

GÜNCEL DİŞ HEKİMLİĞİ: BİLİM, SİSTEMLER VE KLİNİK YÖNELİMLER



Editör: Doç. Dr. Nazan KOÇAK TOPBAŞ

Doç. Dr. Fatma UÇAN YARKAÇ

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Ziya ŞENYURT

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Burak YÜKSEL

Dr. Öğr. Üyesi Duygu DEĞİRMENCİOĞLU

Uzm. Dr. Fatma ALTIPARMAK

Arş. Gör. Sena ARCA

Öğr. Gör. Hilal OK BOSTAN

ISBN: 978-625-5923-52-3

Ankara -2025

GÜNCEL DİŞ HEKİMLİĞİ: BİLİM, SİSTEMLER VE KLİNİK YÖNELİMLER

EDİTÖR

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

YAZARLAR

Doç. Dr. Fatma UÇAN YARKAÇ¹

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Ziya ŞENYURT²

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Burak YÜKSEL³

Dr. Öğr. Üyesi Duygu DEĞİRMENCİOĞLU⁴

Uzm. Dr. Fatma ALTIPARMAK⁵

Arş. Gör. Sena ARCA⁶

Öğr. Gör. Hilal OK BOSTAN⁷

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,
Periodontoloji A.D., Konya, Türkiye, **fatma_ucan413@hotmail.com**
ORCID ID: 0000-0001-8126-585X

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

³Necmettin Erbakan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız ve
Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, Konya, Türkiye,
dtburakyuksel@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-6465-401X

⁴İstanbul Medipol Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti
A.D., İstanbul, Türkiye, **dtduygudegirmencioglu@gmail.com**
ORCID ID: 0000-0001-9452-5200

⁵Necmettin Erbakan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,
Periodontoloji Anabilim Dalı, Konya, Türkiye,
ftmaltiparmak@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-3077-0968

⁶Gaziantep Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji A.D.,
Gaziantep, Türkiye, **senarca21@gmail.com**
ORCID ID: 0009-0006-9426-0525

⁷Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik
Diş Tedavisi, Rize, Türkiye, **hilal.ok@erdogan.edu.tr**
ORCID ID: 0000-0002-6415-5728

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15460232>



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: 978-625-5923-52-3

May / 2025

Ankara / Turkey

ÖNSÖZ

Diş hekimliği bilimi, son yıllarda hem biyolojik temelleri hem de teknolojik gelişmeleri bünyesinde barındırarak hızla dönüşmektedir. Bu kitap, diş hekimliğinin farklı uzmanlık alanlarına ait dört güncel konuyu bir araya getirerek, klinik ve akademik alanda çalışanlara disiplinlerarası bir bakış sunmayı amaçlamaktadır.

Kitapta yer alan bölümler; periodontal hastalıkların sistemik hastalıklarla olan karşılıklı ilişkisini, mine matriks türevlerinin rejeneratif tedavilerdeki klinik uygulamalarını, endodontide yapay zeka destekli tanı yöntemlerinin yükselen rolünü ve tam seramik sistemlerin restoratif diş hekimliğindeki yerini kapsamlı şekilde ele almaktadır.

Her bir bölüm, alanında uzman hocalarca hazırlanmış; güncel literatür ve bilimsel veriler ışığında kaleme alınmıştır. Bu yönüyle kitap, diş hekimliği öğrencilerinden akademisyenlere, uzmanlık eğitimi alan hekimlerden araştırmacılara kadar geniş bir okur kitlesine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Emeği geçen tüm yazarlara ve bu çalışmanın ortaya çıkmasına katkı sunan herkese teşekkür eder, bu kitabın mesleki gelişime ve bilimsel bilgi birikimine değer katmasını dileriz.

