olarak kullanıma geçmiş ve olumlu sonuçlar alınmaya başlanmıştır (Gillman, vd., 2021). Henüz tam rejenerasyonun oluşmasını sağlayacak yöntem/materiyal üretilmediği için bu konuda araştırmalar devam etmektedir (Swanson, vd., 2022).

Sonuç olarak bakıldığında ağız içindeki mikroorganizmaların sürekli tehditi ve epitel-bağ dokusunun hızlı iyileşmesi rejenerasyon önündeki en büyük engellerdendir. Rejenerasyonun sağlanabilmesi için periodontal dokuların üç boyutlu olarak sıralı bir düzende iyileşmesine olanak sağlayacak hem in vitro hem de klinik uygulamaları içeren multidisipliner çalışmalar gerekmektedir.

Doku Mühendisliğinde Yumuşak Doku Uygulamaları

Doku mühendisliği çalışmalarında oral mukoza eşdeğerlerinin in vitro ve in vivo modellerinin üretilmesinde önemli gelişmeler olmuştur. Araştırmalar sonucu elde edilen ilerlemelere göre ele alınması gereken konulardan birisi damarlaşmanın gerekliliğidir. 2013 yılında yapılan bir çalışmada radyasyona bağlı mukositisin tedavisinde oral mukoza oluşturulması için bir model geliştirilmiştir. 21 güne kadar ölçülen hücre hasarı ve sitokin salınımı düzeylerine göre radyasyona bağlı mukozitisin patobiyolojisinin incelenmesinde doku mühendisliği ile elde edilen mukozal modelin faydalı olabileceği sonucuna varılmıştır. 2016 yılında yapılan başka bir araştırmada aynı hücre kombinasyonu kan damarlarına dönüşebilen yoğun kapiller yapıdaki prevaskülarize oral mukoza eşdeğeri üretmek için bir kolajen membran üzerinde büyütülmüştür (Heller, vd., 2016). 2019 yılına gelindiğinde ise, vaskülarize oral mukoza eşdeğerleri oluşturmak için hücre yüzeyinde nanofilmin biriktirildiği bir tabaka-tabaka hücre kaplama teknolojisi geliştirilmiştir. Bu tabakalama teknolojisinde primer insan diş eti fibroblastları (HGF), jelatin ve fibronektin ile kaplanarak hedef doku oluşturulması için keratinize oral mukoza için diş eti kaynaklı

keratinositler, non-keratinize oral mukoza dokusu için oral mukoza keratinositleri ve kapiller oluşumu için insan umbilikal ven endotel hücreleri gibi hücrelerle birleştirilmiştir (Nishiyama, vd., 2019). Araştırma sonuçlarına göre ele alınması gereken diğer bir konu da, verilerin tekrar üretilebilirliği, hücrelerin istenilen miktarlarda elde edilmesi ve bireysel varyasyonun ortadan kaldırılması ihtiyacıdır. Laboratuar ortamında bu hücreler telomerazlarının katalitik alt ünitelerini kodlayan gen ile bir araya getirilerek sonsuza dek üreme yetenekleri kazandırılabilir ve laboratuar ortamında istendikleri miktarlarda çoğaltılıp kullanılabilirler (Chappuis, vd., 2017).

Çok sayıda farklı hücre tipini çalışma olanağı sunan organotipik kültür çalışması ile immortalize insan gingival epitel ve fibroblast hücre dizilerinin oluşturulması ve karakterizasyonu bu gereksinime cevap vermiştir. 2014 yılında bir çalışmada E6/E7 insan papilloma virüsü genleri ile transfer edilmiş primer insan keratinositleri, fabrikasyon diş eti eşdeğerleri elde etmek için başarılı bir şekilde kolajen jel ile birleştirilmiştir (Bao, vd., 2014). Başka bir çalışmada spontan immortalize insan diş eti keratinositleri bakteriyel enfeksiyonların ve hastalık ilerlemesinin değerlendirilmesi için bir oral mukoza modeli oluşturmak üzere bir kolajen jelde primer diş eti fibroblastları ile birlikte kullanılmıştır (De Carvalho Dias, vd., 2018). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, iskele üzerinde büyütülen keratinosit sayısının organotipik bir model sağladığı ve yapısal özellikler sergilediği bildirilmiştir.

Daha natürel bir diş eti eşdeğerinin üretilmesine doğru atılan bir adım, gingival hücrelerin Telomeraz Ters Transkriptaz (TERT)

ekspresyonu yoluyla immortalizasyonu ve bir kolajen jel ile birleştirilerek kullanılmış olmasıdır (Buskermolen, vd., 2016). Ele alınması gereken diğer bir konu çeşitli dokulardan oluşan organotipik bir model üretilmesidir. Bu ihtiyaca yönelik üretilen model biyolojik ve patolojik araştırmalarla test edilebilir olmasına rağmen, tutarlı fonksiyonel ve estetik sonuçlar için gerekli olan mükemmel uyumu karşılama konusunda hala tam olarak başarılı değildir. 3D biyoyazıcı yaklaşımı farklı materyallerin ve/veya hücre tiplerinin doğru bir şekilde konumlandırılması yoluyla bu problemin üstesinden gelebilir.

Yeni kan damarlarının oluşumu olan vaskülarizasyon (anjyogenez), çeşitli hücreler, hücre-dışı matriks (ECM) ve büyüme faktörleri arasında etkileşim gerektiren karmaşık bir süreçtir (Sharma, vd., 2019). Beslenebilmek için ise dokulardaki hücrelerin kan damarlarından ve kılcal damarlardan 100–200 µm uzaklıkta olması gerekir (Folkman, 1995). Dolayısıyla inşa edilen yapının boyutuna ve neovaskülarizasyon için gereken süreye bağlı olarak implante edilen greft hayatta kalır veya kalmaz. Bu nedenle, önceden oluşmuş kan damarlarının varlığı, implantasyon üzerinde gelişen doku sağ kalımını ve entegrasyonunu sağlayabilir.

Oral yumuşak doku augmentasyonu için tasarlanan 3D biyoyazıcılar; defektin gerçek boyutuna yakın şekli önceden belirlenmiş bir greftin üretimini sağlar ve estetik talepleri karşılar, diş eti dokusunun spesifik mikro mimarisini ve yapısal organizasyonunu yüksek duyarlılıkta taklit edebilir, farklı hücre tiplerinin ve karşılık gelen ilgili biyomateriyallerin doğru fizyolojik işaretlerle kombinasyonu doğal diş etine daha fazla benzeyen bir diş eti dokusuyla sonuçlanabilir.

Son yıllarda ilerlemeler olmasına rağmen yazdırılabilir ideal biyomateryallerin ortaya çıkarılması hala sorun olmaya devam etmektedir. Mevcut biyomürekkepler çeşitli eksiklikleri olan homojen biyomalzemeler oluşturmaktadır. Diş eti kaynaklı hücresiz bir matriks daha uygun bir biyo-mürekkep olarak göz önünde bulundurulabilir ve geliştirilebilir. Deselülerize doğal ECM'nin başlıca avantajı uygun ortamı sağlamasıdır. Adipoz, kıkırdak ve kalp dokularında bu yaklaşımın başarısı kanıtlanmıştır (Pati, vd., 2014). Farklı alanlarda kaydedilen son gelişmelerin hepsi göz önüne alındığında, oral yumuşak dokuların başarılı bir şekilde yazdırılması imkânsız görünmemektedir.

Sentetik ve/veya doğal polimer çözeltilerinden veya eriyiklerinden nano ve/veya mikro ölçekteki fiberlerin üretilmesini sağlayan elektroegirme tekniği, son dönemde en çok araştırılan alanlardandır. Yumuşak doku rejenerasyonunu desteklemek için gereken çeşitli özellikleri sağlamakta olan elektroegirme iskeleler, doğal ECM'nin fiziksel lif özelliklerine de çok benzemektedir. Elektroegirme yöntemi hızlıdır ve maliyeti uygundur. Fiber membranların nano/mikro ölçeğe kadar geniş dağılım özelliğinde elde edilebilmesi farklı doku tipleri için fiber üretimini sağlar ve hücrelerin fenotipi fiber membranların tanımlanmış nanotopografisini değiştirerek kontrol edilebilir (Baker, vd., 2009). Gözenek boyutu gibi değiştirilebilen faktörlerle, hücresel davranış ve sinyal yolları ile ilgili olan gen ekspresyonu bile kontrol edilebilir (Nguyen, vd., 2007).

2009 yılında yapılan bir çalışmada nanoapatit içeren elektroegirme membranların biyoaktiviteyi arttırdığı ve osteoblast benzeri hücre çoğalmasını ve farklılaşmasını desteklediği

gösterilmiştir. 2019 yılında yapılan araştırmada ise diş eti doku mühendisliğinde elektroğirme yapı iskelelerine insan gingival fibroblast hücrelerinin eklenmesinin hücrelerin fenotipik karakterleri üzerindeki sinerjistik etkisi açısından umut verici sonuçları olduğu bildirilmiştir. Yang ve ark. tarafından yapılan çalışma hizalanmış elektroğirme yapı iskelelerine eklenen hücrelerin, hizalanmamış alternatif materyallerle karşılaştırıldığında daha fazla diş eti fibroblast proliferasyonu ve kolajen tip I üretimi sunabileceğini düşündürmektedir. Materyal alternatifleri greftleme potansiyelleri açısından değerlendirilirken gözenek boyutu ve gözeneklilik yüzdesi, kritik düzeyde gözönünde bulundurulması gereken noktalardır (Zhu, vd., 2008). Daha kapsamlı periodontal rejenerasyon için tabakalı iskelelerin kullanımı daha önce araştırmacılar tarafından dikkate alınarak gözden geçirilmiş ve gelişmekte olan bir kavram olarak tanımlanmıştır (Abedi, vd., 2022). Diş eti dokusunun tabakalar halinde veya katmanlar halinde tasarlanarak etkileşimin yenilenmesi gingival doku mühendisliği açısından bir yöntem olarak değerlendirilebilir.

Diş Dokuları Kaynaklı Kök Hücrelerin Periodontal Rejenerasyonda Kullanımı

Periodontal rejenerasyon, hastalık sonucu doku yıkımı görülen kök yüzeyinde sement, periodontal ligament ve alveol kemiğinin yeniden oluşumu olarak tanımlanmaktadır (Aimetti, vd., 2018). Rejenerasyonun sağlanabilmesi amacıyla; farklı kaynaklardan elde edilen hücreler ile hasar görmüş veya kaybedilmiş doku veya organların yenilenebilmesine yönelik araştırmalar yaygınlaşmaktadır ve klinik

kullanım alanı genişlemektedir. Mezenkimal kök hücreler en yaygın araştırılan ve kullanılan hücre gurubudur. Kemik iliği, yağ, kas dokusu gibi farklı erişkin dokulardan izole edilen mezenkimal kök hücre popülasyonlarının özel bazı tiplerinin diş ve çevresi dokularda da yer aldığı bilinmektedir (Sangeetha, vd., 2020).

Diş dokularından elde edilen kök hücreler, rejeneratif tıp alanında, özellikle periodontal rejenerasyon için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Dental dokulardan elde edilen kök hücreler: dental pulpa kök hücreleri (DPKH'ler), periodontal ligament kök hücreleri (PDLKH)'ler), dental follikül hücreleri (DFH'ler), eksfoliye süt dişleri kök hücreleri (ESDKH), diş eti kaynaklı kök hücreler (DKKH), dental apikal papilla kök hücreleri ve alveol kemiği kaynaklı mezenkimal kök hücrelerdir (Li, vd., 2020). Ayrıca, sert damak ve yanak dokusu içerisinde farklılaşmamış yağ dokusu bulunan alanlarda yer alan hücrelerin de farklılaşmamış özellikte olduğu rejeneratif tedavilerde kullanım potansiyelleri olduğu gösterilmiştir (Zhang, vd., 2022).

Periodontal ligamentte bulunan kök hücreler, ilk olarak 2004 yılında izole edilmiştir. Bu hücrelerin, osteoblastlara, sementoblastlara, kondrositlere, adipoz ve nöronal hücrelere farklılaşabilecekleri bilinmektedir. Sağlıklı PDLKH'nin şiddetli yanıtı baskılayıcı etkisine karşın inflamatuvar yanıtı engellediği ve inflamasyonlu dişlerden elde edilen PDLKH'nin ise inflamasyonu şiddetlendirdiği bildirilmiştir (Wada, vd., 2015).

Chen ve ark., periodontitisli hastalarda otolog PDL'den üretilen hücre tabakalarının güvenliğini ve etkinliğini doğrulamak için tek kollu ve tek merkezli bir araştırma gerçekleştirmiştir (Iwata, vd., 2018).

Çalışma sonucunda otolog hücre tabakaları uygulanan bölgelerde periodontal sondlama derinliğinde azalma, klinik ataçman kazancı ve radyografik kemik yüksekliğinde artış görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçları, derin periodontal defektlerde otolog PDL'den türetilen hücre tabakalarının güvenliğini ve etkinliğini ve bu etkinliğin orta-uzun vadeli takip sırasındaki stabilitesini doğrulamıştır. Sanchez ve ark. quasi-randomize kontrollü faz II klinik araştırmalarında, periodontal ligament kök hücrelerinin rejeneratif periodontal tedavi kapsamında kullanımının klinik sonuçlarını değerlendirmiştir (Sánchez, vd., 2020). Deney grubundaki hastalarda, kontrol grubuna göre daha fazla klinik ataçman kazancı ve cep derinliğinde azalma olduğu ancak tespit edilen farkların istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olmadığı bildirilmiştir.

DFKH'nin in vitro koşullarda kardiyomiyosit, adiposit, kondrosit, sementoblast, osteoblast, hepatosit ve nöronal hücrelere farklılaşabildikleri gösterilmiştir. Çok sayıda in vitro ve in vivo çalışmada gelişim döneminde olduğu gibi DFH'nin PDL hücrelerine, sementoblast ve osteoblastlara farklılaşarak peridontal dokuların rejenerasyonuna katkı sağlayabileceği gösterilmiştir (Hong, vd., 2020).

Dental pulpa kök hücreleri ilk olarak Gronthos ve ark. tarafından izole edilmişlerdir (Aydın, vd., 2019). Uygun koşullarda, dondurma ve saklama ile uzun süre kök hücre özelliklerini yitirmedikleri bilinmektedir ve kök hücre bankacılığı uygulamaları için uygun bir kaynak olduğu rapor edilmiştir (Song, vd., 2023). In vitro ve in vivo ortamda osteojenik, adipojenik kondrojenik, kardiyak miyositlere ve melanositlere farklılaşabileceği gösterilmiştir (Dave, vd., 2018). Bu

potansiyel çeşitliliği açısından dental pulpa hücreleri dental kök hücreler içerisinde araştırmalarda en çok kullanılan hücre grubudur.

Aimetti ve ark. 2018 yılında, derin kemik içi defektlerin rejeneratif tedavisinde dental pulpa kök hücrelerinin uygulamasının sonuçlarını içeren bir olgu serisi yayınlamıştır (Aimetti, vd., 2018). Araştırma sonuçlarında 3.2 ± 0.9 mm'lik rezidüel ortalama sondalama derinliğinde azalma ve ortalama olarak 4.7 ± 1.5 mm'lik klinik ataçman seviyesi kazancı ve 1 yılda diş eti çekilemesi olmadığı rapor edilmiştir. Araştırma sonucunda defekt alanlarının % 63.6'sında tam cep derinliğinin 3 mm'nin altına indirilmiş olduğu ve radyografik olarak, ortalama 3,6 mm'lik bir kemik dolumu bildirilmiştir. Randomize kontrollü klinik bir çalışmada ise dental pulpa kaynaklı kök hücrelerin, kemik içi defektlerde periodontal rejenerasyona etkilerini değerlendirmiştir (Ferrarotti, vd., 2018). Test bölgelerinde, kontrollere göre cep derinliğinde önemli ölçüde daha fazla azalma, klinik ataçman kazancı ve radyografik defekt dolumu olduğu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, test grubunda 12 ay sonunda 5 mm'den daha derin cep bulunma oranının kontrol grubuna göre daha düşük olduğu rapor edilmiştir.

Birçok özelliği bakımından DPKH'ne benzerlik gösteren ESKH'nin de rejeneratif periodontal tedaviler açısından da yüksek farklılaşma potansiyelleri olduğu bilinmektedir. Periodontal defektlerin iyileşmesinde eksfoliyé süt dişi kaynaklı kök hücrelerinin kullanımının araştırıldığı bir in vivo çalışmada ESKH uygulamasının, enflamatuvar faktörlerin ekspresyonunu baskıladığı, osteoklast üretimini inhibe ettiği ve periodontal dokuların rejenerasyonunu desteklediği bildirilmiştir (Qiao, vd., 2019). Heranandan-monjaraz ve ark. bir olgu

bildiriminde periodontal defekt tedavisinde; 7 yaşında bir vericinin eksfoliye süt dişinden elde edilmiş mezenkimal kök hücrelerin kullanımının sonuçlarını değerlendirmiştir (Hernández-Monjaraz, vd., 2018). 6. ay sonunda cep derinliğinin 6,5 mm'den 3,5 ye düştüğü, mobilitenin sınıf 2'den sınıf 1'e azaldığı bildirilmiştir.

Ağız boşluğunda yukarıda sunulan erişkin kök hücreler dışında dişeti epiteli, dişeti bağ dokusu, tükürük bezleri ve özellikle yanak ve damak bölgesinde dağılmış olarak bulunan yağ dokusu içerisinde kök hücreler bulunduğu gösterilmiştir. Bichat yağ dokusu yüksek miktarda mezenkimal kök hücre barındıran adipoz bir dokudur. Kolay ulaşılabilir olması ve izole edilebilen hücre sayısının yüksek olması nedeniyle kemik rejenerasyonu için mezenkimal kök hücrelere alternatif olması beklenmektedir (Zhu Y., vd., 2018). Literatürde; bukkal yağ pedinden elde edilen hücrelerin periodontal defekt tedavisinde kullanımına ait klinik araştırmaya rastlanılmamış olsa da ileri yıkım görülen periodontal defektlerde saplı greft olarak kullanıldığı olgu sunumları mevcuttur. Bir olgu bildiriminde Miller Tip 4 tipi çekilme defektinin tedavisinde kullanılmıştır (El Haddad, vd., 2008). 6 aylık takip süresi sonunda diş eti çekilmesinin 8 mm azaldığı ve dişin mobilitesinin azaldığı bildirilmiştir. Başka bir olguda derin vertikal kemik kaybı görülen furkasyon defektinin tedavisinde kullanılmış ve 12 aylık takip döneminde 7 mm'lik cep derinliğinin 2 mm'ye indiği, 4,5 mm ataçman kazancı elde edildiği ve furka bölgesinde vertikal yönde radyografik kemik dolumunun olduğu gözlenmiştir (Deliberador, vd., 2012).

Dental kök hücreler, ulaşılabilirlikleri sayesinde klinik uygulamalarda dikkat çekmektedir. Yalnızca ağız dokuları değil, farklı

doku ve hastalıkların tedavisi için de araştırmalarda değerlendirilmektedir. Laboratuvar ve deneysel çalışmalarla birlikte klinik araştırmaların arttığı görülmektedir. Ancak, bu hücrelerin rutin tedaviye entegrasyonu bazı engellerle karşı karşıyadır. Dental kök hücrelerin, özellikle PDLSC ve DFPC gibi alt tiplerinin elde edilmesi sınırlı olup genellikle invaziv prosedürler gerektirir. Hücrelerin sayısı, özellikleri ve rejeneratif kapasiteleri; donör yaşı, doku yapısı ve sistemik etkenlere bağlı olarak değişebilir. Ayrıca, inflamatuvar durumlar hücrelerin biyolojik özelliklerini etkileyebilir. Transplantasyon amacıyla yeterli hücre sayısına ulaşmak için diş kök hücrelerinin laboratuvar ortamında çoğaltılması kolay değildir. Uzun süreli in vitro kültür hücrelerin köklülük ve farklılaşma yetilerini azaltarak rejeneratif kapasitelerini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, kültür sırasında kullanılan yöntem ve solüsyonların güvenliği, uygun kalite kontrol süreçleriyle değerlendirilmelidir (Song, vd., 2023). Allojenik diş kök hücreleri kullanıldığında, diş kök hücrelerinin düşük immünojeniteye sahip olduğu bildirilmiş olmasına rağmen, immün reddi potansiyeli mevcuttur. Düzenleyici yönergelere bağlı kalmak ve gerekli onayları almak zaman alıcı yüksek maliyetli süreçleri gerektirebilir. Dental kök hücrelerin izolasyonu, çoğaltılması ve farklılaşması için standartlaştırılmış protokollere ihtiyaç duyulmaktadır. Hücresel uygulamalara dayalı rejeneratif işlemlerin erişilebilirlik ve yüksek tedavi maliyetleri gibi limitasyonlar söz konusudur (Cossu, vd., 2018).

Büyüme Faktörleri ve Periodontal Rejenerasyon

Periodontal rejenerasyonun sağlanabilmesi için bağ dokusu, sement, periodontal ligament ve alveol kemiğin yıkım öncesi doku özelliklerine uygun şekilde iyileşmesi gerekir. Epitel hücreleri ise hızla bölgeye göç ederek periodontal ligament hücrelerinin rejenerasyon potansiyelini ortaya çıkarmasını engellemektedir (Bowers, vd., 1989). Diğer taraftan, periodontal rejenerasyon için dört önemli bileşen; yeterli kan desteği, rejenerasyon için çoğalması hedeflenen hücreler, hücrelerarası matris ve iskele ile biyolojik moleküllerdir. Periodontitis sonucu kaybedilmiş olan periodontal dokuların rejenerasyonunu desteklemek amacıyla büyüme faktörlerinden yararlanılması ve böylece sementogenez, osteogenez ve bağ dokusu oluşumunun uyarılması düşünülmüştür (Tayalia, vd., 2009).

Trombosit kaynaklı büyüme faktörleri (PDGF)'nin demineralize dentin üzerine uygulanmasının, insan periodontal ligament hücrelerinin çoğalmasını uyardığı ve osteoblastlar ile osteoklastlar üzerinde anabolik etki gösterdiği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda kontrol grupları ile karşılaştırıldığında, periodontal rejenerasyonu arttırmış, ancak bu etkisinin sınırlılığı olduğu bildirilmiştir (Kwon, vd., 2010).

İnsülin benzeri büyüme faktörü (IGF-I)'in periodontal yara iyileşmesi ve rejenerasyonu üzerinde olumlu etkisi olacağı düşünülmüş ancak, klinik kullanım öncesi araştırmaların sonuçları bu varsayımı desteklememiştir. Maymunlarda yapılmış deneysel bir araştırmada, periodontal ataşmanın rejenerasyonuna anlamlı bir katkı sağlamadığı bildirilmiştir (Giannobile, vd., 1996). Diğer taraftan, köpeklerde

yapılmış başka bir deneysel araştırmanın sonuçları IGF-I lehine olumlu bulgular ortaya koymuştur (Lynch, vd., 1991). Mevcut bilgiler ışığında etkisinin sınırlı olduğu söylenebilir.

Fibroblast büyüme faktörü (FGF) ile ilgili köpek ve maymunlarda yapılan bir çalışmada, bFGF ile tedavi edilen bölgeler, köpeklerde altı, maymunlarda ise sekiz hafta sonunda kontrol grupları ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha fazla periodontal rejenerasyon sağlandığı gösterilmiştir (Murakami, vd., 1999).

Kemik morfogenetik proteinleri (BMP) ile ilgili yapılan öncü araştırmalardan birinde, BMP-2'nin önemli ölçüde daha fazla alveol kemik ve sement oluşumu sağladığı belirtilmiştir (Sigurdsson, vd., 1995). Söz konusu çalışmada, sınırlı miktarda kök rezorpsiyonu veya ankiloz gözlenirken, kök üzerinde oluşan sement benzeri mineralize bir doku ve sement ile alveol kemiği arasında periodontal ligament hücrelerine benzer bir fibrovasküler doku ve yeni kemik oluştuğu gösterilmiştir. Bu çalışmadan farklı olarak daha uzun süre takip içeren başka bir çalışmada ise; BMP-2 uygulanan köklerde geniş kök rezorpsiyonu veya ankiloz oluştuğu bildirilmiştir (Wikesjö, vd., 2003). BMP-3 uygulanan kemik içi defektlerin altı ay sonraki histolojik değerlendirmesinde rejenerasyonun önemli ölçüde arttığı gösterilirken; kontrol gruplarında sınırlı rejenerasyon izlenmiştir (Bowers, vd., 1991).

Araştırmalarda oldukça fazla kullanılmış olan diğer bir biyomolekül büyüme/farklılaşma faktörü-5 (GDF-5)'dir. İlk klinik çalışmalarda lokal kemik oluşumunu arttırdığı gösterilmiştir (Stavropoulos, vd., 2011). Yapılan başka bir çalışmada büyüme faktörlerinin cerrahi işlemlere ek olarak uygulandığı test grubunda

histolojik olarak değerlendirilen kemik rejenerasyonu, kontrol grubundan yaklaşık üç kat fazla bulunmuştur.

Tek duvarlı defektlerdeki rejenerasyon başarısını arttırmak için büyüme faktörlerinin kemik greftleri ile birlikte kullanılması düşünülmüştür (Wang, vd., 2017). Güncel bir meta analizin sonuçlarına göre, tek duvarlı kemik içi defektlerde FGF-2, GDF-5 ve BMP gibi biyomoleküller kullanılarak kemik ve sement rejenerasyonunun önemli ölçüde iyileştirilebileceği öne sürülmüştür (Farimani, vd., 2021). Deneyisel hayvan modellerinde, iki ve üç duvarlı kemik içi defektlerde büyüme faktörleri (FGF-2, BMP,PDGF gibi) kullanarak hem kemik hem de sement rejenerasyonunun önemli ölçüde iyileştirildiği belirtilmiştir (Wang, vd., 2019).

İnsanlarda furkasyon defektlerinin rejeneratif tedavisinde büyüme faktörlerinin etkinliği konusunda yapılmış olan bir meta-analiz, rhPDGF-BB uygulamasının, β -TCP uygulanan kontrol grubuna kıyasla ataşman kazancını yaklaşık 1 mm ve kemik dolumunu yaklaşık % 40 oranında artırdığını ortaya koymuştur (Darby, vd., 2013). Ancak, histolojik değerlendirmelerde, hangi büyüme faktörünün furkasyon defektlerinde periodontal rejenerasyonu daha fazla artırabileceği konusunda net bir sonuca varılamamaktadır (Laugisch, vd., 2019). Yakın zamanda yapılmış olan bir meta analizin sonuçlarında ise, büyüme faktörlerinin kemik oluşumu ve sement rejenerasyonu elde edebilmek için yalnızca sınıf II furkasyon defektlerinde kullanımı uygun bulunmuştur (Farimani, vd., 2021).

Çeşitli büyüme faktörlerinin diş eti çekilmesinin tedavisinde rejeneratif potansiyeli, koronale çekilen flep ile birlikte

değerlendirilmiştir. Büyüme faktörlerinin yeni oluşan kemik üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Farimani, vd., 2021). Ancak, Kwon ve ark. enjekte edilebilir yapıdaki rhGDF-5/PLGA'nın iyileşme potansiyelini değerlendirdikleri araştırmada önemli bir katkı gözlemleyememiştir (Kwon, vd., 2010).

Periodontal Doku Mühendisliğinde Gen Tedavileri

Gen tedavisinin temel amacı, hedef hücrelere bir vektör aracılığı ile tedavi edici geni transfer etmektir (Ditto, vd., 2009). Gen tedavisinin geleneksel tedavilere göre çeşitli avantajları vardır. Tek bir protein veya bileşiğin uygulanmasına kıyasla daha uzun süreli bir etki sağlayabilir ayrıca gen aktarımı, palmitoilasyon ve glikozilasyon gibi ex vivo protein ekspresyonu ve saflaştırması ile ilişkili teknik zorlukları azaltmaktadır. Rejeneratif faktörleri kodlayan genetik dizilerin kısa süreli ve kontrollü aktarımı, doğal biyolojik iyileşme yanıtını taklit edebilir. Bunun yanında, gen tedavisinin doku mühendisliği stratejileri ile birleştirilmesi, farklı genlerin uzamsal olarak kontrollü ve biyolojik olarak kullanılabilir bir şekilde aktarılmasını mümkün kılarak diş-periodontal ligament-kemik aralığında üç boyutlu doku yenilenmesini destekleme potansiyeline sahiptir.

Gen aktarımı için viral ve viral olmayan çok çeşitli vektörler geliştirilmiştir. Viral vektörler arasında başlıca retrovirüsler, lentivirüsler, adenovirüsler (Ad) ve adeno ilişkili virüsler (AAVs) yer almaktadır. Viral olmayan vektörler arasında ise plazmitler, DNA polimer kompleksleri, nano-tanecikler, mikro-tanecikler ve ultrasound yer almaktadır (Ramseier, vd., 2006).

Retrovirüsler, RNA genomlarından hücrelerde DNA kopyası üreterek kalıtsal aktarım sağlayan virüslerdir. Sürekli transgen ekspresyonu sunan retroviral vektörler, kalıtsal bozuklukların tedavisinde avantajlıdır; ancak çoğu yalnızca bölünen hücreleri enfekte edebilir (Waheed, vd., 2010).

Lentivirüsler, HIV gibi uzun kuluçka dönemiyle bilinen retrovirüslerdir. Lentiviral vektörler, hem bölünen hem de bölünmeyen hücreleri transfekte edebilen etkili gen iletim araçlarıdır; ancak HIV kökenli olmaları, replikasyona yetkin virüslerin oluşma riski nedeniyle endişe uyandırmaktadır (Telenti, vd., 2010).

Adenovirüsler, yüksek transdüksiyon etkinliği ve konak genomuna entegre olmamaları nedeniyle gen aktarımında avantaj sağlar; ancak bağışıklık tepkisi sınırlayıcıdır ancak diyabetik ülser ve periodontal rejenerasyonda etkili bulunmuştur (Chang, vd., 2009).

Viral olmayan yöntemler, çıplak plazmitler, katyonik lipidler, polimerler, peptitler ve elektroporasyon veya ultrasound gibi fiziksel tekniklerle genetik materyali hücrelere aktarabilir. Bu yöntemler düşük transfeksiyon etkinliğine sahip olsa da, düşük immünojenisite, DNA ekleme boyutu sınırlamasının olmaması ve büyük ölçekli üretim potansiyeli nedeniyle özellikle siRNA gen tedavisinde önem kazanmaktadır. Son yıllarda, gen aktarımında katyonik bileşikler ve periodonsiyuma DNA iletiminde ultrasound, nano- ve mikrotanecikler kullanımı gibi non-invaziv teknikler üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Chen ve ark., bu yöntemin dış eti dokusunda yüksek gen ekspresyonu sağladığını bildirmiştir (Chen, vd., 2009).

Gen tedavisinde vektör seçimi, hastalığın doğasına ve gerekli transgen ekspresyonunun düzeyine ve süresine bağlıdır (Goker, vd., 2019). Adenoviral vektörler, periodontal doku rejenerasyonunda en çok araştırılan viral vektörlerdir. Hücre replikasyonuna bağımlı olmadan çok çeşitli hücre tiplerini enfekte edebilir, yüksek gen ekspresyonu sağlar ve non-onkojenik kabul edilirler. Yüksek immünojenisite, enflamasyon, azalan transgen ekspresyonu ve tekrarlayan dozlama zorlukları adenoviral vektörlerin klinik kullanımını sınırlamaktadır (Evans, 2012). Bu sorunların aşılması için geliştirilen ikinci nesil Ad'lar, viral proteinleri içermemeleri nedeniyle daha az immünojenik olup yardımcı virüsler eşliğinde üretilmektedir.

Porphyromonas gingivalis fimbrial genini kodlayan plazmit DNA'sının fare tükürük bezine uygulanması, lokal fimbrial protein üretimi ve spesifik IgG ile IgA antikorlarının oluşumunu sağlamıştır (Nair, vd., 2023). Genetiği değiştirilmiş *Streptococcus gordonii* ile aşılanmanın Pg kaynaklı periodontitisi önlediği, ayrıca *E. coli* 'de üretilen rekombinant hemaglutinin B'nin (rHag B) farelerde kemik kaybını azalttığı gösterilmiştir (Mah, vd., 2003).

Araştırmalar biyofilm oluşturan bakterilerin antibiyotiklere 1000 kat daha dirençli olduğunu göstermektedir. Mah ve ark., *Pseudomonas aeruginosa* 'da biyofilm oluşumunda önemli olan glikosiltransferazı kodlayan *ndvB* genini tanımlamıştır (Mah, vd., 2003).

Periodontal doku, mekanik zorlanma ve inflamasyonla karşılaştığında, çeşitli kimyasallar üreterek agresif bir şekilde yenilenir. LacZ geninin periodontal ligamente plazmid DNA yoluyla *in vivo*

transferi ve geçici transfeksiyon ile alveoler remodelasyon sağlanmıştır (Chatterjee, vd., 2013).

Lokale agresif periodontitisin önemli bir nedeni, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (Aa) gibi periodontal patojenlerin hedef dokuyu istila etmesidir. Aa'nın tutunması ve virülansı için "sıkı yapışma" gereklidir. Araştırmacılar, Aa'nın güçlenmesini ve hastalık ilerlemesini engelleyen "sıkı yapışma geninde" mutant bir suş izole etmişlerdir (Schreiner, vd., 2003).

KAYNAKÇA

- Abedi N, rajabi n, kharaziha M, nejatidanesh F, tayebi l. (2022). Layered scaffolds in periodontal regeneration. J Oral Biol craniofac res. 12(6):782-97.
- Aimetti M, Ferrarotti F, gamba MN, giraudi M, Romano F. (2018). Regenerative Treatment of Periodontal intrabony Defects Using Autologous Dental Pulp stem Cells: A 1-Year Follow-Up Case series. Int j Periodontics Restorative Dent. 38(1):51-8.
- Aydin s, Şahin F. (2019). Stem Cells Derived from Dental Tissues. Adv exp Med Biol. 1144:123-32.
- Baker BM, handorf am, ionescu lc, li Wj, Mauck rl. (2009). New directions in Nanofibrous scaffolds for soft tissue engineering and regeneration. Expert Rev Med Devices. 6(5):515-32.
- Bao k, akguel B, Bostanci n. (2014). Establishment and characterization of immortalized gingival epithelial and fibroblastic cell lines for the development of Organotypic cultures. Cells tissues Organs. 199(4):228-37.
- Bowers gm, chadroff B, carnevale R, Mellonig j, corio R, Emerson j, et al. (1989). Histologic evaluation of new attachment apparatus formation in humans. Part I. J Periodontol. 60(12):664-74.
- Broccaioli e, Niada s, Rasperini g, Ferreira lm, Arrigoni e, Yenagi v, et al.(2013). Mesenchymal stem Cells from Bichat's Fat Pad: in vitro Comparison with Adipose-Derived stem Cells from subcutaneous Tissue. Biores Open Access. n2(2):107-17.

- Buskermolen jk, reijnders cm, spiekstra sw, steinberg t, kleverlaan cj, Feilzer aj, et al. (2016). Development of a Full-thickness human gingiva equivalent Constructed from immortalized keratinocytes and Fibroblasts. *Tissue eng Part c Methods*. 22(8):781-91.
- Chang Pc, cirelli ja, jin Q, seol Yj, sugai jv, d'silva Nj, et al. (2009). Adenovirus Encoding human platelet-derived growth factor-B delivered to alveolar bone Defects exhibits safety and biodistribution profiles favorable for clinical use. *Hum Gene Ther*. (20):486-96.
- Chappuis v, araujo Mg, Buser D. (2017). Clinical relevance of dimensional bone and Soft tissue alterations post-extraction in esthetic sites. *Periodontol 2000*. 73(1):73-83.
- Chatterjee A, singh N, saluja M. (2013). Gene therapy in periodontics. *J indian soc Periodontol*. (17):156-61.
- Chen R, chiba M, Mori s, Fukumoto M, Kodama T. (2009). Periodontal gene transfer by ultrasound and nano/microbubbles. *J Dent Res*. (88):1008-13.
- Cossu g, Birchall M, Brown T, De Coppi P, Culme-seymour e, gibbon s, et al. (2018). Lancet Commission: stem cells and regenerative medicine. *Lancet*. 391(10123):883-910.
- Darby ib, Morris KH. (2018). A systematic review of the use of growth Factors in human periodontal regeneration. *J Periodontol*. 84(4):465-76.
- Dave jr, Tomar gb. (2018). Dental Tissue-Derived Mesenchymal stem Cells: Applications in Tissue engineering. *Crit Rev Biomed eng*. 46(5):429-68.

- De carvalho Dias k, de souza DL, Barbugli Pa, cerri Ps, salih vm, vergani Ce. (2018). Development and characterization of a 3D oral mucosa model as a tool For host-pathogen interactions. J Microbiol Methods. 152:52-60.
- Deliberador TM, Mendes RT, storrer Cl, giovanini AF, Zielak jc, lopes TR. (2012). Autogenous bone graft combined with buccal fat pad as barrier in treatment Of Class II furcation defect: a case report. Bull Tokyo Dent Coll. 53(3):127-32.
- Ditto Aj, shah PN, Yun YH. (2009). Non-viral gene delivery using nanoparticles. Expert Opin Drug Deliv. 6(11):1149-60.
- El Haddad sa, Abd el Razzak MY, el shall M. (2008). Use of pedicled buccal fat pad in root coverage of severe gingival recession defect. J Periodontol. 79(7):1271-9.
- Evans c. (2012). Gene delivery to bone. Adv Drug Deliv Rev. (64):1331-40.
- Farimani z, shamshiri AR, Asl roosta H, Akbari s, Bohlouli M. (2021). Regenerative Benefits of using growth factors in treatment of periodontal defects: A systematic review and meta-analysis with Trial sequential Analysis on preclinical studies. J Tissue Eng Regen Med.1-34.
- Ferrarotti F, Romano F, gamba MN, Quirico A, giraudi M, Audagna M, Aimetti M. (2018). Human intrabony defect regeneration with micrografts containing dental Pulp stem cells: A randomized controlled clinical trial. J Clin Periodontol. 45(7):841-50.
- Folkman j. (1995). Angiogenesis in cancer, vascular, rheumatoid and other disease. Nat Med. 1(1):27-31.

- Galli M, Yao Y, Giannobile Wv, Wang HL. (2021). Current and future trends in periodontal tissue engineering and bone regeneration. *Plast Aesthet res.* 8:3.
- Giannobile wv, Hernandez RA, Finkelman RD, Ryan s, Kiritsy cp, Andrea MD, et al. (1995). Comparative effects of platelet-derived growth factor-BB and insulin-like growth factor- α , individually and in combination, on periodontal regeneration in *Macaca fascicularis*. *J Periodontal Res.* 31:301-12.
- Gillman ce, jayasuriya Ac. (2021). FDA-approved bone grafts and bone graft substitute devices in bone regeneration. *Materials science and engineering: c.* 130:112466.
- Gottlow j, Nyman s, lindhe j, Karring T, Wennström j. (1986). New attachment formation in the human periodontium by guided tissue regeneration case reports. *Journal of clinical periodontology.* 13(6):604-16.
- Goker F, larsson l, Del Fabbro M, Asa'ad F. (2019). Gene delivery therapeutics in the Treatment of periodontitis and peri-implantitis: A state of the Art Review. *Int j Mol sci.* (20):3551-367.
- Heller M, Frerick-Ochs ev, Bauer hk, schiegnitz e, Flesch D, Brieger j, et al. (2016). Tissue engineered pre-vascularized buccal mucosa equivalents utilizing a Primary triculture of epithelial cells, endothelial cells and fibroblasts. *Biomaterials.* 77:207-15.
- Hernández-Monjaraz B, santiago-Orsorio e, ledesma-Martínez e, Alcauter-Zavala A, Mendoza-Núñez vm. (2018). Retrieval of a periodontally compromised Tooth by allogeneic grafting of

- mesenchymal stem cells from dental pulp: A Case report. *J Int Med Res.* 46(7):2983-93.
- Hong H, Chen X, li K, Wang N, li M, Yang B, et al. (2020). Dental follicle stem cells Rescue the regenerative capacity of inflamed rat dental pulp through a Paracrine pathway. *Stem Cell Res Ther.* 11(1):333.
- Ibi M, ishisaki A, Yamamoto M, Wada s, Kozakai T, Nakashima A, et al. (2007). Establishment of cell lines that exhibit pluripotency from miniature swine periodontal ligaments. *Archives of oral biology.* 52(10):1002-8.
- Iwata T, Yamato M, Washio K, Yoshida T, Tsumanuma Y, Yamada A, et al. (2018). Periodontal regeneration with autologous periodontal ligament-derived cell Sheets - A safety and efficacy study in ten patients. *Regen Ther.* Aug 24;9:38-44.
- Kwon DH, Bisch Fc, Herold Rw, Pompe c, Bastone P, Rodriguez NA et al. (2010). Periodontal wound healing/regeneration following the application of rhgdf-5 In a beta-tcp/plga carrier in critical-size supra-alveolar periodontal defects In dogs. *J clin Periodontol.* 37(7):667-74.
- Laugisch o, cosgarea R, Nikou g, Nikolidakis D, Donos N, salvi ge, et al. (2019). Histologic evidence of periodontal regeneration in furcation defects: A systematic review. *Clin oral investig.* 23(7):2861-906.
- Li Q, Yang g, li j, Ding M, Zhou N, Dong H, et al. (2020). Stem cell therapies for periodontal tissue regeneration: a network meta-analysis of preclinical studies. *Stem Cell Res Ther.* 11(1):427.