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

Saygılarımla,

19/05/2025

Doç. Dr. Nazan KOÇAK TOPBAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ 4

İÇİNDEKİLER 6

BÖLÜM 1

PERİODONTAL HASTALIKLAR VE SİSTEMİK DURUM
ARASINDAKİ İLİŞKİLER.....(8-24)

Süleyman Ziya ŞENYURT

Sena ARCA

BÖLÜM 2

MİNE MATRİKS TÜREVLERİ VE KLİNİK KULLANIM
ALANLARI.....(25-55)

Fatma ALTIPARMAK

Fatma UÇAN YARKAÇ

İbrahim Burak YÜKSEL

BÖLÜM 3

YAPAY ZEKA DESTEKLİ ENDODONTİK TANI YÖNTEMLERİ
.....(56-90)

Duygu DEĞİRMENCİOĞLU

BÖLÜM 4

DİŞ HEKİMLİĞİNDE GÜNCEL TAM SERAMİK
SİSTEMLER.....(91-124)

Hilal OK BOSTAN

BÖLÜM 1

PERİODONTAL HASTALIKLAR VE SİSTEMİK DURUM ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Ziya ŞENYURT

Arş. Gör. Sena ARCA

GİRİŞ

Periodontal sağlık genel vücut sağlığının ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. Genel ve periodontal sağlık arasındaki çift yönlü etkileşimlerin varlığı ve bu kapsamda periodontal hastalıkların sistemik durum üzerindeki, sistemik hastalıkların da periodontal durum üzerindeki etkilerinin bilinmesi hem koruyucu hem de tedavi edici uygulamalar açısından büyük önem arz etmektedir. Tıbbın babası olarak bilinen Hipokrat ‘iltihaplı romatizmaya sahip bir hastanın enfeksiyonlu bir dişinin çekilmesinin sistemik hastalığın semptomlarını azalttığından’ bahsetmiştir (Chapple, vd., 2009). Fokal enfeksiyon teorisine göre vücudun çeşitli yerlerinde bulunan mikroorganizma odaklarının dolaşım yoluyla yayıldığı ve birçok sistemik kronik hastalığın sebepleri arasında olduğu iddia edilmektedir (Gibbons, vd., 1998). Yapılan birtakım epidemiyolojik çalışmalarda periodontal hastalıkların lokal ve sistemik etkileri, birtakım sistemik hastalıkların da periodontal hastalıkların oluşumu ve ilerlemesi üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Yumuşak dokuyla sınırlı gingivitislerden, çeşitli derecelerde alveoler kemik kayıplarının meydana geldiği

periodontitislere kadar tüm periodontal hastalıkların sistemik boyutu ve birçok sistemik hastalıklarla ilişkileri ortaya konmuştur. *Porphyromonas gingivalis*, *Tannerella forsythia*, *Treponema denticola*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Fusobacterium nucleatum* gibi periodontal patojenlerin vücutta gelişen inflamatuvar reaksiyonlarda rol aldığı ve bu patojen kaynaklı periodontitislerin sistemik hastalıklar üzerindeki olumsuz sonuçları ispat edilmiştir. Periodontal patojenlerin glisemik kontrolü zorlaştırdığı, ürettikleri endotoksinlerle proinflamatuvar sitokinlerin üretimini tetikledikleri (Zhang, vd., 2018), aterosklerotik plaklarda yüksek oranlarda bulunabildikleri (Figuera, vd., 2011), damar duvarlarında lipid birikimine yol açtıkları (Zhang, vd., 2018), erken doğuma sebebiyet verdikleri (Issrani, vd., 2022) ve virulans faktörleri aracılığıyla nöropatolojik lezyonlara sebebiyet verebildikleri (Kamer, vd., 2009) tespit edilmiştir. Periodontal hastalıklar ve çeşitli sistemik durumlar arasındaki buna benzer etkileşimlerin bilinmesi hastalıkların önlenmesi ve tedavileri açısından daha etkili yöntemlerin uygulanmasına yol açacaktır. Tıp hekimleri ve diş hekimleri üzerinde farkındalık oluşturarak multidisipliner yaklaşımların daha da artması üzerine olumlu etkileri olacaktır. Bu çerçevede biz de periodontal hastalıklar ve diş hekimliği açısından önem arz eden bazı sistemik durumlar arasındaki ilişkileri güncel çalışmalar ışığında ele aldık.