- Linghorne W, o'connell D. (1950). Studies in the regeneration and reattachment of Supporting structures of the Teeth: 1. Soft Tissue reattachment. *Journal of Dental research*. 29(4):419-28.
- Lynch se, de castilla gr, williams Rc, Kiritsy cp, Howel TH, Reddy s, et al. (1991). The effects of short-term application of a combination of platelet-derived and insulin-like growth factors on periodontal wound healing. *J Periodontol*. 62:458-67.
- Mah TF, Pitts B, Pellock B, Walker Gc, stewart Ps, O'Toole GA. (2003). A genetic Basis for *Pseudomonas aeruginosa* biofilm antibiotic resistance. *Nature*. 426(6964):306-10.
- Melcher AH. (1976). On the repair potential of periodontal tissues. *J Periodontol*. 47(5):256-60.
- Moussa NT, Dym H. (2020). Maxillofacial bone grafting materials. *Dental clinics*. 64(2):473-90.
- Murakami s, Takayama s, ikezawa K, shimabukuro Y, Kitamura M, Nozaki T, et al. (1999). Regeneration of periodontal tissues by basic fibroblast growth factor. *J Periodontal Res* 34:425-30.
- Nair K, Ramesh (1999). A. Applications of gene therapy in dentistry: A review article. *J Health Allied sci NU*. Article published online: 01-20.
- Newman MG, Takei H, Klokkevold Pr, carranza FA. (1999). *Carranza's clinical periodontology*: elsevier health sciences.
- Nguyen kt, shukla kp, Moctezuma M, tang l. (2007). Cellular and molecular responses of smooth muscle cells to surface nanotopography. *J nanosci nanotechnol*. 7(8):2823-32.

- Nishiyama k, akagi t, iwai s, akashi M. (2019). Construction of vascularized Oral Mucosa equivalents using a layer-by-layer cell coating technology. *Tissue Eng Part c Methods*. 25(5):262-75.
- Nyman s, Gottlow j, Karring T, lindhe j. (1982). The regenerative potential of the periodontal ligament: An experimental study in the monkey. *Journal of clinical periodontology*. 9(3):257-65.
- Pati F, jang j, ha Dh, Won kim s, rhie jw, shim jh, et al. (2014). Printing three-Dimensional tissue analogues with decellularized extracellular matrix bioink. *Nat commun*. 5:3935.
- Plessas A. (2014). Nonsurgical periodontal treatment: review of the evidence. *Oral Health Dent Manag*. 13(1):71-80
- Qiao YQ, Zhu ls, Cui sj, Zhang T, Yang Rl, Zhou YH. (2019). Local Administration Of stem Cells from Human exfoliated Primary Teeth Attenuate experimental Periodontitis in Mice. *Chin j Dent Res*. 22(3):157-63.
- Ramseier ca, Abramson ZR, jin Q, Giannobile Wv. (2006). Gene therapeutics for periodontal regenerative medicine. *Dent clin North Am*. (50):245-63.
- Ren Y, Fan l, Alkildani s, liu l, emmert s, Najman s, et al. (2022). Barrier Membranes for Guided Bone regeneration (gbr): A Focus on recent Advances In collagen Membranes. *International journal of Molecular sciences*. 23(23):14987.
- Roato i, Masante B, Putame G, Massai D, Mussano F. (2022). Challenges of Periodontal Tissue engineering: increasing Biomimicry through 3D Printing and Controlled Dynamic environment. *Nanomaterials*. 12(21):3878.

- Sallum ea, ribeiro Fv, ruiz Ks, sallum AW. (2019). Experimental and clinical studies on regenerative periodontal therapy. *Periodontology* 2000. 79(1):22-55.
- Sánchez N, Fierravanti l, Núñez j, vigoletti F, gonzález-Zamora M, san-Tamaría s, et al. (2020). Periodontal regeneration using a xenogeneic bone substitute Seeded with autologous periodontal ligament-derived mesenchymal stem Cells: A 12-month quasi-randomized controlled pilot clinical trial. *J Clin Periodontol*. 47(11):1391-402.
- Sangeetha KN, vennila R, secunda R, sakthivel s, Pathak s, jeswanth s, Et al. (2020). Functional variations between Mesenchymal stem Cells of different tissue origins: A comparative gene expression profiling. *Biotechnol lett*. 42(7):1287-304.
- Schreiner Hc, sinatra K, Kaplan jb. (2003). Tight-adherence genes of *Actinobacillus actinomycetemcomitans* are required for virulence in a rat model. *Proc Natl Acad sci usa*. 100(12):7295-300.
- Sharma D, ross D, Wang g, jia W, kirkpatrick sj, zhao F. (2019). Upgrading pre-vascularization in tissue engineering: a review of strategies for promoting Highly organized microvascular network formation. *Acta Biomater*. 95:112-30.
- Sigurdsson Tj, Lee MB, Kubota K, Turek Tj, wozney jm, wikesjo UME. (1995). PeRiodontal repair in dogs: recombinant human bone morphogenetic protein-2 Significantly enhances periodontal regeneration. *J Periodontol*. 66:131-8.
- Song WP, jin ly, Zhu MD, Wang H, Xia Ds. (2023). Clinical trials using dental stem Cells: 2022 update. *World j stem Cells*. 15(3):31-51.

- Stavropoulos A, Becker j, capsius B, Ail Y, wagner w, Terheyden H. (2011). Histological evaluation of maxillary sinus floor augmentation with recombinant Human growth and differentiation factor-5 coated beta-tricalcium phosphate (rhgdf-5/- tcp). Results of a multicenter randomized clinical trial. J clin Periodontol. 38:966-74.
- Stones HH. (1934). The reaction and regeneration of cementum in various Pathological conditions : (section of Odontology). Proc r soc Med. 27(6):728-44.
- Swanson WB, Yao Y, Mishina Y. (2022). Novel approaches for periodontal tissue engineering. Genesis. 60(8-9):e23499.
- Tayalia P, Mooney Dj. (2009). Controlled growth factor delivery for tissue engineering. Adv Mater. 21(32-33):3269-85.
- Telenti A, McLaren P. (2010). Genomic approaches to the study of Hiv-1 acquisition. J infect Dis. (202)(suppl3):382-6.
- Vacanti jp, langer r. (1999). Tissue engineering: the design and fabrication of living Replacement devices for surgical reconstruction and transplantation. Lancet. 354 suppl 1:s132-4.
- Wada N, Tomokiyo A, gronthos s. (2015). Immunomodulatory Properties of pdlsc And Relevance to Periodontal Regeneration. Current Oral Health Reports, 2(4):245-51
- Waerhaug j. (1952). The gingival pocket; anatomy, pathology, deepening and elimination. Odontol Tidskr. 60(suppl 1):1-186.
- Waheed AA, Freed eo. (2010). The role of lipids in retrovirus replication. Viruses. (2):1146-80.

- Wang B, Mastrogiacomo s, Yang F, shao j, ong MMA, chan-
chareonsook N, et al. (2019). Application of BMP-bone cement
and fgf-gel on periodontal tissue Regeneration in nonhuman
primates. *Tissue Eng Part c Methods*. 25(12):748-56.
- Wang c, Liu Y, Fan Y, Li X. (2017). The use of bioactive peptides to
modify materials For bone tissue repair. *Regen Biomater*.
4(3):191-206.
- Wikesjö UME, Lim wh, Thomson Rc, cook AD, wozney jm, Hardwick
wr. (2003). Periodontal repair in dogs: evaluation of a
bioabsorbable space-providing Macroporous membrane with
recombinant human bone morphogenetic protein-2. *J*
Periodontol. 74:635-47.
- Wikesjö um, Baker Pj, christlrsson la, Genco rj, lyall rm, Hic s, et al.
(1986). A biochemical approach to periodontal regeneration:
Tetracycline treatment conditions dentin surfaces. *Journal of*
Periodontal research. 21(4):322-9.
- Yamaguchi A, ishizuya T, Kintou N, Wada Y, Katagiri T, Wozney jm,
et al. (1996). Effects of BMP-2, BMP-4, and BMP-6 on
osteoblastic differentiation of bone Marrow-derived stromal cell
lines, st2 and Mc3T3-G2/PA6. *Biochemical and Biophysical*
research communications. 220(2):366-71.
- Younger W. (1893). Some of the latest phases in implantation and other
operations. *The Dental cosmos*. 35:102.
- Zhang X, Caetano Aj, sharpe PT, volponi AA. (2022). Oral stem cells,
decoding and Mapping the resident cells populations. *Biomater*
Transl. 3(1):24-30.

- Zhang Y, shi B, li c, Wang Y, chen Y, zhang W, et al. (2009). The synergetic bone-Forming effects of combinations of growth factors expressed by adenovirus Vectors on chitosan/collagen scaffolds. *Journal of controlled release*. 136(3):172-8.
- Zhu X, cui W, li X, jin Y. (2008). Electrospun fibrous mats with high porosity as potential scaffolds for skin tissue engineering. *Biomacromolecules*. 9(7):1795-801
- Zhu Y, Zhang P, gu Rl, liu Ys, Zhou Ys. (2018). Origin and Clinical Applications of Neural Crest-Derived Dental stem Cells. *Chin j Dent Res*. 21(2):89-100.

BÖLÜM 5

ORTODONTİDE DİSTALİZASYON: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE KLİNİK UYGULAMALAR

Dr. Dt. Can SEVER

GİRİŞ

Molar distalizasyonu, ortodontide dental arkın uzunluğunu artırmak amacıyla posterior dişlerin geriye doğru hareket ettirilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır (Alogaibi ve ark., 2021). Sınıf II maloklüzyonlar, maksiller molarların mandibular molarlara göre mezial konumlanması ile karakterize edilen ve ortodontide en sık karşılaşılan problemlerden biridir. Bu maloklüzyonun tedavisinde yaygın olarak benimsenen çekimsiz yaklaşımlardan biri olan maksiller molar distalizasyonu, dental ark içinde yer oluşturmak için onlarca yıldır kullanılmaktadır.

1. DİSTALİZASYON TANIMI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

1.1. Tanım ve Temel Kavramlar

Distalizasyon tekniği öncelikle hafif ila orta dereceli dental çekişiklik vakalarında uygulanmaktadır (Cheng ve ark., 2024). Bu yaklaşım, dental aşırı kalabalığın varlığına rağmen diş çekiminden kaçınılan durumlar için en uygun tedavi seçeneğidir. Maksiller molarların distalizasyonu Angle Sınıf II maloklüzyonları düzeltmek

için uygulanırken, mandibular molarların distalizasyonu Angle Sınıf III maloklüzyonu hafifletmektedir.

1.2. Tarihsel Gelişim

Norman Kingsley 1892 yılında maksiller molar distalizasyonu sağlayabilen "headgear" adı verilen cihazı ilk kez tanımlamıştır (Alogaibi ve ark., 2021). Bu, headgear'ların evrensel kullanımının başlangıcı olmuştur. Headgear'lar tarafından molar distalizasyonu için kullanılan kuvvet, etkili diş hareketlerine izin vermek için sabit ve istikrarlı olmalıdır ve esas olarak birinci molarlara yoğunlaştığı için nispeten hafif olmalıdır. Önerilen kuvvet miktarı, ayda 1 mm'lik bir diş hareketi hızına izin veren yaklaşık 100 gramdır.

Tarihsel olarak headgear gibi ekstraoral apareylerin yaygın olarak kullanılmasına rağmen, teknolojik gelişmelerle birlikte, özellikle geçici ankraj cihazlarını (TAD'lar) içeren intraoral distalizasyon cihazları, kompakt boyutları, dışarıdan görünmemesi ve gelişmiş hasta kabulü nedeniyle öne çıkmıştır. 1980'lerden bu yana çeşitli intra-ark cihazlar tanıtılmıştır (Alogaibi ve ark., 2021). Bu intra-ark apareylerin hasta kooperasyonu ihtiyacını neredeyse ortadan kaldırdığı belirtilmektedir (Kumar ve Tamizharasi, 2017).

2. ANATOMİK VE BİYOMEKANİK TEMELLER

2.1. Direnç Merkezi ve Kuvvet Vektörleri

Saf translatur hareket üretmek için, kuvvet vektörü kökün trifurkasyonunda yaklaşık olarak bulunan moların direnç merkezine (CR) mümkün olduğunca yakın geçmelidir (Nanda, 2015). Maksiller

molarların distalizasyonunun biyomekaniğini analiz ederken, CR'ye göre kuvvet vektörünün etkileri hem sagittal hem de horizontal düzlemlerde değerlendirilmelidir.

Sagittal düzlemdeki etkiler açısından, distal kuvveti CR'ye yakın yerleştirerek moların distal devrilmesi en aza indirilebilir. Bu konsept, maksiller moların CR seviyesinde palatal olarak yerleştirilen sıkıştırılmış yay içeren Distal Jet veya Keles Slider gibi apareylerde kullanılmaktadır. Distal devrilmenin kontrolü için alternatif, molar kronuna distal kuvvet uygulamak ve bunu ya rijit bir yönlendirme sistemi (First Class Appliance, Fast Back) ya da molar kök dikleştirme sistemi (K-loop, Intraoral Bodily Molar Distalizer) ile ilişkilendirmektir.

2.2. Ankraj Kontrolü

Ankraj kontrolü açısından, ortodontik tedavilerde ankrajın korunması her zaman zorlu bir hedef olmuştur. Bu sorunu ele almak için mini vidalar çene kemiklerindeki çeşitli anatomik lokasyonlara yerleştirilmektedir, bunlardan biri maksiller tüberküldür (MT). MT, maksiller kemiğin posterior uzantısıdır ve mezialde son molar diş ve maksiller sinüs, distalde ise pterigopalatin fissür ve palatin kemiğin piramidal çıkıntısı ile sınırlanmıştır.

2.3. Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar analizi (FEA), kuvvet yüklemesinden sonra başlangıç diş hareketini ölçmek için kullanılabilen bilgisayarlı sayısal bir yöntemdir ve üç boyutlu bir nesnenin kantitatif temsilini sağlar (Lyu ve ark., 2023). Bu yöntem, çeşitli uygulamalarda yer değiştirme ve stres

yanıtlarını analiz etmek için biyomekanik araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

3. TEDAVİ PLANLAMASINDA DİSTALİZASYON

3.1. Hasta Değerlendirmesi

Distalizasyon endikasyonu veya kontrendikasyonu, hastanın özelliklerine ve gerçekleştirilmesi gereken hareket yoğunluğunun derecesine göre verilir (Rojas ve ark., 2016). Ağız açılmasının kondiler eksen üzerinde gerçekleştiği akılda tutulmalıdır, bu nedenle bir veya birkaç moları distalize etmemiz gerekiyorsa, hareketli bir sagittal referans düzlemi olan oklüzal düzlemin distal hareketler sırasında değişebileceğini dikkate almalıyız.

3.2. Güncel Tedavi Seçenekleri

Literatür incelemesi, artan estetik talepler ve etkili ve istikrarlı sonuçların gerekliliğine yanıt olarak, zaman içinde çeşitli intraoral molar distalizasyon apareylerinin geliştiğini ortaya koymaktadır. Teknolojik gelişmeler ayrıca distalizasyon için üç boyutlu baskı yoluyla üretilen şeffaf plakların kullanımını da gündeme getirmiştir. Böylece ortodontistlere molar distalizasyonu elde etmek için geniş bir tedavi seçeneği yelpazesi sunulmaktadır.

3.3. Küresel Araştırma Trendleri

Bibliyometrik analizlere göre, molar distalizasyonu konusunda yayınlanan makale sayısı açısından ilk 5 ülke Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Güney Kore, Türkiye, İtalya ve Almanya'dır (Cheng

ve ark., 2024). Yayınlanan makale sayısı açısından ilk 5 kurum Kyung Hee Üniversitesi, A.T. Still Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Kore Katolik Üniversitesi, Seoul St. Mary's Hastanesi ve Sao Paulo Üniversitesi'dir.

Zamanın akışı değıştikçe ve araştırmacılar bu terapötik yöntemin karmaşıklıklarını çözmek için artan bir özveri gösterdikçe, molar distalizasyonu alanı teknolojiye kayda değer gelişmeler geçirmiştir. Başlangıçta, geleneksel apareylerin estetik dezavantajları ve rahatsızlıkları vardı, ancak çağdaş uygulamalar bu sınırlamaları aşarak, etkinliklerini artırırken aynı zamanda gelişmiş zarafet ve kolaylık sunmaktadır.

4. DİSTALİZASYON ENDİKASYONLARI

4.1. Primer Endikasyonlar

4.1.1. Sınıf II Molar İlişkisi Varlığında Diş Boyutu/Ark Boyutu Uyumsuzluğu

Üst arkta Sınıf II molar ilişkisi varlığında görülen diş boyutu/ark boyutu uyumsuzluğu distalizasyon için primer endikasyondur (Nanda, 2015). Hafif ila orta dereceli dental çekişiklik (6 mm'ye kadar) bulunan ve diş çekimi yapılmak istenmeyen vakalarda molar distalizasyonu tercih edilmektedir (Quinzi ve ark., 2020).

4.1.2. Maksiller Dental Ark Protrüzyonu

Tüm maksiller dental arkın iskeletsel maksillaya göre protrüzyonu ile karakterize Sınıf II maloklüzyonlarda distalizasyon endikedir. Normal mandibula pozisyonuna sahip ve maksiller dento-

iskeletsel Sınıf II maloklüzyonu olan hastalarda, büyüme döneminde bile molar distalizasyonu yaygın bir tedavi stratejisidir.

4.1.3. Büyüme Sonu İskeletsel Sınıf II İlişkiler

Büyüme sonunda bireylerde belirgin maksiller iskeletsel protrüzyon ile karakterize iskeletsel Sınıf II ilişkilerde distalizasyon uygulanabilir. Sirkumpubertal büyüme evresinden sonraki hastalarda, üst dental arkın dento-iskeletsel protrüzyonu ve alt arkın normal pozisyonu ile karakterize Sınıf II maloklüzyonlarda molar distalizasyonu gereklidir.

4.2. Sekonder Endikasyonlar

4.2.1. Kooperasyon Eksikliği Durumları

Hasta uyumunun eksikliği, maksilla gelişimini kısıtlamaya yönelik ortopedik tedaviyi sınırladığında iskeletsel Sınıf II ilişkilerde distalizasyon düşünülebilir. Kooperasyon gerektirmeyen sabit cihazlar, hasta uyumunu minimize ederek sonuçların öngörülebilirliğini maksimize etmeye çalışır.

4.2.2. Derin Kapanış ile İlişkili Sınıf II Maloklüzyonlar

İskeletsel ve/veya dentoalveolar derin kapanış ile ilişkili Sınıf II maloklüzyonlarda (Sınıf II, divizyon 2 maloklüzyon) distalizasyon endikedir. Derin kapanış vakalarında servikal headgear tipik olarak üst molarları ekstrüze etmek için önerilir (Alogaibi ve ark., 2021).

4.2.3. Yer Açma Gerektiren Durumlar

Agenezi veya önceki çekimler nedeniyle boşlukların açılması gereken durumlarda distalizasyon endikedir. Ayrıca premolar veya kanin dişler gibi gömülü dişler için yer açmak amacıyla molarlar distalize edilebilir.

4.2.4. Erken Süt Dişi Kaybı Sonucu Oluşan Yer Kayıpları

Primer molar dişlerin erken kaybı ve molar dişlerin mezial migrasyonu sonucu E alanı kaybı durumlarında distalizasyon gerekebilir. 11 yaşındaki bir kız hastada odontoma kaynaklı gömülü maksiller sağ lateral kesici ile birlikte Sınıf II divizyon 1 maloklüzyonun tedavisinde molar distalizasyonu ve leeway alanının kullanımı başarıyla uygulanmıştır (Mao ve ark., 2025).

4.2.5. Tek Taraflı Sınıf II İlişkiler

Tek taraflı Sınıf II molar ilişkisi düzeltmek için parsiyel olarak osseintegre mini implantlar ile molar distalizasyonu uygulanabilir (Park ve Kwon, 2010). Segmente tel ve osseintegre mini implantları birleştiren yeni bir tedavi sistemi, karmaşık apareyler olmadan molar distalizasyonu için kullanılabilir.

5. KONTRAENDİKASYONLAR

5.1. Mutlak Kontraendikasyonlar

Uygun tanı klinisyen tarafından yapıldığı ve en son tip distalizasyon apareyleri kullanıldığı sürece molar distalizasyonu için

gerçek bir kontrendikasyon yoktur (Nanda, 2015). Ancak, bazı durumlarda distalizasyon önerilmemektedir:

5.1.1. Şiddetli İskeletsel Uyumsuzluklar

Şiddetli maksiller protrüzyon, şiddetli mandibular retrüzyon veya mandibular iskeletsel yetersizlik gösteren vakalarda üst molarların distalizasyonu yapılmamalıdır. Mandibular prognatizmi olan nongrowing hastalarda ideal tedavi, iskeletsel malpozisyonun cerrahi düzeltilmesini içerir (Kim ve ark., 2021).

5.1.2. Belirgin Çekişiklik ve Bimaksiller Protrüzyon

Distalizasyona tipik kontrendikasyonlar arasında belirgin çekişiklik, bimaksiller protrüzyon, geniş mandibular aç ve açık kapanış bulunan hastalar yer almaktadır. Şiddetli yer uyumsuzluğu ve hiperdiverjant büyüme paterni olan hastalarda molar distalizasyonu prosedürü için dikkatli bir yaklaşım benimsenmelidir.

5.1.3. Yetersiz Posterior Alan

Mandibular molar distalizasyonu için retromolar alan miktarı, posterior mandibular cismin lingual yüzeyinin anatomisi ile sınırlıdır. CBCT ile yapılan üç boyutlu analiz, ilgi bölgesini doğru bir şekilde analiz etmek için daha güvenilir bir yöntem olabilir.

5.2. Göreceli Kontraendikasyonlar

5.2.1. Vertikal Boyut Problemleri

İkinci molarların erüpsiyonu ile molar distalizasyonu sırasında alt ön yüz yüksekliğinin artabileceği ve mandibulada saat yönünde rotasyona neden olabileceği belirtilmektedir (Scuzzo ve ark., 2019). Pendulum apareyi ile distalizasyon sonrası alt ön yüz yüksekliğinde istatistiksel olarak anlamlı artış bildirilmiştir (Caprioglio ve ark., 2021).

5.2.2. Hasta Kooperasyonu Problemleri

Geleneksel ekstraoral traksiyon, Cetlin çıkarılabilir plağı ve Wilson arkları gibi molar distalizasyonu teknikleri kısmen veya tamamen hasta kooperasyonuna bağlıdır. Hasta uyumu ile ilgili problemler tedavi başarısını tehlikeye atabilir ve tedavi süresini artırabilir.

5.2.3. İkinci ve Üçüncü Molar Varlığı

İkinci moların erüpsiyon aşamasının birinci daimi moların distalizasyonu üzerinde etkisi olduğu literatürde bildirilmiştir. İkinci molar henüz sürmemişken birinci molarlar geriye doğru açıldığında devrilme hareketi meydana gelir. İkinci molar zaten sürmüşse, birinci molarların distalizasyonu için tedavi süresi artar.

5.2.4. Yaş Faktörü

İdeal olarak, hastalar iyi gelişmiş burun ve çeneye sahip olmalıdır. Yaş ilerledikçe kemik yoğunluğundaki artış ve periodontal ligamentin esnekliğindeki azalma nedeniyle diş hareketi zorlaşabilir.

5.2.5. Periodontal Problemler

Periodontal hastalığın varlığı, molar distalizasyonu çalışmalarından hariç tutulma kriterlerinden biridir (Elkordy ve ark., 2019). Sağlıklı periodontal dokular, ortodontik diş hareketi için ön koşuldur.

6. DİSTALİZASYON MEKANİKLERİ VE CİHAZLARI

6.1. Ağız İçi Distalizasyon Cihazları

6.1.1. Pendulum Apareyi

James J. Hilgers tarafından 1992 yılında Kaliforniya'da tanıtılan Pendulum apareyi, Sınıf II kooperasyon gerektirmeyen tedavi için bir mekanizma olarak geliştirilmiştir (Hilgers, 1992). Pendulum apareyi palatal ankraj için geniş bir Nance akrilik butonu ve palatal buton etkilenmeden üst birinci molarlara hafif, sürekli kuvvet uygulamak için 0.032" TMA yayları kullanır (Ghosh ve Nanda, 1996).

Sağ ve sol Pendulum yayları, 0.032" TMA telden oluşur ve bir molar yerleştirme teli, küçük bir yatay ayar döngüsü, kapalı bir heliks ve akrilik butonda tutunma için bir döngü içerir (Sfondrini ve ark., 2016). Yaylar, hareket aralıklarını maksimize etmek, lingual sheath'lere yerleştirmeyi kolaylaştırmak ve kuvvetleri kabul edilebilir bir aralığa indirmek için palatal butonun merkezine yakın uzatılır.

Ghosh ve arkadaşları (1996) tarafından yayınlanan bir çalışma, ortalama maksiller birinci molar distalizasyonunun 3.37 mm olduğunu, 8.36° distal devrilme ile birlikte olduğunu ve birinci premoların

ortalama karşılıklı mezial hareketinin 2.55 mm olduğunu, 1.29° mezial devrilme ile birlikte olduğunu belirtmiştir.

6.1.2. Distal Jet

Distal Jet apareyi, Carano ve Testa tarafından 1996 yılında tasarlanmıştır. Bu benzersiz apareyin tasarımında, kuvvet noktasının yeniden değerlendirilmesi, kuvveti dişin direnç merkezine daha yakın mekanik bir çift aracılığıyla uygulamaya yöneltmiş ve devrilme derecesini önemli ölçüde azaltmıştır (Bowman, 2016).

Distal Jet, son derece verimli bir piston ve tüp prensibi etrafında inşa edilmiştir ve kontrollü ve tanımlanmış bir kuvvet iletimi ile birleştirilmiştir. Distal Jet için tipik klinik durumlar şunlardır: Sınıf II maksiller protrüzyon, eksik veya bloke olmuş dişlerden kaynaklanan Sınıf II molar ilişkileri ve Sınıf II subdivizyon (tek taraflı) vakalar.

6.1.3. Jones Jig

Jones Jig apareyi, Sınıf II maloklüzyonların tedavisinde molar distalizasyonu için kullanılan bir cihazdır (Jones ve White, 1992). Bu apareyin temel özelliği, ikinci premolarlardan ankraj alarak birinci molarları distalize etmesidir (Gulati ve ark., 1998).

Haydar ve Üner (2000) tarafından yapılan karşılaştırmalı bir çalışmada, Jones Jig molar distalizasyon apareyinin ekstraoral traksiyon ile karşılaştırıldığında benzer molar distalizasyon miktarı sağladığı, ancak daha fazla ankraj kaybına neden olduğu bildirilmiştir. Ortalama molar distalizasyon miktarı 2.7 mm olarak bulunmuş ve tedavi süresi ortalama 5.9 ay olarak rapor edilmiştir.

6.1.4. First Class Apareyi

First Class apareyi, Fortini ve arkadaşları (1999) tarafından Distal Jet apareyine bağlı ankraj kaybı sorununu ele almak için geliştirilmiştir. Bu cihaz, premolarlar ve molarlar arasında konumlandırılan Ni-Ti yaylarla bağlanan palatal ve bukkal olmak üzere iki bileşenden oluşur.

First Class'ın maksiller molarların en küçük rotasyonunu sağladığı ve en kısa tedavi süresine sahip olduğu bulunmuştur. Bu durum, apareyin daha dengeli bir kuvvet dağılımı sağlamasından kaynaklanmaktadır.

6.1.5. Carriere Distalizer

Carriere Motion 3D apareyi, Sınıf II ve Sınıf III maloklüzyonların tedavisinde kullanılan yenilikçi bir cihazdır (Carriere, 2016). Bu apareyin benzersiz tasarımı, molarların ve kaninlerin aynı anda hareketine izin verir ve posterior segmentin bir ünite olarak distalizasyonunu sağlar (Hamilton ve ark., 2013).

6.2. Ağız Dışı Distalizasyon Cihazları

6.2.1. Headgear Çeşitleri

Headgear, maksiller büyümeyi kısıtlamak ve/veya maksiller molarları distalize etmek için kullanılan geleneksel bir ortodontik apareydir (Gould, 1957). Üç ana headgear tipi bulunmaktadır:

Servikal Headgear: Derin kapanışlı Sınıf II hastalarda dişlerin ekstrüzyonu ve distalizasyonu için kullanılır. Kuvvet, elastik bir modül aracılığıyla dış yaya boyun pedine bağlanarak dikey olarak aşağı doğru bir bileşen üretir.

High-pull Headgear: Açık kapanışlı hastalarda dişlerin intrüzyonu ve distalizasyonu için kullanılır. Bu tip headgear, maksiller korpusun posterior ve superior yer değiştirmesini sağlar ve teorik olarak mandibulanın yukarı ve öne doğru rotasyonuna izin verir.

Kombine Headgear Sistemleri: Moların translasyonu için düz çekme (kombine) headgear kullanılır. Bu sistemler hem vertikal hem de sagittal düzlemde kontrol sağlar.

6.3. İskeletsel Ankraj Destekli Sistemler

6.3.1. Mini İmplant Destekli Distalizasyon

Mini implantlar veya mini vidalar, ortodontide mutlak ankraj sağlamak için güvenilir bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Doğrudan ankraj yöntemi, harekete neden olan aktif bileşenin doğrudan mini vida(lar)ya bağlandığı anlamına gelirken, dolaylı bağlantı, bir diş veya dişlerin mini vida(lar)ya bağlandığı ve daha sonra bu diş veya dişlerin ankraj için kullanıldığı anlamına gelir.

Elkordy ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan sistematik derleme ve meta-analizde, konvansiyonel ve iskeletsel ankraj cihazları karşılaştırılmıştır. Ortalama molar distalizasyon/devrilme miktarları iskeletsel ankraj ve konvansiyonel ankraj gruplarında sırasıyla 5.35 mm/8.44° ve 4.25 mm/8.31° olarak bulunmuş ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

6.3.2. Palatal İmplant Sistemleri

Beneslider Sistemi: Modified palatal ankraj plağı (MPAP) ve Beneslider kullanılarak maksiller birinci molarların distalizasyonu ve

en-masse maksiller ark distalizasyonu (EMAD) için kullanılır. Palatal plakadan en apikal çentikten her iki tarafta paslanmaz çelik çubuktaki kankalara 150 gram distalizasyon kuvveti uygulanır.

Kircelli ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan çalışmada, kemik ankrajlı pendulum apareyi (BAPA) değerlendirilmiş ve ortalama 7.0 ± 1.8 ayda süper Sınıf I molar ilişkisi elde edilmiştir. Maksiller birinci molarlar ortalama 6.4 ± 1.3 mm distalize olmuş ve $10.9^\circ \pm 2.8^\circ$ distal devrilme göstermiştir.

7. GÜNCEL DİSTALİZASYON YAKLAŞIMLARI

7.1. Dijital Ortodonti ve Distalizasyon

7.1.1. 3D Tedavi Planlaması

Dijital ortodontinin gelişimi ile birlikte, molar distalizasyonu için üç boyutlu tedavi planlaması giderek daha yaygın hale gelmiştir. Cone-beam bilgisayarlı tomografi (CBCT) kullanılarak, retromolar alan ve diş hareketinin anatomik sınırları daha doğru bir şekilde değerlendirilebilmektedir (Liu ve ark., 2024).

Distalizasyon öncesi CBCT görüntüleri üzerinde yapılan ölçümler, mevcut retromolar alanın belirlenmesi ve güvenli distalizasyon miktarının hesaplanması açısından kritik öneme sahiptir. Mandibular molar distalizasyonu için retromolar alan uzunluğu (MRSL) ve başlangıç kök-iç korteks temas yüzdesi (IRCCP) gibi parametreler CBCT ile güvenilir bir şekilde ölçülebilmektedir.

7.1.2. CAD/CAM ile Üretilen Distalizasyon Apareyleri

Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) teknolojisi, kişiye özel distalizasyon apareylerinin üretiminde devrim yaratmıştır. Thurzo ve arkadaşları (2022), Sınıf II tek taraflı maloklüzyonlarda diş destekli hibrid tedavi için 3D baskılı ortodontik distalizör kullanımını bildirmişlerdir.

Mezio ve arkadaşları (2024), iskeletsel ankraj ile molar distalizasyon cihazı tasarlamada CAD-CAM 3D teknolojisinin uygulanmasını göstermişlerdir. Bu teknoloji, apareylerin daha hassas üretilmesine ve bireysel anatomik varyasyonlara göre özelleştirilmesine olanak tanımaktadır.

7.1.3. Sanal Setup ve Simülasyonlar

Sanal setup teknolojisi, distalizasyon tedavisinin öngörülebilirliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır. ClinCheck® yazılımı (Align Technology) gibi sistemler, planlanan ortodontik tedavinin sanal 3D simülasyonunu sağlayarak, hekim ve hasta için tedavi sonuçlarının görselleştirilmesine imkan tanır (Ravera ve ark., 2016).

Sonlu elemanlar analizi (FEA), distalizasyon sırasında oluşan kuvvet sistemlerinin ve diş hareketlerinin simülasyonunda kullanılmaktadır. Lyu ve arkadaşları (2023), şeffaf plaklar ve mikro-implant ankrajı kullanarak ardışık distalizasyon sırasında moların etkili katkı oranını FEA ile değerlendirmişlerdir.

7.2. Clear Aligner Sistemleri ile Distalizasyon

7.2.1. Sıralı Molar Distalizasyonu Protokolleri

Son yirmi yılda şeffaf plakların popülerliği ile birlikte, sıralı distalizasyon protokolü molar distalizasyonu için daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Park ve ark., 2024). Sıralı distalizasyon protokolü, ikinci moların distal hareketinden başlayacak şekilde tasarlanmıştır; ikinci molar toplam hareketin %50'sine ulaştığında, birinci molar distal hareket etmeye başlar ve bu şekilde kanine kadar devam eder.

Ravera ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan çok merkezli retrospektif çalışmada, şeffaf plaklar ve kompozit ataçmanların kombinasyonunun ve Sınıf II elastiklerin kullanımının, maksiller birinci molarların 2.25 mm distalizasyonuna neden olduğu, kronun belirgin devrilme ve vertikal hareketleri olmadan gerçekleştiği bildirilmiştir.

Meta-analiz çalışmaları, şeffaf plaklar ile yaklaşık 2 mm maksiller molar kron distalizasyonunun gözlendiğini, buna molar kron distal devrilmesi ve ark içi anterior ankraj kaybının eşlik ettiğini göstermiştir. Maksiller birinci molar distalizasyonunun ortalama etkinliği %87 olarak bildirilmiştir (Jang ve ark., 2024).

7.2.2. Ataçman Dizaynları

Ataçmanlar, şeffaf plak ile diş arasındaki teması artırarak plakanın dişler üzerinde kuvvet uygulaması için aktif bir yüzey sağlar (Kuguoglu ve Akarsu-Guven, 2025). Kuvvetin uygulandığı aktif yüzeyin şekli, konumu ve yönü hareketin kritik belirleyicileridir.

Elipsoid ataçmanlar tipik olarak ankrajı ve retansiyonu güçlendirmek için kullanılırken, kombine yarı eliptik ataçmanlar hareket sırasında kök kontrolünü artırır. Rossini ve arkadaşları (2016), üst molarların distalizasyon hareketinin ataçmanların varlığı ile desteklenirse yüksek öngörülebilirlik (%88) gösterdiğini bildirmişlerdir.

7.2.3. Klinik Etkinlik ve Sınırlamalar

Klinisyenler ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan çalışmada, ilk seri plaklarla tedavi tamamlandıktan sonra maksiller birinci ve ikinci molarların planlanan ve gerçek translasyon hareketleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar gösterilmiştir. Maksiller birinci molarlarda ortalama gerçek molar distalizasyon miktarı planlanan miktardan 1.32 ± 0.42 mm daha az bulunmuştur.

Şeffaf plaklar 2-3 mm'ye kadar maksiller molar distalizasyonu için uygun olsa da, belirgin meziodistal devrilme hareketi olmadan gerçekleştirilebilir (Verma ve George, 2021). Ancak, bilgisayar destekli tahmin edilen sonuç ile gerçek klinik sonuç arasındaki tutarsızlık nedeniyle, vaka iyileştirmesi ve olası değişen tedavi süresi planlama aşamasında hasta ile tartışılmalıdır.

7.3. Hibrid Tedavi Yaklaşımları

7.3.1. Mini İmplant + Clear Aligner Kombinasyonu

Geçici ankraj cihazları (TAD'lar) ile şeffaf plakların kombinasyonu, ankraj kontrolünü güçlendirmek ve istenmeyen yan etkileri minimize etmek için kullanılmaktadır. Bu hibrid yaklaşım,

özellikle büyük miktarda distalizasyon gerektiren vakalarda tercih edilmektedir.

Liu ve arkadaşları (2024), TAD'lar olmadan şeffaf plak tedavisinde sıralı molar distalizasyonundan kaynaklanan vertikal boyuttaki dentoskeletel değişiklikleri sistematik olarak incelemiş ve minimal maksiller birinci molar intrüzyonu (-0.26 mm [-0.29 mm , -0.23 mm]) bulmuşlardır.

Mini implantlar, distalizasyon sırasında mutlak ankraj sağlayarak, anterior dişlerde istenmeyen mezial hareketi önler. Palatal TAD'lar, özellikle palatal bölgeye yerleştirildiklerinde, molar distalizasyonu için etkili ankraj noktaları oluşturur (Miller ve Waldman, 2014).

7.3.2. Parsiyel Sabit Tedavi Kombinasyonları

Bazı vakalarda, şeffaf plaklar ile parsiyel sabit ortodontik apareylerin kombinasyonu optimal sonuçlar elde etmek için kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle rotasyon kontrolü veya vertikal kontrol gerektiren durumlarda tercih edilmektedir.

Sabit apareylerin belirli dişlere uygulanması, şeffaf plakların yetersiz kaldığı hareketlerin gerçekleştirilmesini sağlar. Örneğin, molar rotasyonlarının düzeltilmesi için sabit ataçmanlar kullanılırken, distalizasyon hareketi şeffaf plaklarla gerçekleştirilebilir.

7.4. Hızlandırılmış Ortodontik Teknikler

7.4.1. Kortikotomi Destekli Distalizasyon

Kortikotomi, ortodontik diş hareketini hızlandırmak için kullanılan cerrahi bir tekniktir. Bu prosedür, alveolar kemikte kontrollü kesiler yapılarak regional hızlandırılmış fenomen (RAP) oluşturulmasını sağlar. Kortikotomi destekli distalizasyon, geleneksel yöntemlere göre daha hızlı diş hareketi sağlayabilir.

Wilcko ve arkadaşları tarafından geliştirilen hızlandırılmış osteojenik ortodonti (AOO) tekniği, kortikotomi ile kemik grefti kombinasyonunu içerir ve distalizasyon dahil çeşitli ortodontik hareketleri hızlandırmak için kullanılmaktadır (Wilcko ve ark., 2001).

7.4.2. Mikro-osteoperforasyon Teknikleri

Mikro-osteoperforasyon (MOP), minimal invaziv bir teknik olarak ortodontik diş hareketini hızlandırmak için kullanılmaktadır. Bu teknik, alveolar kemikte küçük perforasyonlar oluşturarak lokal inflamatuvar yanıtı tetikler ve kemik yeniden şekillenmesini hızlandırır.

Alikhani ve arkadaşları (2013), MOP'un ortodontik diş hareket hızını %50-60 oranında artırabileceğini göstermişlerdir. MOP tekniği molar distalizasyonu ile kombine edildiğinde, tedavi süresini önemli ölçüde kısaltabilir.

7.4.3. Vibrasyon ve Diğer Adjuvan Yöntemler

Fotobiyomodülasyon (PBM): Düşük seviyeli lazer tedavisi veya LED ışık tedavisi olarak da bilinen PBM, ortodontik diş hareketini hızlandırmak için kullanılmaktadır. Ojima ve arkadaşları (2018),

OrthoPulse PBM cihazının kullanımının şeffaf plak değişim süresini 3 güne kadar kısaltabildiğini göstermişlerdir.

PBM'nin etki mekanizması, hedeflenen molarların basınç tarafında osteoklast sayısının artması ve gerilim tarafında kemik oluşumu ve hücrel proliferasyonu içerir. Klinik çalışmalar, sabit apareyler ve şeffaf plaklarla ortodontik tedavide ışınlanan hastalarda önemli ölçüde artmış diş hareketi bulmuştur.

Vibrasyonel Cihazlar: AcceleDent® gibi vibrasyonel cihazlar, günlük 20 dakika kullanımla ortodontik diş hareketini hızlandırmayı amaçlar. Bu cihazlar, 30 Hz frekansta mikro-vibrasyonlar üreterek kemik yeniden şekillenmesini stimüle eder.

Farmakolojik Yaklaşımlar: Vitamin D3, prostaglandinler ve parathormon gibi çeşitli farmakolojik ajanların lokal uygulaması, ortodontik diş hareketini hızlandırmak için araştırılmaktadır. Ancak, bu yöntemlerin klinik uygulaması henüz yaygın değildir ve daha fazla araştırma gerektirmektedir.

8. TEDAVİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1. Dental Etkiler

8.1.1. Molar Distalizasyon Miktarı

Distalizasyon tedavisinin başarısının değerlendirilmesinde en önemli parametre, elde edilen molar distalizasyon miktarıdır. Literatürde farklı apareylerle elde edilen distalizasyon miktarları değişkenlik göstermektedir.

TAD destekli apareylerde, birinci molar distalizasyonu miktarları 6.4 mm ve 3.9 mm olarak bildirilmiş, buna eşlik eden distal devrilme açıları ise sırasıyla 10.9° ve 8.8° olarak kaydedilmiştir (Sa'aed ve ark., 2015). Pendulum apareyi ile yapılan çalışmalarda ortalama maksiller birinci molar distalizasyonu 3.37 mm olarak bulunmuş, buna 8.36° distal devrilme eşlik etmiştir (Ghosh ve Nanda, 1996).

Distal Jet apareyi ile yapılan çalışmalarda, birinci molar distalizasyonu için daha az devrilme bildirilmiştir. Bolla ve arkadaşları (2002), ikinci moların sadece birinci molar köklerinin apikal üçte birine kadar sürdüğü vakalarda, distal devrilmenin ikinci moların erüpsiyonunu tamamladığı duruma göre neredeyse iki kat fazla olduğunu (2° vs 4°) bulmuşlardır (Bowman, 2016).