Periodontal ve Kardiyovasküler Hastalıklar Arasındaki İlişkiler

Periodontitisler toplumlarda yüksek bir prevalansa sahip bulaşıcı olmayan bir hastalık grubu olup, en şiddetli formu dünya nüfusunun

%11,2'sini etkilemekte ve insanlarda en sık görülen altıncı hastalık grubu olarak tanımlanmaktadır (Kassebaum, vd., 2014). Periodontal sağlığın bozulmasıyla birlikte diş eti kolajen yoğunluğu azalmakta, sondalamada kanama meydana gelmekte, fragil-ülsera hale gelen periodontal cep epitelinin bütünlüğü bozulmakta ve oral bakteriler sistemik dolaşıma kolayca girebilmektedirler. Meydana gelen bakteriyemi ve inflamatuvar hücrelerin yoğun infiltrasyonu ile birlikte sistemik inflamatuvar yanıt veya oto-immün reaksiyonlara yol açan çapraz reaktivite tetiklenebilmektedir (Hujoel, vd., 2001). Oral flora, bağırsak florası ve aterosklerotik plakların bakteriyel DNA'larının benzerlik göstermesi yutulan tükürük aracılığıyla ağız-bağırsak eksenli bir yayılımı da desteklemektedir (Koren, vd., 2011). Özellikle *porphyromonas gingivalis*'in endotel disfonksiyonunu indükleyebildiği, vasküler düz kas hücrelerinin kalsifikasyonunu teşvik edebildiği, vasküler düz kas hücrelerinin lipidleri içine alarak köpük hücre oluşturmalarını indükleyebildiği, makrofajların oluşturduğu immün yanıtı tetikleyerek makrofajları köpük hücre oluşturmaya teşvik edebildikleri, regülatör T hücrelerinin ve yardımcı T hücrelerinin dengesini bozarak aterosklerozun oluşumuna sebebiyet verebildikleri belirtilmiştir (Zhang, vd., 2021). Periodontitisler ile kardiyovasküler hastalıklar (KVH) arasındaki ilişkileri gösteren birçok çalışma mevcut (Sanz, vd., 2020) olmakla birlikte farklı teoriler çerçevesinde bağlantıları açıklanmaya çalışılmıştır. Periodontal dokulardaki kronik inflamasyonla karakterize periodontal hastalıklardaki inflamatuvar markırların kan dolaşımına katıldığı ve kardiyovasküler hastalıkların en önemli bileşenleri olan aterosklerozun gelişmesine ve ilerlemesine

sebepler oldukları belirtilmiştir (Carra, vd., 2023). Periodontitis oluşumunda rol olan periodontopatojen bakterilerin kan dolaşımına girdiği, arteriyel plakların oluşumunu indüklediği ve kardiyovasküler hastalık riskini arttırabildikleri gösterilmiştir. Sigara, diyabet ve obezite gibi ortak risk faktörlerinin mevcudiyeti her iki hastalığında aynı anda gelişme ihtimalini arttırmaktadır. İlâveten literatürde periodontitis ve kardiyovasküler hastalıklar arasında pleiotropi olabileceğiyle ilgili kanıtlar da vardır (Carra, vd., 2023). 2013 yılında yapılan bir derlemede aterosklerotik kardiyovasküler hastalıkların insidansının bilinen risk faktörlerinden bağımsız olarak periodontal hastalığı olan bireylerde olmayanlara göre daha fazla olduğu gösterilmiştir (Dietrich, vd., 2013). 2019 yılında yapılan bir derlemede yine aterosklerotik hastalık insidansının periodontitisli bireylerde daha yüksek olduğu, şiddeti periodontitisli bireylerde inme riskinin arttığı bildirilmiştir (Ryden, vd., 2016). 2023 yılında yapılan bir çalışmada iki hastalık grubu arasında anlamlı bir ilişki gösterilmekle birlikte kardiyovasküler hastalık insidansıyla ilgili veriler sınırlıdır (Carra, vd., 2023). Farklı bir çalışmada arteriyel hipertansiyon ve periodontitis arasında pozitif bir ilişki olduğu gösterilmiş olup sağlıklı bireylere göre orta şiddetli periodontitislerde hipertansiyona sahip olabilme ihtimali %20 daha yüksek, ileri seviye şiddetli periodontitislerde ise ihtimal %49 daha yüksek gözlemlenmiştir. İlâveten periodontal tedavi sonucunda arteriyel kan basıncı üzerindeki olumlu etki tespit edilmiştir (Muñoz, vd., 2020). C reaktif protein, fibrinojen, interlökin-6, matriks metalloproteinaz, fosfolipaz A2, nitrik oksit, trombosit aktive edici faktör, immunoglobulin G anti-kardiyolipin, lipoprotein ve adiponektin