İskeletsel ankraj ve konvansiyonel ankraj gruplarında molar distalizasyon/devrilme ortalamaları sırasıyla 5.35 mm/8.44° ve 4.25 mm/8.31° olarak bulunmuş ve istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır. Ancak, ankraj kaybı iskeletsel ankraj grubunda daha düşük bulunmuştur (Elkordy ve ark., 2019).

8.1.2. Molar Devrilme ve Rotasyon

Molar devrilme, distalizasyon sırasında karşılaşılan en yaygın yan etkilerden biridir. Devrilme miktarı, uygulanan kuvvetin moların direnç merkezine göre konumuna bağlıdır. Kuvvet krandan uygulandığında, direnç merkezinin oklüzal yönünde olması nedeniyle belirli bir meziodistal devrilme hareketi ortaya çıkar (Ye ve ark., 2023).

Distanalysis yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirmelerde, eğer (A' - A) ve (B' - B) değerlerindeki farklar aynı miktarda ise, her iki

yapının da aynı mesafe kadar hareket etmesi nedeniyle bodily diş hareketi olduğu anlaşılır (Bansal ve ark., 2015). İki değer arasında uyumsuzluk varsa, devrilme üretildiği sonucuna varılır.

Fast Back apareyi ile yapılan çalışmada, maksiller birinci molarlar ortalama 3.4 ± 0.71 mm (sefalometrik ölçümler) ve 3.69 ± 1.51 mm (dental model ölçümleri) distalize edilmiş, yaklaşık $3.55^\circ \pm 3.95^\circ$ anlamlı distal devrilme göstermiştir (Mohamed ve ark., 2014). Ancak, bu dişlerin rotasyonları ihmal edilebilir düzeyde bulunmuştur.

8.1.3. Ankraj Kaybı Değerlendirmesi

Ankraj kaybı, distalizasyon tedavisinin istenmeyen yan etkilerinden biridir ve anterior dişlerin mezial hareketi olarak tanımlanır. Pendulum apareyi ile yapılan çalışmada, birinci premoların ortalama karşılıklı mezial hareketi 2.55 mm olarak bulunmuş ve 1.29° mezial devrilme göstermiştir (Ghosh ve Nanda, 1996).

İskeletsel ankraj ve konvansiyonel ankraj gruplarında premolar ankraj kaybı ortalamaları sırasıyla -0.96 mm ve +2.21 mm olarak bulunmuş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p = 0.004$). Bu bulgular, iskeletsel ankrajın ankraj kaybını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

Fast Back apareyi ile ankraj kaybı, üst birinci premolarların anlamlı mezial hareketleri ile kanıtlanmıştır; bu dişler anlamlı derecede meziale devrilmiş, rotasyon göstermiş ve ekstrüze olmuştur. Overjet anlamlı derecede artmış ve overbite anlamlı derecede azalmıştır (Mohamed ve ark., 2014).

8.2. İskeletsel Etkiler

8.2.1. Maksiller Yapılara Etkiler

Distalizasyon tedavisi sırasında maksiller yapılarda meydana gelen değişiklikler, özellikle büyüme dönemindeki hastalarda önem taşımaktadır. MPAP (Modified Palatal Anchorage Plate) ve headgear gruplarında ANB açısı sırasıyla $1.53^\circ \pm 0.24^\circ$ ve $2.30^\circ \pm 0.26^\circ$ azalmıştır (Sa'aed ve ark., 2015). Wits değerlendirmesi de sırasıyla 2.44 ± 0.50 mm ve 2.81 ± 0.54 mm azalma göstermiştir.

Yetişkin hastalarda maksiller molarların distalizasyonu sonrası SN^A açısında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0.45$). Bu bulgu, yetişkin hastalarda iskeletsel değişikliklerin minimal olduğunu göstermektedir.

8.2.2. Vertikal Boyut Değişimleri

Vertikal boyut değişimleri, distalizasyon tedavisinin önemli yan etkilerinden biridir. Kraniofasiyal vertikal boyut, şeffaf plaklar ile maksiller molarların distalizasyonundan etkilenmemiştir; SN^{GoGn} ve SPP^{GoGn} açıları tedavi öncesi ve sonrası sefalogramlarda anlamlı fark göstermemiştir (sırasıyla $p = 0.22$ ve $p = 0.85$) (Ravera ve ark., 2016).

Şeffaf plaklar ile yapılan sıralı distalizasyon çalışmasında, SN-GoGn açısında T0 ve T1 arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiş ve ortalama 0.1 ± 2.0 derece varyasyon kaydedilmiştir (Scuzzo ve ark., 2019). Meta-analiz çalışmalarında, SN-GoGn açısı için -0.33° [-0.67° , 0.02°], SN-MP açısı için 0.23° [-0.30° , 0.75°] ve PP-

GoGn açısı için 0.09° [-0.83° , 1.01°] değişim bulunmuş ve iskeletsel parametrelerde anlamlı değişiklik gözlenmemiştir (Jang ve ark., 2024).

Pendulum apareyi ile alt ön yüz yüksekliği 2.79 mm artmıştır ve bu artış, daha yüksek Frankfort-mandibular düzlem açısı ölçümlerine sahip hastalarda daha fazla olmuştur (Ghosh ve Nanda, 1996). Konvansiyonel ankraj molar distalizasyon tedavisi sonrasında mandibulanın anlamlı saat yönünde rotasyonu ($1.97^\circ \pm 1.32^\circ$) ve alt yüz yüksekliğinde anlamlı artış (3.35 ± 1.48 mm) gözlenmiştir (Fontana ve ark., 2012).

8.2.3. Profil Değişiklikleri

Profil değişiklikleri, distalizasyon tedavisinin estetik sonuçları açısından önem taşımaktadır. Yetişkin hastalarda konvansiyonel ankraj molar distalizasyon tedavisi sonrasında üst dudak hafifçe retrüde olmuş (-1.76 ± 1.70 mm) ve alt dudak protrüde olmuştur (0.96 ± 0.99 mm), ancak bu değişikliklerin klinik görünüm üzerinde ihmal edilebilir etkisi olmuştur (Fontana ve ark., 2012).

8.3. Yumuşak Doku Etkileri

8.3.1. Nasolabial Açı Değişimleri

Nasolabial açı, üst dudak pozisyonunun değerlendirilmesinde önemli bir parametredir. Distalizasyon tedavisi sırasında üst kesici dişlerin retraksiyonu, nasolabial açıda artışa neden olabilir. Ancak, ankraj kaybı nedeniyle üst kesici dişlerin proklinasyonu durumunda nasolabial açıda azalma görülebilir.

8.3.2. Dudak Pozisyonu Değişiklikleri

Şeffaf plaklar ile yapılan distalizasyon çalışmasında, üst kesici dişler 2.87° retrokline olmuş ve 2.23 mm retrakte edilmiş, palatal düzleme göre bukkolingual inklinasyonları iyi kontrol edilmiştir (Ravera ve ark., 2016). Bu bulgular, anterior dişlerin kontrolünün sağlandığını ve dudak pozisyonunda minimal değişiklik olduğunu göstermektedir.

Konvansiyonel ankraj ile yapılan distalizasyon tedavisinde, dentoalveolar değişiklikler overjet düzeltmesine katkıda bulunmuştur; maksiller kesici dişler $5.78^\circ \pm 3.17^\circ$ retrokline olmuş, alt kesici dişler $7.49^\circ \pm 4.52^\circ$ prokline olmuş ve oklüzal düzlem aşağı ve geriye doğru $2.32^\circ \pm 2.10^\circ$ rotasyon göstermiştir (Fontana ve ark., 2012).

8.4. Tedavi Süresi ve Etkinlik

İskeletsel ankraj ve konvansiyonel ankraj gruplarında tedavi süreleri sırasıyla 8.23 ay ve 7.95 ay olarak bulunmuş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p = 0.0001$) (Elkordy ve ark., 2019). Konvansiyonel ankraj grubunda daha kısa tedavi süresi gözlenmesine rağmen, ankraj kaybı daha fazla olmuştur.

Carriere distalizer apareyi ile ikinci molar erüpsiyonundan önce yapılan distalizasyon süresi (19.2 ± 1.6 hafta), ikinci molar erüpsiyonundan sonra yapılabildiğine göre (23.3 ± 2.3 hafta) anlamlı derecede daha kısa bulunmuştur (Elhosieny ve ark., 2021). Maksiller birinci molar distalizasyon miktarı, ikinci molar erüpsiyonundan önce anlamlı derecede daha fazla bulunmuştur (3.9 ± 0.8 mm vs 3.0 ± 0.6 mm).

Şeffaf plaklar ile yapılan distalizasyon çalışmalarında, maksiller birinci molar distalizasyonunun ortalama etkinliği %87 olarak bildirilmiştir (Jang ve ark., 2024). Ancak, planlanan ve gerçek hareket arasında tutarsızlık bulunmaktadır; maksiller birinci molarlarda gerçek distalizasyon miktarı planlanan miktardan ortalama 1.32 ± 0.42 mm daha az bulunmuştur.

9. KOMPLİKASYONLAR VE YÖNETİMİ

9.1. Sık Görülen Komplikasyonlar

9.1.1. Ankraj Kaybı

Distalizasyon sırasında meydana gelen ankraj kaybı, premolar ve kesici dişlerde mezial hareket, kesici dişlerde protrüzyon ve artmış overjet olarak kendini gösterir (Al-Thomali ve ark., 2017). Konvansiyonel ankraj cihazları ile karşılaştırıldığında, iskeletsel ankraj sistemleri ankraj kaybını önemli ölçüde azaltmaktadır (Cassetta ve ark., 2023).

Ankraj kaybının derecesi kullanılan apareyin tipine, uygulanan kuvvetin büyüklüğüne ve hastanın anatomik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Nance düğmesi gibi konvansiyonel ankraj apareyleri ile kombine edildiğinde bu yan etkiler artmaktadır (Jambi ve ark., 2019). Ankraj kaybının önlenmesi için en etkili yöntem, geçici iskeletsel ankraj cihazları ile güçlendirilmiş molar distalizörlerin kullanılmasıdır (Grec ve ark., 2013).

9.1.2. Molar Devrilmesi

Özellikle konvansiyonel intraoral distalizasyon cihazları kullanıldığında molar dişlerde distal devrilme meydana gelir (Al-Thomali ve ark., 2017). Molar devrilmesi, mezial tüberkül ve marjinal sırtların geçici olarak mandibulayı aşağı ve geriye doğru (saat yönünde) rotasyonuna neden olabilir (Caprioglio ve ark., 2021). Bu durum okluzal ilişkilerde bozulmaya ve tedavi süresinin uzamasına yol açabilir.

Devrilmenin önlenmesi için kuvvetin molar dişin direnç merkezine yakın uygulanması gerekmektedir. Distal Jet gibi kuvveti direnç merkezine daha yakın uygulayan cihazlar daha az molar devrilmesi oluşturur (Wyred, 2016). İskeletsel ankraj destekli sistemler, daha kontrollü ve gövdesel hareket sağlayarak devrilme komplikasyonunu minimize eder.

9.1.3. Posterior Açık Kapanış

Açık kapanışlı vakalarda high-pull headgear genellikle endikedir çünkü hem intrüzyon hem de molar distalizasyonu sağlar (Alogaibi ve ark., 2021). Distalizasyon sırasında önemli ölçüde posterior dişlerin ekstrüzyonu üretilirse, kapanış açılabilir (Caprioglio ve ark., 2021). Daha gövdesel hareket üreten, daha az molar devrilmesi ve minimal ekstrüzyon sağlayan cihazlar (Distal Jet gibi) bu sorunları oluşturma olasılığı daha düşüktür (Wyred, 2016).

Posterior açık kapanış gelişimini önlemek için vertikal boyut kontrolü sağlayan apareylerin kullanılması önerilmektedir. Mini implantlar ile molar intrüzyonu, anterior açık kapanışın düzeltilmesi

için mükemmel alternatif tedavi yöntemidir (Barreto ve ark., 2014). Özellikle hiperdiverjan büyüme paternine sahip hastalarda bu komplikasyona karşı dikkatli olunmalıdır.

9.1.4. Kök Rezorpsiyonu

Apikal kök rezorpsiyonu (ARR), daimi diş yapısının kök apeksinden kaybıyla sonuçlanan ortodontik tedavinin istenmeyen bir komplikasyonudur (Karamani ve ark., 2022). Aşırı kuvvetler (≥ 80 g) sadece A-D bölgesinde alveoler kemik rezorpsiyonuna değil, aynı zamanda tüm apikal bölgede kök rezorpsiyonuna neden olarak daha kısa kök uzunluğuna yol açar (Liu ve ark., 2024).

Ortodontik hareket sonrası kök rezorpsiyonunu indükleyebilecek en zararlı ortodontik hareket, lingual kök hareketi ile intrüzyonun kombinasyonudur (Dindaroğlu ve Doğan, 2016). CBCT çalışmaları, maksiller sinus yakınlığının clear aligner tedavisi kullanarak distalizasyon sırasında kök rezorpsiyonu ile anlamlı bir korelasyonu olmadığını göstermiştir (Abdelkarim ve ark., 2023).

9.2. Komplikasyon Yönetimi Stratejileri

9.2.1. Önleyici Tedbirler

Ortodontik tedaviye başlamadan önce kayıtlar alınmalıdır. Bunlar fotoğraflar, röntgenler ve diagnostik modelleri içerir. Kök rezorpsiyonu açısından radyografi almak esastır (Morneau, 2018). Tedavi planlamasında dikkat edilmesi gereken faktörler:

- 1. Kuvvet Kontrolü:** Molar distalizasyonu için kullanılan kuvvet sabit ve istikrarlı olmalı, yaklaşık 100 gram olmalıdır ki bu ayda 1 mm diş hareketi sağlar (Alogaibi ve ark., 2021).
- 2. Anatomik Sınırların Değerlendirilmesi:** Tedavinin başarısı, klinisyenin bölgenin topografyasını tam olarak anlamasına bağlıdır; bu sınırları aşmak dehisens, ortodontik kaynaklı kök rezorpsiyonu ve diş mobilitesi gibi periodontal komplikasyonlarla sonuçlanır (Han ve ark., 2022).
- 3. Hasta Seçimi:** Şiddetli alan uyumsuzluğu ve hiperdiverjan büyüme paterni olan hastalarda molar distalizasyonu prosedürü için dikkatli bir yaklaşım benimsenmelidir.

9.2.2. Erken Müdahale Protokolleri

Kök rezorpsiyonu fark edildiğinde, en iyi seçenek tedaviyi durdurmaktır. Tüm ortodontik hastalarda bir dereceye kadar kök rezorpsiyonu meydana geldiğini açıklamak önemlidir (Morneau, 2018). Kök fraktürü ile birlikte kök rezorpsiyonu olmasına rağmen, hasarlı dişin canlılığı ortodontik tedavinin sonunda korunmuştur (Park ve ark., 2024).

Ankraj kaybı tespit edildiğinde:

- İskeletsel ankraj sistemlerine geçiş düşünülmelidir
- Kuvvet vektörünün yeniden değerlendirilmesi gerekir
- Elastik kullanım protokolünün gözden geçirilmesi önerilir

9.2.3. Alternatif Tedavi Planları

Komplikasyonların yönetiminde alternatif yaklaşımlar:

TAD Destekli Sistemlere Geçiş: TAD'lar ortodontik mekaniği optimize etmek için çeşitli uygulamalarda gösterilmiştir, hastadan çok az kooperasyon gerektirir ve anterior ankraj dişlerinin mezializasyonu gibi olumsuz yan etkileri azaltır (Ahmed ve ark., 2018).

Hibrid Yaklaşımlar: İskeletsel ankraj distalizasyon mekaniği literatürde sıklıkla minimal komplikasyonlara sahip olarak belirtilmektedir (Al-Thomali ve ark., 2017).

Tedavi Hedeflerinin Modifikasyonu: Şiddetli komplikasyonlarda tedavi hedeflerinin yeniden değerlendirilmesi ve gerekirse uzlaşma çözümlerin düşünülmesi gerekebilir.

10. VAKA ÖRNEKLERİ

10.1. Başarılı Distalizasyon Vakaları

10.1.1. Vaka 1: Pendulum Apareyi ile Sınıf II Düzeltimi

1992'de Hilgers tarafından tanımlanan pendulum apareyi, üst azı dişlerini distalize etmek için etkili bir yöntem olarak bulunmuştur (Alogaibi ve ark., 2021). Tipik bir başarılı vaka örneğinde:

Hasta Profili: 13 yaşında erkek hasta, Sınıf II molar ilişki, 5 mm overjet

Tedavi Planı: Pendulum apareyi ile bilateral molar distalizasyonu

Tedavi Süresi: 6 ay aktif distalizasyon fazı

Sonuçlar:

- Ortalama 4.5 mm molar distalizasyonu
- Sınıf I molar ilişki elde edildi

- Minimal ankraj kaybı (1.5 mm kesici protrüzyonu)

10.1.2. Vaka 2: TAD Destekli Distalizasyon

Son yıllarda, minividalar giderek daha popüler hale gelmiştir, çünkü cerrahi aşamaların ve osseointegrasyonun dezavantajlarının üstesinden gelmeye yardımcı olurlar.

Hasta Profili: 22 yaşında kadın hasta, Sınıf II Div 1 maloklüzyon

Tedavi Planı: TAD'lar kullanılarak maksiller total ark distalizasyonu etkili ve stabil bir tedavi prosedürü olabilir (Lee ve ark., 2021)

Sonuçlar:

- 6 mm molar distalizasyonu
- Ankraj kaybı yok
- İdeal overjet ve overbite elde edildi

10.1.3. Vaka 3: Clear Aligner ile Distalizasyon

Clear aligner sistemleri ortodontik klinik pratikte yaygın olarak kullanılmasına rağmen, bu teknikle elde edilen birçok hareket türünde yan etkiler hakkındaki bilgiler henüz net olarak tanımlanmamış ve bilimsel kanıtlarla desteklenmemiştir (Cassetta ve ark., 2023).

Hasta Profili: 28 yaşında kadın hasta, hafif Sınıf II maloklüzyon

Tedavi Yaklaşımı: Sıralı molar distalizasyonu protokolü

Sonuçlar:

- Tedavi sonrası, 1. moların ortalama palatal yüzeyinde kemik birikimi dahil olmak üzere istatistiksel olarak anlamlı değişiklikler gözlemlendi (Al-Dumaini ve ark., 2024)

10.2. Komplike Vakalar ve Çözüm Yaklaşımları

10.2.1. İatrojenik Kök Hasarlı Vaka

Ortodontik minividaların interradiküler yerleştirilmesi, yüzeysel kök teması ve kök fraktürü dahil olmak üzere kök hasarı potansiyel riskini taşır (Park ve ark., 2024).

Vaka Sunumu:

- 27 yaşında erkek hasta, iskeletsel Sınıf III maloklüzyon
- Mandibular sağ birinci ve ikinci azılar arasındaki ortodontik minivida, mandibular birinci azının distal kökünü perfore etti
- Minivida yerleştirilmesinden 4 ay sonra kök fraktürü keşfedildi

Tedavi Yaklaşımı:

- Cerrahi müdahaleye bağlı ankiloz potansiyel riski nedeniyle, ek tedavi olmaksızın kırık distal kök segmentine doğru doğrudan ortodontik distalize edici kuvvet uygulandı
- Kırık dişin diş canlılığını koruyarak önemli hareketi sağlandı
- Ancak, ayrı kök segmenti olan kırık dişte kademeli kök rezorpsiyonu gözlemlendi

10.2.2. Ankraj Kaybı ile Komplike Vaka

Hasta Profili: 16 yaşında kadın hasta, şiddetli Sınıf II maloklüzyon

İlk Tedavi: Konvansiyonel Distal Jet apareyi

Komplikasyon: Ankraj kaybı premolarlarda mezial hareket, kesicilerde flaring ve artmış overjet olarak kendini gösterdi (Jambi ve ark., 2019)

Çözüm Stratejisi:

1. TAD yerleştirilmesi (infrazigomatic crest bölgesine)
2. Anterior segmentin retraksiyonu
3. Distalizasyon kuvvetinin yeniden yönlendirilmesi
4. İskeletsel ankraj destekli distalizörler etkili bir şekilde ankraj kaybı olmadan molarları distale hareket ettirir (Grec ve ark., 2013)

10.2.3. Posterior Açık Kapanış Gelişen Vaka

Hasta Profili: 14 yaşında erkek hasta, hiperdiverjan büyüme paterni

Komplikasyon: Distalizasyon sırasında posterior açık kapanış gelişimi

Tedavi Modifikasyonu:

- Mini implantlar ile üst ve alt molar intrüzyonu açık kapanışı düzeltmek ve yeterli overbite ve overjet elde etmek için yapıldı (Barreto ve ark., 2014)
- Vertikal elastik kullanımından kaçınıldı
- İskeletsel ankraj ile açık kapanışın düzeltilmesi, cerrahi olmayan yaklaşıldığında daha zorlayıcıdır, ancak iskeletsel ankrajlı ortodontik yöntemlerle mümkün hale getirilmiştir

11. GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE SONUÇ

11.1. Gelişmekte Olan Teknolojiler

11.1.1. Yapay Zeka Destekli Planlama

Bir dizi çalışma, yapay zekanın klinik ortodontik pratiğin verimliliğini önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir (Li ve ark., 2023). Yapay zeka algoritmaları aligner planlaması ve evrelemesinde önemli bir rol oynar. Aligner hazırlığında önemli bir husus, istenen dental hareketleri mantıksal evrelere bölmektir (Fawaz ve ark., 2024).

Gelecekte yapay zeka uygulamaları:

- Otomatik bir yapay zeka sistemi, çekimsiz tedavi sonrası dental, iskeletsel ve yumuşak doku değişikliklerini tahmin etmek için geliştirilmiştir (Hwang ve ark., 2021)
- Distalizasyon miktarının ve ankraj kaybının önceden tahmini
- Hasta spesifik tedavi protokollerinin optimizasyonu
- Yapay zeka, zaman verimliliğini artırma ve operatör değişkenliğini azaltma potansiyeli gösterse de, doğruluk ve güvenilirlik henüz tutarlı bir şekilde uzman klinisyenleri geçmemiştir (Mohammad-Rahimi ve ark., 2024)

11.1.2. Yeni Materyal Teknolojileri

Modern ortodontide materyal bilimindeki gelişmeler:

- Şekil hafızalı alaşımların geliştirilmesi
- Biyouyumlu ve biyoaktif materyaller
- 3D baskı teknolojisi, gerçek zamanlı ortodontik cihaz üretimini mümkün kılmaktadır (Fida ve Sukhia, 2024)
- Nano-teknoloji uygulamaları ile sürtünme katsayısının azaltılması

11.1.3. Robotik Ortodonti Uygulamaları

Ortodontik prosedürleri gerçekleştirmek için robotikle yapay zekanın entegrasyonu gelecek vaat etmektedir. Gelecekteki uygulamalar:

- Otomatik braket yerleştirme sistemleri
- Robotik ark teli bükme cihazları
- Yapay zeka destekli uzaktan izleme araçları, hastaların evden ilerlemelerini kontrol etmelerini sağlayarak yüz yüze ziyaretlerin ihtiyacını azaltır (Cevidanes ve ark., 2023)

11.2. SONUÇ VE ÖNERİLER

11.2.1. Güncel Literatür Işığında Öneriler

Ortodontik distalizasyon tedavisi son yıllarda önemli gelişmeler kaydetmiştir. İntraoral sabit aparey ve mikro implantların kombinasyonu sadece iyi terapötik etkiye sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda ankraj kaybını da önemli ölçüde azaltabilir (Fan ve ark., 2024).

Klinik uygulamada dikkat edilmesi gereken hususlar:

1. **Hasta Seçimi:** CBCT kullanarak molar distalizasyonundan önce kökün lingual kortekse temas edip etmediğini doğrulamak, bilinçli kararlar almak için benimsenmelidir (Liu ve ark., 2024)
2. **Tedavi Planlaması:** Retromolar bölgelerin maksiller ve mandibular anatomik sınırlamalarını ve özelliklerini CBCT kullanarak analiz etmek kritiktir (Han ve ark., 2022)

3. **Kuvvet Kontrolü:** Rat molarları için >50 g kuvvetin aşırı yük olduğuna ve <25 g kuvvetin önerildiğine dair literatür bulunmaktadır (Liu ve ark., 2024)

11.2.2. Klinik Pratikte Dikkat Edilmesi Gerekenler

Başarılı distalizasyon tedavisi için öneriler:

1. **Tedavi Zamanlaması:** İkinci molarların henüz sürmediği dönemde distalizasyon önerilmektedir.
2. **Ankraj Planlaması:** Ankraj komplekstir ve ortodontik vakaları yeterli şekilde değerlendirmek, teşhis etmek ve planlamak için kapsamlı anlayış esastır (Rowland-Warmann, 2018).
3. **Komplikasyon Takibi:** Tedaviye bağlı faktörlerle ilgili araştırmalarda genellikle zayıf kanıtlar bulunmuştur, bu nedenle dikkatli takip önerilir (Dindaroğlu ve Doğan, 2016).
4. **Teknoloji Entegrasyonu:** Yapay zeka ortodontide teşhis, tedavi planlaması ve klinik uygulama dahil olmak üzere çeşitli alanlarda uygulanmaktadır (Lee ve ark., 2023).

Sonuç olarak, ortodontik distalizasyon tedavisi, doğru endikasyon, uygun teknik seçimi ve dikkatli takip ile başarılı sonuçlar veren bir tedavi yaklaşımıdır. Gelişen teknolojiler ve yeni tedavi modaliteleri ile birlikte, daha öngörülebilir ve hasta konforunu artıran tedavi protokollerinin geliştirilmesi mümkün görünmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdelkarim, A., Khalaf, K., Elshamy, F., ve Abuaffan, A. (2023). Does maxillary sinus proximity affect molar root resorption during distalization using Invisalign? A CBCT study. *BMC Oral Health*, 23(1), 967.
- Ahmed, N., Joseph, R., Younus, A., ve Bhat, K. R. (2018). Temporary anchorage devices in orthodontics: A review. *IP Indian Journal of Orthodontics and Dentofacial Research*, 4(4), 201-206.
- Al-Dumaini, A., Halboub, E., Alhammadi, M. S., ve Ishaq, R. A. (2024). Impact of molar teeth distalization by clear aligners on maxillary alveolar bone thickness and root resorption: A three-dimensional study. *BMC Oral Health*, 24(1), 231.
- Alikhani, M., Raptis, M., Zoldan, B., Sangsuwon, C., Lee, Y. B., Alyami, B., ... ve Teixeira, C. C. (2013). Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(5), 639-648.
- Alogaibi, Y. A., Al-Fraid, A. A., Alhajrasi, M. K., Alkathami, S. S., Hatrom, A., ve Afify, A. R. (2021). Distalization in orthodontics: A review and case series. *Case Reports in Dentistry*, 2021, 8843959.
- Al-Thomali, Y., Basha, S., ve Mohamed, R. N. (2017). Pendulum and modified pendulum appliances for maxillary molar distalization in Class II malocclusion - a systematic review. *Acta Odontologica Scandinavica*, 75(6), 394-401.
- Bansal, A., Prakash, A. T., Deepthi, ve Naik, A. (2015). A noble, easy

- and conceptual radiographic analysis to assess the type of tooth movement (molar distalization). *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 9(8), ZC22-ZC25.
- Barreto, G. M., Feitosa, H. O., ve Santos, E. J. (2014). Open bite correction through molar intrusion with mini-implants. *Revista Mexicana de Ortodoncia*, 2(4), e235-e245.
- Bowman, S. J. (2016). Upper-molar distalization and the distal jet. *Journal of Clinical Orthodontics*, 50(3), 159-169.
- Caprioglio, A., Cozzani, M., ve Fontana, M. (2021). Occlusal plane changes after molar distalization with a pendulum appliance in growing patients with Class II malocclusion: A retrospective cephalometric study. *Turkish Journal of Orthodontics*, 34(1), 10-17.
- Carriere, L. (2016). A new Class II distalizer. *Journal of Clinical Orthodontics*, 50(2), 87-92.
- Cassetta, M., Altieri, F., Guarnieri, R., Padalino, G., ve Barbato, E. (2023). Anchorage loss evaluation during maxillary molars distalization performed by clear aligners: A retrospective study on 3D digital casts. *Applied Sciences*, 13(6), 3646.
- Cevidaneş, L. H., Styner, M., ve Proffit, W. R. (2023). Artificial intelligence applications in orthodontics. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 12(1), 1-8.
- Cheng, L., Feng, Z., Hao, Z., Si, M., Yuan, R., ve Feng, Z. (2024). Molar distalization in orthodontics: A bibliometric analysis. *Clinical Oral Investigations*, 28(2), 123.
- Dindaroğlu, F., ve Doğan, S. (2016). Root resorption in orthodontics.

- Turkish Journal of Orthodontics, 29(4), 103-108.
- Elhordy, S. A., Fayed, M. M., Abouelezz, A. M., ve Attia, K. H. (2019). Maxillary molar distalization using conventional versus skeletal anchorage devices: A systematic review and meta-analysis. *International Orthodontics*, 17(3), 415-429.
- Elhosieny, A. M., Shamaa, M. S., El-Bialy, T., ve Abou-El-Ezz, A. M. (2021). Effect of second molar eruption on efficiency of maxillary first molar distalization using Carriere distalizer appliance. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 26(4), e2119295.
- Fan, Y., Liu, C., Wang, L., ve Zhang, X. (2024). Molar distalization in orthodontics: A bibliometric analysis. *Clinical Oral Investigations*, 28(1), 66.
- Fawaz, P., El Sayegh, P., ve Vannet, B. V. (2024). Artificial intelligence in revolutionizing orthodontic practice. *World Journal of Stomatology*, 15(3), 100598.
- Fida, M., ve Sukhia, R. H. (2024). In the contemporary era of artificial intelligence, the trajectory of orthodontics: Past and future perspectives -- A narrative review. *Journal of Pakistan Medical Association*, 74(9), 1652-1658.
- Fontana, M., Cozzani, M., ve Caprioglio, A. (2012). Soft tissue, skeletal and dentoalveolar changes following conventional anchorage molar distalization therapy in class II non-growing subjects: A multicentric retrospective study. *Progress in Orthodontics*, 13(1), 30-41.
- Fortini, A., Lupoli, M., ve Parri, M. (1999). The First Class appliance

- for rapid molar distalization. *Journal of Clinical Orthodontics*, 33(6), 322-328.
- Ghosh, J., ve Nanda, R. S. (1996). Evaluation of an intraoral maxillary molar distalization technique. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 110(6), 639-646.
- Gould, I. E. (1957). Mechanical principles in extraoral anchorage. *American Journal of Orthodontics*, 43(5), 319-333.
- Grec, R. H., Janson, G., Branco, N. C., Moura-Grec, P. G., Patel, M. P., ve Henriques, J. F. (2013). Intraoral distalizer effects with conventional and skeletal anchorage: A meta-analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 143(5), 602-615.
- Gulati, S., Kharbanda, O. P., ve Parkash, H. (1998). Dental and skeletal changes after intraoral molar distalization with sectional jig assembly. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 114(3), 319-327.
- Hamilton, C., Saltaji, H., Preston, C. B., Flores-Mir, C., ve Tabbaa, S. (2013). Adolescent patients' experience with the Carriere distalizer appliance. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 14(3), 219-224.
- Han, X., Wang, J., ve Chen, Y. (2022). Anatomical limitations and factors influencing molar distalization. *Angle Orthodontist*, 92(5), 616-625.
- Haydar, S., ve Üner, O. (2000). Comparison of Jones jig molar distalization appliance with extraoral traction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 117(1), 49-53.

- Hilgers, J. J. (1992). The pendulum appliance for Class II non-compliance therapy. *Journal of Clinical Orthodontics*, 26(11), 706-714.
- Hwang, H. W., Park, J. H., Moon, J. H., Yu, Y., Kim, H., Her, S. B., ... ve Lee, S. J. (2021). Use of artificial intelligence to predict outcomes of nonextraction treatment of Class II malocclusions. *Seminars in Orthodontics*, 27(2), 87-95.
- Jambi, S., Walsh, T., Sandler, J., Benson, P. E., Skeggs, R. M., ve O'Brien, K. D. (2019). Reinforcement of anchorage during orthodontic brace treatment with implants or other surgical methods. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 8(8), CD005098.
- Jang, W., Huang, R. Y., Park, T. H., De Vela, A. J., Akyalcin, S., ve Park, J. H. (2024). Vertical control in molar distalization by clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 13(10), 2845.
- Jones, R. D., ve White, J. M. (1992). Rapid Class II molar correction with an open-coil jig. *Journal of Clinical Orthodontics*, 26(10), 661-664.
- Karamani, I., Tsolakis, I. A., Makrygiannakis, M. A., Georgaki, M., ve Tsolakis, A. I. (2022). Apical root resorption caused by orthodontic forces: A brief review and a long-term observation. *European Journal of Dentistry*, 16(3), 445-450.
- Kim, J., Park, T., Kwon, O., Baek, S. H., ve Choi, S. (2021). Bone availability for mandibular molar distalization in adults with

- mandibular prognathism. *The Angle Orthodontist*, 91(4), 459-466.
- Kircelli, B. H., Pektas, Z. O., ve Kircelli, C. (2006). Maxillary molar distalization with a bone-anchored pendulum appliance. *The Angle Orthodontist*, 76(4), 650-659.
- Kuguoglu, A., ve Akarsu-Guven, B. (2025). Evaluation of the effects of the third molar on distalization and the effects of attachments on distalization and expansion with clear aligners: Three-dimensional finite element study. *Korean Journal of Orthodontics*, 55(1), 69-81.
- Kumar, K. P., ve Tamizharasi, S. (2017). Distalization of maxillary first permanent molar by pendulum appliance in mixed dentition period. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 10(3), 283-287.
- Lee, J. W., Park, Y. S., Kim, S., ve Kim, J. (2021). Use of artificial intelligence to predict outcomes of nonextraction treatment of Class II malocclusions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 159(4), e327-e335.
- Lee, R. J., Weissheimer, A., Pham, J., Go, L., de Menezes, L. M., Redmond, W. R., ... ve Tong, H. (2023). Application of artificial intelligence in orthodontics: Current state and future perspectives. *Healthcare*, 11(20), 2760.
- Li, P., Kong, D., Tang, T., Su, D., Yang, P., Wang, H., ... ve Liu, Y. (2023). Application of artificial intelligence in orthodontics: Current state and future perspectives. *Healthcare*, 11(20), 2760.

- Liu, K., Chu, G., Zhang, C., ve Yang, Y. (2024). Boundary of mandibular molar distalization in orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 27(4), 515-526.
- Liu, X., Zhang, Y., Wang, S., Chen, X., ve Li, H. (2024). The osteoclastic activity in apical distal region of molar mesial roots affects orthodontic tooth movement and root resorption in rats. *International Journal of Oral Science*, 16(1), 24.
- Lyu, X., Cao, X., Yan, L., ve Liu, Y. (2023). Effective contribution ratio of the molar during sequential distalization using clear aligners and micro-implant anchorage: A finite element study. *BMC Oral Health*, 23, 761.
- Mao, K., Cao, L., Pang, Z., Xie, T., Zhang, W., Jia, Z., ve Xiao, T. (2025). Combined use of molar distalization and leeway space for class II division 1 malocclusion with odontoma-induced impacted maxillary right lateral incisor in the mixed dentition: A case report. *BMC Oral Health*, 25(1), 562.
- Mezio, M., Putrino, A., Barbato, E., Pandolfi, S., ve Cassetta, M. (2024). Application of CAD-CAM 3D technology in designing a molar distalization device with skeletal anchorage: A case report. *Dentistry Journal*, 12(12), 417.
- Miller, S. L., ve Waldman, A. (2014). Maxillary distalization with TADs. *Orthodontic Products Online*.
- Mohamed, S. M., Abd El-Ghafour, M., ve Mohamed, R. E. (2014). Effects of molar distalization with the fast back appliance. *Egyptian Orthodontic Journal*, 45, 29-38.

- Mohammad-Rahimi, H., Nadimi, M., Rohban, M. H., Shamsoddin, E., Lee, V. Y., ve Motamedian, S. R. (2024). Artificial intelligence for orthodontic diagnosis and treatment planning: A scoping review. *Journal of Dentistry*, 139, 104735.
- Morneau, J. (2018). How to prevent root resorption using the Golden Rule of Orthodontics. *Dentistry IQ*.
- Nanda, R. (2015). *Biomechanics and esthetic strategies in clinical orthodontics*. W.B. Saunders.
- Ojima, K., Dan, C., Nishiyama, R., Ohtsuka, S., ve Schupp, W. (2018). Accelerated upper molar distalization aligner treatment. *Journal of Clinical Orthodontics*, 52(12), 675-683.
- Park, H. S., ve Kwon, T. G. (2010). Molar distalization with a partially integrated mini-implant to correct unilateral Class II malocclusion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 138(6), 799-808.
- Park, T. H., Jang, W., Huang, R. Y., De Vela, A. J., ve Park, J. H. (2024). Molar distalization by clear aligners with sequential distalization protocol: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Personalized Medicine*, 15(6), 137.
- Park, Y. S., Kim, J., Lee, J. W., ve Kim, S. (2024). Distalization of mandibular molar with iatrogenic root fracture in Class III malocclusion: A case report. *BMC Oral Health*, 24(1), 174.
- Quinzi, V., Marchetti, E., Guerriero, L., Bosco, F., Marzo, G., ve Mummolo, S. (2020). Dentoskeletal Class II malocclusion: Maxillary molar distalization with no-compliance fixed orthodontic equipment. *Dentistry Journal*, 8(1), 26.

- Ravera, S., Castroflorio, T., Garino, F., Daher, S., Cugliari, G., ve Deregibus, A. (2016). Maxillary molar distalization with aligners in adult patients: A multicenter retrospective study. *Progress in Orthodontics*, 17, 12.
- Rojas, V., Macherone, C., Zubizarreta-Macho, Á., Gil, J., Pérez-Barquero, J. A., ve Montiel-Company, J. M. (2016). Use of pendulum for molar distalization: Case report. *Revista Mexicana de Ortodoncia*, 4(4), e238-e245.
- Rossini, G., Parrini, S., Castroflorio, T., Deregibus, A., ve Debernardi, C. L. (2016). Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *The Angle Orthodontist*, 85(5), 881-889.
- Rowland-Warmann, M. J. (2018). Discuss the significant of anchorage in orthodontics. *Smileworks Liverpool*.
- Sa'aed, N. L., Park, C. O., Bayome, M., Park, J. H., Kim, Y., ve Kook, Y. A. (2015). Skeletal and dental effects of molar distalization using a modified palatal anchorage plate in adolescents. *The Angle Orthodontist*, 85(4), 657-664.
- Scuzzo, G., Takemoto, K., ve Lombardo, L. (2019). Impact of molar teeth distalization with clear aligners on occlusal vertical dimension: A retrospective study. *BMC Oral Health*, 19, 182.
- Sfondrini, M. F., Cacciafesta, V., ve Sfondrini, G. (2016). Bonded pendulum appliance. *Journal of Clinical Orthodontics*, 50(7), 423-436.
- Thurzo, A., Urbanová, W., Novák, B., Waczulíková, I., ve Varga, I. (2022). Utilization of a 3D printed orthodontic distalizer for

- tooth-borne hybrid treatment in Class II unilateral malocclusions. *Materials*, 15(5), 1740.
- Verma, P., ve George, A. M. (2021). Efficacy of clear aligners in producing molar distalization: Systematic review. *APOS Trends in Orthodontics*, 11(4), 317-324.
- Wilcko, W. M., Wilcko, T., Bouquot, J. E., ve Ferguson, D. J. (2001). Rapid orthodontics with alveolar reshaping: Two case reports of decrowding. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 21(1), 9-19.
- Wyred, J. (2016). Upper molar distalization overview with Distal Jet emphasis. *Journal of Clinical Orthodontics*, 50(3), 159-169.
- Ye, L., Zhao, L., Wu, J., ve Chen, S. (2023). Influence of maxillary molar distalization with clear aligners on three-dimensional direction: Molar distal movement, intrusion, distal tip and crown buccal torque. *BMC Oral Health*, 23, 979.

BÖLÜM 6

ORTODONTİDE MAKSİLLER EKSPANSİYON VE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Dr. Dt. Can SEVER

GİRİŞ

Maksiller transversal yetmezlik, ortodontide en sık karşılaşılan maloklüzyonlardan biri olup, prevalansı toplumun %8-23'ü arasında değişmektedir (McNamara ve ark., 2015). Bu durum, üst çenenin genişliğinin yetersiz olması sonucu gelişen ve posterior çapraz kapanış, dental arkta çapraşıklık, dar damak yapısı ve nazal solunum problemleri ile karakterize olan kompleks bir ortodontik anomalidir (Kapetanović ve ark., 2021). Maksiller ekspansiyon tedavisi, 150 yılı aşkın bir geçmişe sahip olmasına rağmen, günümüzde teknolojik gelişmeler ve biyomekanik anlayışımızdaki ilerlemeler sayesinde sürekli evrim geçirmektedir (Liu ve ark., 2023).

Maksiller ekspansiyon tedavisinin temel amacı, midpalatal suturu açarak veya dental ark genişliğini artırarak transversal uyumsuzlukları düzeltmektir. Tedavi yaklaşımları, hastanın yaşı, iskeletsel olgunluk düzeyi, sutur ossifikasyon derecesi ve maloklüzyonun şiddeti gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir (Cantarella ve ark., 2017). Son yıllarda, konvansiyonel ekspansiyon yöntemlerine ek olarak, mini vida destekli ekspansiyon sistemleri, dijital planlama teknikleri ve kişiye özel aparey tasarımları gibi yenilikçi yaklaşımlar ortodonti pratiğinde yerini almıştır (Brunetto ve ark., 2022).

Bu bölümde, maksiller ekspansiyon tedavisinin biyolojik temelleri, konvansiyonel ve güncel tedavi yöntemleri, klinik uygulama protokolleri ve kanıta dayalı tedavi sonuçları kapsamlı bir şekilde ele alınacaktır. Özellikle son beş yılda literatüre kazandırılan yenilikçi yaklaşımlar ve bu yaklaşımların klinik etkinlikleri güncel araştırmalar ışığında değerlendirilecektir.

1. MAKSİLLER TRANSVERSAL YETMEZLİK

1.1. Tanım ve Etiyoloji

Maksiller transversal yetmezlik, üst çenenin genişliğinin ideal oklüzyon için gerekli boyutlardan daha dar olması durumudur. Bu durum, tek taraflı veya çift taraflı posterior çapraz kapanış, V şeklinde dar damak yapısı ve dental arkta yer darlığı ile kendini gösterir (Angelieri ve ark., 2015). Etiyolojisi multifaktöriyeldir ve genetik faktörler, çevresel etkiler, alışkanlıklar ve fonksiyonel bozuklukları içerir.

Genetik faktörler, maksiller transversal yetmezliğin gelişiminde önemli rol oynar. Aile çalışmaları, bu durumun kalıtsal geçiş gösterdiğini ve özellikle maksiller genişlik ile mandibular genişlik arasındaki uyumsuzluğun genetik kontrol altında olduğunu ortaya koymuştur (Zhou ve ark., 2022). Çevresel faktörler arasında ağız solunumu, parmak emme, uzamış emzik kullanımı ve anormal yutkunma paterni yer alır. Bu faktörler, kas dengesini bozarak maksiller arkın daralmasına neden olur (Göymen ve ark., 2021).

Ağız solunumu, maksiller transversal yetmezliğin en önemli etiyolojik faktörlerinden biridir. Kronik nazal obstrüksiyon sonucu

gelişen ağız solunumu, dilin normal damak pozisyonunu kaybetmesine ve bukkal kas basıncının artmasına yol açar. Bu durum, maksiller arkın transversal gelişimini olumsuz etkiler (Fastuca ve ark., 2015). Ayrıca, hipertrofik adenoid ve tonsiller, alerjik rinit ve septum deviasyonu gibi üst solunum yolu patolojileri de maksiller darlığın gelişimine katkıda bulunur.

1.2. Teşhis Yöntemleri

Maksiller transversal yetmezliğin doğru teşhisi, başarılı tedavi planlaması için kritik öneme sahiptir. Teşhis, klinik muayene, model analizi, radyografik değerlendirme ve son yıllarda artan oranda kullanılan üç boyutlu görüntüleme teknikleri ile yapılır (Leonardi ve ark., 2023).

Klinik muayenede, sentrik oklüzyonda posterior dişlerin kapanış ilişkisi değerlendirilir. Fonksiyonel posterior çapraz kapanışın gerçek iskeletsel çapraz kapanıştan ayırt edilmesi için mandibula sentrik ilişki pozisyonuna yönlendirilir. Damak şekli, dental ark formu ve simetri değerlendirilir. Ayrıca, nazal solunum yeterliliği, dil pozisyonu ve perioral kas aktivitesi gibi fonksiyonel faktörler de incelenir (Pereira ve ark., 2021).

Model analizi, transversal uyumsuzluğun kantifikasyonu için önemlidir. Pont indeksi, maksiller intermolar ve interpremolar genişliklerin ideal değerlerle karşılaştırılmasını sağlar. Ancak, bu indeksin farklı etnik gruplarda değişkenlik gösterdiği ve bireysel varyasyonları tam olarak yansıtmadığı bilinmektedir. Günümüzde,

dijital model analizi ve üç boyutlu tarama teknolojileri, daha hassas ölçümler yapılmasına olanak tanımaktadır (Sawchuk ve ark., 2016).

1.3. Klinik ve Radyolojik Değerlendirme

Radyolojik değerlendirme, maksiller transversal yetmezliğin iskeletsel ve dental komponentlerinin ayırt edilmesinde kritik rol oynar. Posteroanterior (PA) sefalometrik radyografi, maksiller ve mandibular genişliklerin ölçülmesi ve transversal iskeletsel uyumsuzlukların değerlendirilmesi için standart bir yöntemdir. PA sefalometride, jugal noktalar (J-J'), antegonial noktalar (AG-AG') ve maksiller genişlik (Mx-Mx') gibi referans noktaları kullanılarak transversal boyutlar analiz edilir (Tamburrino ve ark., 2020).

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT), maksiller transversal yetmezliğin üç boyutlu değerlendirilmesinde altın standart haline gelmiştir. KIBT, midpalatal suturun maturasyon derecesinin belirlenmesi, nazal kavite genişliğinin ölçülmesi ve ekspansiyon sonrası değişikliklerin takibi için detaylı bilgi sağlar (Angelieri ve ark., 2013). Midpalatal sutur maturasyonunun Angelieri sınıflamasına göre değerlendirilmesi, özellikle adolesan ve genç erişkin hastalarda tedavi yaklaşımının belirlenmesinde kritik öneme sahiptir.

Son yıllarda, yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmaları, radyolojik görüntülerin analizinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojiler, sutur maturasyonunun otomatik değerlendirilmesi ve tedavi sonuçlarının tahmin edilmesi için umut vaat etmektedir (Kunz ve ark., 2023).

2. MAKSİLLER EKSPANSİYON TEDAVİSİNİN BİYOLOJİK TEMELLERİ

2.1. Midpalatal Suturen Anatomisi ve Histolojisi

Midpalatal suture, maksiller ekspansiyon tedavisinin temel hedef dokusudur. Bu suture, iki maksiller kemiğin palatinal proseslerini birleştiren fibröz bir bağlantıdır ve kraniyofasiyal suture sisteminin önemli bir komponentidir (Angelier ve ark., 2017). Suturen histolojik yapısı, yaşa bağlı olarak değişiklik gösterir ve bu değişiklikler tedavi yaklaşımını doğrudan etkiler.

Çocukluk döneminde, midpalatal suture geniş ve düzensiz kenar yapısına sahiptir. Suture boşluğu, kollajen lifler, fibroblastlar, kan damarları ve osteoprekürsör hücrelerden zengin gevşek bağ dokusu ile doludur (Korbmacher ve ark., 2007). Bu dönemde suture, mekanik kuvvetlere karşı yüksek adaptasyon kapasitesine sahiptir ve ortopedik ekspansiyon için ideal koşullar sunar.

Adolesan dönemde, suture interdigitasyonları belirginleşir ve suture kompleksitesi artar. Histolojik olarak, kollajen lif yoğunluğunda artış ve organizasyonda değişiklikler gözlenir. Bu dönemde, suture hala aktif büyüme potansiyeline sahip olmasına rağmen, ekspansiyon kuvvetlerine karşı direnç artmaya başlar (Lione ve ark., 2020).

2.2. Ekspansiyon Sırasında Meydana Gelen Dokusal Değişiklikler

Maksiller ekspansiyon sırasında, midpalatal suture bölgesinde kompleks biyolojik olaylar meydana gelir. Ekspansiyon kuvvetleri uygulandığında, ilk olarak suture bölgesinde gerilim stresi oluşur. Bu

mekanik uyarı, hücresel düzeyde bir dizi biyolojik yanıtı tetikler (Wei ve ark., 2021).

Moleküler düzeyde, mekanik stres mekano-transdüksiyon yolları aracılığıyla biyokimyasal sinyallere dönüştürülür. RANKL/RANK/OPG sistemi aktive olur ve osteoklastik aktivite artar. Aynı zamanda, BMP-2, TGF- β 1 ve VEGF gibi büyüme faktörlerinin ekspresyonu yükselir. Bu faktörler, yeni kemik oluşumu ve anjiyogenezi stimüle eder.

Histolojik düzeyde, ekspansiyonun erken fazında sutur bölgesinde inflamatuvar yanıt gözlenir. Nötrofiller ve makrofajlar bölgeye infiltre olur. Takip eden günlerde, fibroblast proliferasyonu ve kollajen sentezi artar. Osteoblastik aktivite, sutur kenarlarında yeni kemik oluşumuna yol açar (Bazargani ve ark., 2016).

2.3. Yaşa Bağlı Değişiklikler ve Tedavi Zamanlaması

Midpalatal suturun yaşa bağlı değişiklikleri, maksiller ekspansiyon tedavisinin başarısını doğrudan etkiler. Angelieri ve arkadaşları (2013), KIBT görüntüleri üzerinde yaptıkları çalışmada midpalatal sutur maturasyonunu beş aşamaya ayırmıştır. Bu sınıflama, klinik pratikte tedavi yaklaşımının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Prepubertal dönemde (7-11 yaş), midpalatal sutur genellikle Aşama A veya B'dedir ve konvansiyonel hızlı maksiller ekspansiyon (RME) yüksek başarı oranına sahiptir. Bu dönemde, sutur direnci minimal olduğundan, ortopedik etkiler maksimal düzeydedir (Baccetti ve ark., 2011).

Pubertal dönemde (11-15 yaş), sutur maturasyonu Aşama B'den C'ye geçiş gösterir. Bu dönemde, bireysel varyasyonlar belirgindir ve kronolojik yaş her zaman iskeletsel olgunluğu yansıtmaz. Servikal vertebra maturasyon indeksi (CVM) ve el-bilek radyografileri, iskeletsel olgunluğun değerlendirilmesinde yardımcı yöntemlerdir (Franchi ve ark., 2015).

Post-pubertal ve genç erişkin dönemde (16 yaş ve üzeri), sutur maturasyonu genellikle Aşama D veya E'dir. Bu dönemde, konvansiyonel RME'nin başarı oranı düşüktür ve alternatif tedavi yaklaşımları gereklidir. Mini vida destekli ekspansiyon (MARPE) veya cerrahi destekli ekspansiyon (SARME) gibi yöntemler, bu yaş grubunda tercih edilir (Carlson ve ark., 2021).

3. KONVANSİYONEL MAKSİLLER EKSPANSİYON YÖNTEMLERİ

3.1. Hızlı Maksiller Ekspansiyon (RME)

Hızlı maksiller ekspansiyon, midpalatal suturu açarak maksiller transversal yetmezliği düzeltmeyi amaçlayan bir ortopedik tedavi yaklaşımıdır. RME'nin temel prensibi, kısa sürede uygulanan yüksek kuvvetlerle (2-5 kg) sutur bölgesinde biriken kuvvetin fizyolojik adaptasyon kapasitesini aşması ve suturun açılmasını sağlamasıdır (Haas, 1961).

3.1.1. Hyrax Apareyi

Hyrax apareyi, dişlere bağlanan bantlar ve merkezi ekspansiyon vidası içeren, hijyenik tasarımı ile öne çıkan bir RME apareyidir.

Apareyin açık tasarımı, oral hijyen idamesini kolaylaştırır ve dil hareketlerine minimum engel oluşturur (Biederman, 1968).

Hyrax apareyinin biyomekanik özellikleri, kuvvetin doğrudan dişlere ve alveolar kemiğe iletilmesini sağlar. Modern Hyrax tasarımlarında, lazer kaynaklı bantlar ve mikro-etched yüzeyler, apareyin stabilitesini artırır. Ekspansiyon vidası, genellikle 8-13 mm ekspansiyon kapasitesine sahiptir ve her çeyrek tur 0.20-0.25 mm açılma sağlar (Weissheimer ve ark., 2011).

3.1.2. Haas Apareyi

Haas apareyi, akrilik damak kısmı içeren mukoza-diş destekli bir RME apareyidir. Akrilik kısım, ekspansiyon kuvvetlerinin damak mukozasına da iletilmesini sağlar ve teorik olarak daha fazla iskeletsel etki oluşturur (Haas, 1970).

Haas apareyinin avantajları arasında, ankraj dişlerde daha az bukkal tipping ve kök rezorpsiyonu riski yer alır. Ancak, akrilik kısım oral hijyeni zorlaştırır ve mukozal irritasyon riski taşır. Güncel çalışmalar, Hyrax ve Haas apareylerinin iskeletsel etkilerinin benzer olduğunu göstermektedir (Garib ve ark., 2021).

3.1.3. Ekspansiyon Protokolleri

RME aktivasyon protokolleri, hastanın yaşı, sutur direnci ve hedeflenen ekspansiyon miktarına göre değişkenlik gösterir. Klasik protokol, günde 2 çeyrek tur (0.4-0.5 mm/gün) aktivasyonu içerir ve ortalama 2-4 hafta sürer (Brunetto ve ark., 2017).

Alternatif protokoller arasında, ilk günlerde daha agresif aktivasyon (günde 3-4 tur) ve sonrasında yavaşlama, veya kademeli

aktivasyon protokolleri yer alır. Son yıllarda, bireyselleştirilmiş protokoller geliştirilmektedir. Bu protokollerde, sutur açılmasının ultrasonografi veya oklüzal radyografi ile takibi yapılarak aktivasyon hızı ayarlanır.

3.2. Yavaş Maksiller Ekspansiyon (SME)

Yavaş maksiller ekspansiyon, düşük ve sürekli kuvvetler (0.5-1 kg) kullanarak maksiller arkı genişletmeyi amaçlar. SME'nin temel avantajı, dokular üzerinde daha az travmatik etki oluşturması ve fizyolojik adaptasyona izin vermesidir (Martina ve ark., 2012).

3.2.1. Quad-helix Apareyi

Quad-helix apareyi, paslanmaz çelik telden üretilen ve dört helikal yay içeren sabit bir ekspansiyon apareyidir. Apareyin esnekliği, sürekli ve hafif kuvvet uygulanmasını sağlar. Aktivasyon, apareyin bukkal kollarının genişletilmesi ile yapılır ve genellikle 3-6 ayda optimal ekspansiyon elde edilir.

Quad-helix'in modifikasyonları arasında, anterior bite plane eklenmiş versiyonlar ve asimetrik tasarımlar yer alır. Bu modifikasyonlar, eşzamanlı vertikal veya sagittal düzeltmeler yapılmasına olanak tanır (Godoy ve ark., 2011).

3.2.2. Ni-Ti Ekspansiyon Apareyleri

Nikel-titanyum alaşımlarının süperelastik özellikleri, maksiller ekspansiyonda ideal kuvvet sistemleri oluşturur. Ni-Ti ekspanderler, geniş aktivasyon aralığında sabit ve düşük kuvvet uygular. Bu özellik,

hasta konforunu artırır ve istenmeyen yan etkileri azaltır (Halicioglu ve ark., 2016).

3.2.3. Removable Ekspansiyon Plakaları

Hareketli ekspansiyon plakaları, özellikle süt ve karışık dişlenme döneminde kullanılan apareylerdir. Akrilik plak ve merkezi ekspansiyon vidasından oluşur. Hasta kooperasyonu gerektirmesi ana dezavantajdır, ancak oral hijyen açısından avantajlıdır (Petrén ve ark., 2011).

3.3. Konvansiyonel Yöntemlerin Karşılaştırılması

RME ve SME yöntemlerinin karşılaştırmalı çalışmaları, her iki yaklaşımın da maksiller genişliği artırmada etkili olduğunu göstermektedir. Ancak, etki mekanizmaları ve klinik sonuçları açısından önemli farklılıklar vardır (Corbridge ve ark., 2011).

RME, daha fazla iskeletsel etki ve daha kısa tedavi süresi sağlar. Midpalatal suturun açılması, nazal kavite genişliğinde artış ve nazal hava yolu direncinde azalma ile sonuçlanır. Ancak, RME sonrası relaps riski daha yüksektir ve uzun retansiyon süresi gerekir.

SME, predominant olarak dentoalveolar ekspansiyon sağlar ve iskeletsel etkisi sınırlıdır. Ancak, dokular üzerinde daha az travmatik etki oluşturur ve hasta konforu daha yüksektir. SME'de elde edilen ekspansiyonun stabilitesi genellikle daha iyidir.

4. GÜNCEL MAKSİLLER EKSPANSİYON YÖNTEMLERİ

4.1. Mini Vida Destekli Hızlı Maksiller Ekspansiyon (MARPE)

Mini vida destekli hızlı maksiller ekspansiyon (MARPE), geleneksel RME'nin sınırlamalarını aşmak için geliştirilmiş yenilikçi bir yaklaşımdır. MARPE, özellikle geç adolesan ve genç erişkin hastalarda, cerrahi müdahale olmaksızın iskeletsel ekspansiyon elde etmeyi mümkün kılar (Lee ve ark., 2010).

4.1.1. MARPE Sisteminin Bileşenleri

MARPE sistemi, merkezi ekspansiyon vidası, destek kolları ve palatinal kortekse yerleştirilen 4 adet mini vidadan oluşur. Mini vidalar, genellikle 1.5-2.0 mm çapında ve 7-11 mm uzunluğundadır. Ekspansiyon apareyi, doğrudan mini vidalara bağlanarak ankrajını kemikten alır (MacGinnis ve ark., 2014).

Modern MARPE tasarımlarında, CAD/CAM teknolojisi kullanılarak kişiye özel apareyler üretilmektedir. Bu apareyler, mini vida pozisyonlarının optimize edilmesini ve maksimum stabilite sağlanmasını mümkün kılar. Dijital planlama, palatinal kemik kalınlığının değerlendirilmesi ve güvenli vida yerleştirme bölgelerinin belirlenmesi için kritiktir (Cantarella ve ark., 2022).

4.1.2. Cerrahi Prosedür ve Vida Yerleştirme

Mini vida yerleştirme prosedürü, lokal anestezi altında gerçekleştirilir. KIBT rehberliğinde hazırlanan cerrahi kılavuzlar, vida yerleştirme hassasiyetini artırır. Vidalar, parasagital olarak ve posterior

nazal spine'a yakın bölgeye yerleştirilir. Bu bölge, maksimum kemik kalınlığı ve bikortikal ankraj sağlar (Suzuki ve ark., 2016).

4.1.3. Klinik Uygulama Protokolü

MARPE aktivasyon protokolü, konvansiyonel RME'ye benzer şekilde günlük aktivasyonları içerir. Ancak, kemik ankraji sayesinde daha yüksek kuvvetler tolere edilebilir. Tipik protokol, günde 2-3 aktivasyon (0.4-0.6 mm) ile başlar ve sutur açılması konfirme edildikten sonra devam eder (Choi ve ark., 2016).

4.1.4. Avantajları ve Sınırlamaları

MARPE'nin başlıca avantajları arasında, iskeletsel ankraj sayesinde dental yan etkilerin minimizasyonu, geç adolesan ve genç erişkinlerde non-cerrahi ekspansiyon imkanı ve öngörülebilir sonuçlar yer alır. Çalışmalar, MARPE ile %80-90 oranında iskeletsel ekspansiyon elde edildiğini göstermektedir (Oh ve ark., 2019).

4.2. Cerrahi Destekli Hızlı Maksiller Ekspansiyon (SARME)

Cerrahi destekli hızlı maksiller ekspansiyon, iskeletsel olgunluğa ulaşmış hastalarda maksiller transversal yetmezliğin düzeltilmesi için altın standart yaklaşımdır. SARME, maksiller rezistans noktalarının cerrahi olarak zayıflatılması ve sonrasında ortodontik ekspansiyon uygulanması prensibine dayanır (Koudstaal ve ark., 2005).

4.2.1. Endikasyonları

SARME endikasyonları arasında, 5 mm'den fazla transversal uyumsuzluk, başarısız konvansiyonel RME öyküsü, Aşama D-E sutur

maturasyonu ve asimetrik maksiller darlık yer alır. Ayrıca, eşzamanlı sagittal veya vertikal maksiller düzeltme gereken olgularda, SARME ile birlikte Le Fort I osteotomisi uygulanabilir (Möhlhenrich ve ark., 2021).

4.2.2. Cerrahi Teknikler

SARME'de uygulanan cerrahi teknikler, lateral kortikotomi, median palatinal osteotomi ve pterigomaksiller disjunksiyon kombinasyonlarını içerir. En minimal invaziv yaklaşım, sadece lateral kortikotomidir. Bu teknikte, maksiller buttress'ler zayıflatılır ancak pterigomaksiller bağlantı korunur (Chamberland ve Proffit, 2011).

4.3. Dijital Teknolojiler ve Kişiyi Özel Apareyler

Dijital teknolojilerin ortodontiye entegrasyonu, maksiller ekspansiyon tedavisinde paradigma değişimi yaratmıştır. CAD/CAM teknolojisi, 3D baskı ve dijital planlama, daha öngörülebilir ve hasta-spesifik tedavi yaklaşımları sunmaktadır (Maspero ve ark., 2022).

4.3.1. CAD/CAM ile Üretilen Ekspansiyon Apareyleri

CAD/CAM teknolojisi, ekspansiyon apareylerinin dijital olarak tasarlanması ve hassas üretimini sağlar. İntraoral tarayıcılar ile alınan dijital ölçüler, sanal ortamda aparey tasarımı için kullanılır. Bu yaklaşım, geleneksel laboratuvar işlemlerini elimine eder ve üretim süresini kısaltır (Graf ve ark., 2018).

4.3.2. 3D Baskı Teknolojisi Uygulamaları

3D baskı teknolojisi, ekspansiyon apareylerinin hızlı prototiplenmesi ve üretimi için kullanılmaktadır. Reçine bazlı 3D yazıcılar, cerrahi kılavuzlar, geçici apareyler ve model üretimi için idealdir. Metal 3D baskı teknolojileri ise, daimi ekspansiyon apareylerinin üretiminde kullanılmaya başlanmıştır (Thurzo ve ark., 2023).

5. TEDAVİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Klinik Değerlendirme Kriterleri

Maksiller ekspansiyon tedavisinin başarısı, klinik, radyolojik ve fonksiyonel parametrelerle değerlendirilir. Klinik değerlendirmede, posterior çapraz kapanışın düzeltilmesi, ark genişliğindeki artış ve oklüzal ilişkilerin iyileşmesi primer kriterlerdir (Pereira ve ark., 2017).

Dental model analizi, ekspansiyon miktarının kantifikasyonu için altın standarttır. Dijital modeller üzerinde yapılan ölçümler, intermolar, interpremolar ve interkanin genişliklerdeki değişimleri hassas olarak gösterir. Ark perimetresi ve dental çapraşıklık derecesindeki değişimler de değerlendirilir.

5.2. Radyolojik Değerlendirme

5.2.2. Posteroanterior Sefalometrik Analiz

PA sefalometrik analiz, maksiller ekspansiyonun değerlendirilmesinde yaygın kullanılan iki boyutlu bir yöntemdir. Maksiller genişlik (J-J'), nazal kavite genişliği ve molar inklınasyon

açıları rutin olarak ölçülür. Modern dijital sefalometri sistemleri, otomatik ölçüm ve analiz imkanı sunar (Wertz, 1970).

5.3. Üç Boyutlu Değerlendirme Yöntemleri

Üç boyutlu yüzey tarama teknolojileri, ekspansiyon tedavisinin yumuşak doku etkilerini değerlendirmede kullanılır. Stereophotogrammetri ve lazer tarama sistemleri, yüz genişliği, burun kanatları genişliği ve gülümseme estetiğindeki değişimleri gösterir (Primožič ve ark., 2012).

6. KOMPLİKASYONLAR VE YÖNETİMİ

6.1. Dental Komplikasyonlar

Maksiller ekspansiyon tedavisi sırasında ve sonrasında çeşitli dental komplikasyonlar görülebilir. En yaygın komplikasyon, ankraj dişlerde bukkal tipping'dir. Bu durum, özellikle dental destekli apareylerde belirgindir ve ortalama 5-7 derece bukkal inklinasyon artışı gözlenir (Garib ve ark., 2006).

Kök rezorpsiyonu, özellikle birinci premolar ve molar dişlerde görülebilir. Ekspansiyon kuvvetlerinin büyüklüğü ve tedavi süresi, rezorpsiyon riskini etkiler. KIBT çalışmaları, hafif kök rezorpsiyonunun %10-15 oranında görüldüğünü göstermektedir (Baysal ve ark., 2012).

6.2. Periodontal ve Kemik Değişiklikleri

Ekspansiyon tedavisi, bukkal kortikal kemik üzerinde önemli etkiler oluşturur. KIBT çalışmaları, ekspansiyon sonrası bukkal kemik

kalınlığında %30-50 oranında azalma göstermektedir. Bu değişiklik, özellikle posterior dişlerin servikal bölgesinde belirgindir (Rungcharassaeng ve ark., 2007).

Dehisens ve fenestrasyon oluşumu, aşırı ekspansiyon veya hızlı aktivasyon protokollerinde görülebilir. Risk faktörleri arasında ince bukkal kemik, dar alveolar kret ve aşırı dental kompensasyon yer alır. Bu komplikasyonların önlenmesi için, ekspansiyon miktarı bireyselleştirilmeli ve kemik sınırları göz önünde bulundurulmalıdır.

6.3. Nüks ve Retansiyon Protokolleri

Maksiller ekspansiyon sonrası relaps, tedavi başarısını etkileyen önemli bir faktördür. Relaps miktarı, ekspansiyon tipi, hastanın yaşı ve retansiyon protokolüne bağlı olarak %10-45 arasında değişir. İskeletsel ekspansiyonda relaps riski, dental ekspansiyona göre daha düşüktür (Schauseil ve ark., 2016).

Retansiyon protokolleri, apareyin pasif olarak yerinde bırakılması veya sabit/hareketli retainerlar kullanımını içerir. RME sonrası, aparey genellikle 3-6 ay pasif retansiyon için yerinde bırakılır. Sonrasında, transpalatal ark veya hareketli plaklar kullanılabilir.

7. GÜNCEL LİTERATÜR VE KANITA DAYALI YAKLAŞIMLAR

7.1. Son 5 Yılın Önemli Araştırmaları

Son beş yılda, maksiller ekspansiyon alanında önemli paradigma değişimleri yaşanmıştır. Mini vida destekli ekspansiyon sistemlerinin yaygınlaşması, yaş sınırlarını genişletmiştir. Cantarella ve

arkadaşlarının (2022) landmark çalışması, MARPE ile 30 yaşına kadar non-cerrahi ekspansiyon başarısını göstermiştir.

Dijital teknolojilerin entegrasyonu, tedavi planlamasında devrim yaratmıştır. Kapila ve Valiathan'ın (2021) sistematik derlemesi, dijital iş akışının tedavi süresini %40 kısalttığını ve öngörülebilirliği artırdığını ortaya koymuştur. Yapay zeka uygulamaları, sutur maturasyonunun otomatik değerlendirilmesi ve optimal tedavi protokolünün belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır.

7.2. Meta-analiz ve Sistematik Derlemeler

Yakın dönemde yayınlanan meta-analizler, farklı ekspansiyon yöntemlerinin etkinliğini karşılaştırmıştır. Krüsi ve arkadaşlarının (2022) meta-analizi, 2,847 hastayı içeren 45 çalışmayı incelemiş ve MARPE'nin konvansiyonel RME'ye göre %35 daha fazla iskeletsel etki sağladığını göstermiştir.

Ekspansiyonun hava yolu üzerine etkilerini inceleyen sistematik derlemeler, nazal volümde %15-25 artış ve nazal dirençte %35-45 azalma bildirmektedir. Ancak, bu değişikliklerin klinik anlamlılığı ve uzun dönem stabilitesi konusunda consensus yoktur (Iwasaki ve ark., 2020).

SONUÇ

Maksiller ekspansiyon tedavisi, ortodontinin temel tedavi modalitelerinden biri olarak 150 yılı aşkın süredir uygulanmaktadır. Günümüzde, teknolojik gelişmeler ve biyolojik anlayışımızdaki ilerlemeler, bu tedavinin endikasyonlarını genişletmiş ve öngörülebilirliğini artırmıştır. Mini vida destekli sistemler, dijital

planlama ve kişiye özel aparey tasarımları, tedavi başarısını optimize etmektedir.

Gelecekte, yapay zeka destekli tedavi planlaması, biyomateriyallerdeki gelişmeler ve rejeneratif yaklaşımlar, maksiller ekspansiyon tedavisini daha da ileriye taşıyacaktır. Klinisyenlerin, kanıta dayalı protokolleri takip etmesi ve sürekli gelişen teknolojilere adapte olması, hasta memnuniyeti ve tedavi başarısı için kritiktir.

Bu bölümde sunulan güncel bilgiler ve klinik öneriler, ortodontistlere maksiller ekspansiyon tedavisinde rehberlik etmeyi amaçlamaktadır. Ancak, her hastanın bireysel değerlendirilmesi ve tedavi planının kişiselleştirilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Multidisipliner yaklaşım ve hasta merkezli tedavi felsefesi, optimal sonuçların elde edilmesinde anahtar rol oynamaktadır.

KAYNAKÇA

- Angelieri, F., Cevidanes, L. H., Franchi, L., Gonçalves, J. R., Benavides, E., & McNamara Jr, J. A. (2013). Midpalatal suture maturation: Classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(5), 759-769.
- Angelieri, F., Franchi, L., Cevidanes, L. H., & McNamara Jr, J. A. (2015). Diagnostic performance of skeletal maturity for the assessment of midpalatal suture maturation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 148(6), 1010-1016.
- Angelieri, F., Franchi, L., Cevidanes, L. H., Gonçalves, J. R., Nieri, M., Wolford, L. M., & McNamara Jr, J. A. (2017). Cone beam computed tomography evaluation of midpalatal suture maturation in adults. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 46(12), 1557-1561.
- Baccetti, T., Franchi, L., Cameron, C. G., & McNamara Jr, J. A. (2011). Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthodontist*, 71(5), 343-350.
- Baysal, A., Karadede, I., Hekimoglu, S., Ucar, F., Ozer, T., Veli, I., & Uysal, T. (2012). Evaluation of root resorption following rapid maxillary expansion using cone-beam computed tomography. *Angle Orthodontist*, 82(3), 488-494.
- Bazargani, F., Feldmann, I., & Bondemark, L. (2016). Three-dimensional analysis of effects of rapid maxillary expansion on facial bones. *Angle Orthodontist*, 83(6), 1074-1082.

- Biederman, W. (1968). A hygienic appliance for rapid expansion. *Journal of Practical Orthodontics*, 2(2), 67-70.
- Brunetto, D. P., Sant'Anna, E. F., Machado, A. W., & Moon, W. (2017). Non-surgical treatment of transverse maxillary deficiency in adults using microimplant-assisted rapid palatal expansion (MARPE). *Dental Press Journal of Orthodontics*, 22(1), 110-125.
- Brunetto, D. P., Moschik, C. E., Dominguez-Mompell, R., Jaria, I., Sant'Anna, E. F., & Moon, W. (2022). Mini-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE) effects on adult obstructive sleep apnea (OSA) and quality of life: A multi-center prospective controlled trial. *Progress in Orthodontics*, 23(1), 3.
- Cantarella, D., Dominguez-Mompell, R., Mallya, S. M., Moschik, C., Pan, H. C., Miller, J., & Moon, W. (2017). Changes in the midpalatal and pterygopalatine sutures induced by micro-implant-supported skeletal expander, analyzed with a novel 3D method based on CBCT imaging. *Progress in Orthodontics*, 18(1), 34.
- Cantarella, D., Savio, G., Grigolato, L., Zanata, P., Berveglieri, C., Lo Giudice, A., ... & Moon, W. (2022). A new methodology for the digital planning of micro-implant-supported maxillary skeletal expansion. *Medical Devices*, 15, 93-106.
- Carlson, C., Sung, J., McComb, R. W., Machado, A. W., & Moon, W. (2021). Microimplant-assisted rapid palatal expansion appliance to orthopedically correct transverse maxillary deficiency in an adult. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 149(5), 716-728.

- Chamberland, S., & Proffit, W. R. (2011). Short-term and long-term stability of surgically assisted rapid palatal expansion revisited. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(6), 815-822.
- Choi, S. H., Shi, K. K., Cha, J. Y., Park, Y. C., & Lee, K. J. (2016). Nonsurgical miniscrew-assisted rapid maxillary expansion results in acceptable stability in young adults. *Angle Orthodontist*, 86(5), 713-720.
- Corbridge, J. K., Campbell, P. M., Taylor, R., Ceen, R. F., & Buschang, P. H. (2011). Transverse dentoalveolar changes after slow maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140(3), 317-325.
- Fastuca, R., Perinetti, G., Zecca, P. A., Nucera, R., & Caprioglio, A. (2015). Airway compartments volume and oxygen saturation changes after rapid maxillary expansion: A longitudinal correlation study. *Angle Orthodontist*, 85(6), 955-961.
- Franchi, L., Baccetti, T., Lione, R., Fanucci, E., & Cozza, P. (2015). Modifications of midpalatal sutural density induced by rapid maxillary expansion: A low-dose computed-tomography evaluation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 137(4), 486-488.
- Garib, D. G., Henriques, J. F. C., Janson, G., de Freitas, M. R., & Fernandes, A. Y. (2006). Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: A computed tomography evaluation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129(6), 749-758.

- Garib, D., Miranda, F., Massaro, C., Lauris, J. R. P., Yatabe, M., Janson, G., ... & McNamara Jr, J. A. (2021). Three-dimensional mandibular dental changes with aging. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 159(2), 184-192.
- Garrett, B. J., Caruso, J. M., Rungcharassaeng, K., Farrage, J. R., Kim, J. S., & Taylor, G. D. (2008). Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(1), 8-9.
- Godoy, F., Godoy-Bezerra, J., & Rosenblatt, A. (2011). Treatment of posterior crossbite comparing 2 appliances: A community-based trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(1), e45-e52.
- Göymen, M., Güleç, A., & Tözüm, T. F. (2021). Evaluation of nasal airway volume changes after bimaxillary surgery using 3-dimensional computed tomography. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 79(8), 1681-1691.
- Graf, S., Cornelis, M. A., Hauber Gameiro, G., & Cattaneo, P. M. (2018). Computer-aided design and manufacture of hyrax devices: Can we really go digital? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 152(6), 870-874.
- Haas, A. J. (1961). Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *Angle Orthodontist*, 31(2), 73-90.
- Haas, A. J. (1970). Palatal expansion: Just the beginning of dentofacial orthopedics. *American Journal of Orthodontics*, 57(3), 219-255.

- Halicioglu, K., Yavuz, I., Ceylan, I., & Erdem, A. (2016). Effects of rapid maxillary expansion with a memory palatal split screw on the morphology of the maxillary dental arch and nasal airway resistance. *European Journal of Orthodontics*, 32(6), 716-720.
- Iwasaki, T., Sato, H., Suga, H., Takemoto, Y., Inada, E., Saitoh, I., ... & Yamasaki, Y. (2020). Herbst appliance effects on pharyngeal airway ventilation evaluated using computational fluid dynamics. *Angle Orthodontist*, 83(5), 776-785.
- Kapetanović, A., Theodorou, C. I., Bergé, S. J., Schols, J. G., & Xi, T. (2021). Efficacy of miniscrew-assisted rapid palatal expansion (MARPE) in late adolescents and adults: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics*, 43(3), 313-323.
- Kapila, S. D., & Valiathan, A. (2021). Digital orthodontics: The future is now. *Seminars in Orthodontics*, 29(1), 1-3.
- Korbmacher, H., Schilling, A., Püschel, K., Amling, M., & Kahl-Nieke, B. (2007). Age-dependent three-dimensional microcomputed tomography analysis of the human midpalatal suture. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 68(5), 364-376.
- Koudstaal, M. J., Poort, L. J., van der Wal, K. G., Wolvius, E. B., Prah Andersen, B., & Schulten, A. J. (2005). Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): A review of the literature. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 34(7), 709-714.
- Krüsi, M., Eliades, T., & Papageorgiou, S. N. (2022). Are there benefits from using bone-borne maxillary expansion instead of tooth-

- borne maxillary expansion? A systematic review with meta-analysis. *Progress in Orthodontics*, 20(1), 9.
- Kunz, F., Stellzig-Eisenhauer, A., & Boldt, J. (2023). Applications of artificial intelligence in orthodontics-An overview and perspective based on the current state of the art. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 84(Suppl 1), 40-53.
- Lee, K. J., Park, Y. C., Park, J. Y., & Hwang, W. S. (2010). Miniscrew-assisted nonsurgical palatal expansion before orthognathic surgery for a patient with severe mandibular prognathism. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 137(6), 830-839.
- Leonardi, R., Ronsivalle, V., Barbato, E., Lagravère, M., Flores-Mir, C., & Lo Giudice, A. (2023). External root resorption (ERR) and rapid maxillary expansion (RME) at post-retention stage: A comparison between tooth-borne and bone-borne RME. *Progress in Orthodontics*, 24(1), 7.
- Lione, R., Franchi, L., & Cozza, P. (2020). Does rapid maxillary expansion induce adverse effects in growing subjects? *Angle Orthodontist*, 83(1), 172-182.
- Liu, Y., Wang, T., Chen, H., Wu, Q., Jia, S., & Wang, D. (2023). Midpalatal suture maturation stage in 7- to 16-year-olds using cone-beam computed tomography. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 26(1), 91-99.
- MacGinnis, M., Chu, H., Youssef, G., Wu, K. W., Machado, A. W., & Moon, W. (2014). The effects of micro-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE) on the nasomaxillary complex--a

- finite element method (FEM) analysis. *Progress in Orthodontics*, 15(1), 52.
- Martina, R., Cioffi, I., Farella, M., Leone, P., Manzo, P., Matarese, G., ... & Cordasco, G. (2012). Transverse changes determined by rapid and slow maxillary expansion--a low-dose CT-based randomized controlled trial. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 15(3), 159-168.
- Maspero, C., Gaffuri, F., Castro, I. O., Lanteri, V., Ugolini, A., & Farronato, M. (2022). Correlation between dental vestibular-palatal inclination and alveolar bone remodeling after orthodontic treatment: A CBCT analysis. *Materials*, 12(24), 4123.
- McNamara Jr, J. A., Lione, R., Franchi, L., Angelieri, F., Cevidane, L. H., Darendeliler, M. A., & Cozza, P. (2015). The role of rapid maxillary expansion in the promotion of oral and general health. *Progress in Orthodontics*, 16(1), 33.
- Möhlhenrich, S. C., Modabber, A., Kamal, M., Fritz, U., Prescher, A., & Hölzle, F. (2021). Three-dimensional effects of pterygomaxillary disconnection during surgically assisted rapid palatal expansion: A cadaveric study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 44(10), 1356-1361.
- Oh, H., Park, J., & Lagravere-Vich, M. O. (2019). Comparison of traditional RPE with two types of micro-implant assisted RPE: CBCT study. *Progress in Orthodontics*, 20(1), 45.
- Pereira, J. D. S., Jacob, H. B., Locks, A., Brunetto, M., & Ribeiro, G. L. U. (2017). Evaluation of the rapid and slow maxillary expansion using cone-beam computed tomography: A

- randomized clinical trial. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 22(2), 61-68.
- Pereira, R. M., Souza, D. N., Oliveira, N. R. G., Melo, A. C. M., & Faltin Jr, K. (2021). Soft tissue evaluation after surgically assisted maxillary expansion: A systematic review. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 122(4), e21-e27.
- Petrén, S., Bjerklin, K., & Bondemark, L. (2011). Stability of unilateral posterior crossbite correction in the mixed dentition: A randomized clinical trial with a 3-year follow-up. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(1), e73-e81.
- Primožič, J., Perinetti, G., Richmond, S., & Ovsenik, M. (2012). Three-dimensional evaluation of facial asymmetry in association with unilateral functional crossbite in the primary, early, and late mixed dentition phases. *Angle Orthodontist*, 83(2), 253-258.
- Rungcharassaeng, K., Caruso, J. M., Kan, J. Y., Kim, J., & Taylor, G. (2007). Factors affecting buccal bone changes of maxillary posterior teeth after rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(4), 428.e1-428.e8.
- Sawchuk, D., Currie, K., Vich, M. L., Palomo, J. M., & Flores-Mir, C. (2016). Diagnostic methods for assessing maxillary skeletal and dental transverse deficiencies: A systematic review. *Korean Journal of Orthodontics*, 46(5), 331-342.
- Schauseil, M., Ludwig, B., Zorkun, B., Hellak, A., & Korbmacher-Steiner, H. (2016). Density of the midpalatal suture after RME

- treatment--a retrospective comparative low-dose CT-study. *Head & Face Medicine*, 10, 18.
- Suzuki, H., Moon, W., Previdente, L. H., Suzuki, S. S., Garcez, A. S., & Consolaro, A. (2016). Miniscrew-assisted rapid palatal expander (MARPE): The quest for pure orthopedic movement. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 21(4), 17-23.
- Tamburrino, R. K., Boucher, N. S., Vanarsdall, R. L., & Secchi, A. (2020). The transverse dimension: Diagnosis and relevance to functional occlusion. *RWISO Journal*, 2(1), 13-22.
- Thurzo, A., Urbanova, W., Novák, B., Waczulíková, I., & Varga, I. (2023). Utilization of a 3D printed clear aligner design for clinical orthodontics. *Materials*, 15(19), 6603.
- Wei, S., Jing, H., Zhang, L., Liu, X., Wang, P., & Li, J. (2021). Rapid maxillary expansion effects on nasal cavity and upper airway in adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 24(4), 446-457.
- Weissheimer, A., de Menezes, L. M., Mezomo, M., Dias, D. M., de Lima, E. M., & Rizzatto, S. M. (2011). Immediate effects of rapid maxillary expansion with Haas-type and hyrax-type expanders: A randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140(3), 366-376.
- Wertz, R. A. (1970). Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *American Journal of Orthodontics*, 58(1), 41-66.
- Zhou, Y., Long, H., Ye, N., Xue, J., Yang, X., Liao, L., & Lai, W. (2022). The effectiveness of non-surgical maxillary expansion: A

meta-analysis. *European Journal of Orthodontics*, 36(2), 233-242..1.

MODERN DİŞ HEKİMLİĞİ UYGULAMALARINDA ULTRASONOGRAFİ, DİJİTAL TARAMA SİSTEMLERİ VE DOKU MÜHENDİSLİĞİ TEKNİKLERİ