gibi biyobelirteçler iki durum arasındaki ilişkiyi aydınlatmak için sıklıkla değerlendirilmekte olup kardiyovasküler risk faktörleri üzerine periodontal tedavilerin olumlu sonuçları tespit edilmiştir (D' Aiuto, vd., 2013).

Periodontal ve Solunum Yolu Hastalıkları Arasındaki İlişkiler

Solunum yolu hastalıkları (kronik obstrüktif akciğer hastalığı-KOAH, astım, obstrüktif uyku apnesi-OUA, pnömoni) ile periodontal hastalıklar arasındaki olası ilişkiyi açıklamak üzere iki ana hipotez ileri sürülmüştür. İlkinde ağızdaki patojen bakterilerin mikro-aspirasyon ile alt solunum yollarına ulaşması üzerinde durulurken diğesinde ise periodontal hastalıkta üretilen pro-inflamatuvar sitokin ve enzimlerin sistemik olarak solunum sistemini etkilemesi ihtimali düşünülmüştür. Literatürlerde ilişki yönü olarak genellikle periodontal hastalığın solunum yolu hastalıkları üzerine etkisi belirtilmiştir. Periodontitislerin, bu hastalarda inflamatuvar durumu daha da kötüleştirdiği düşünülmekle birlikte OUA ve astımda kullanılan tıbbi cihazlar veya ilaçların ağız mikrobiyomunu etkilemesi neticesinde meydana gelebilen sistemik inflamasyonun periodontitisleri ağırlaştırdığı da düşünülmektedir (Hajishengallis, vd., 2022), (Dewan, vd., 2015).

Pnömoni, mikrobiyal bir enfeksiyonun akciğerde başlattığı inflamasyon olarak tanımlanmaktadır. Toplum kaynaklı veya hastane kaynaklı (nosokomial) olarak ikiye ayrılmakla birlikte aspirasyon pnömonisi ağız boşluğundan türeyen anaerobik bakterileri içeren enfeksiyondan kaynaklanmakta ve disfajili hastalarda hayati sonuçlara sebebiyet verebilmektedir (Scannapieco, vd., 2022). Pnömoni riski

yüksek olan yaşlı bireylerde ağız hijyeninin iyi ve periodontal durumun sağlıklı olması olası bir aspirasyonda potansiyel patojenlerin sayısının az olmasını sağlayacaktır. Koronavirüs (COVID-19) hastaları üzerinde yapılmış bir çalışmada komplikasyon riskinin şiddetli periodontitisli hastalarda daha yüksek olduğu gösterilmiştir, COVID-19 komplikasyonu yaşayan bireylerin %80'inde periodontitis tespit edilmiştir, ölüm-ventilasyon ihtiyacıyla periodontitisler arasında ilişki bulunmuştur (Marouf, vd., 2021). Güncel bir meta-analizde ise COVID-19'un periodontal semptomlarla anlamlı bir ilişkisinin olmadığı bildirilmiştir (Song, vd., 2023). Kronik obstrüktif akciğer hastalığı tam olarak tersine çevrilemeyen hava akımı kısıtlaması neticesinde görülen kronik bronşit ve amfizemle karakterize hastalıklardır (Yang, vd., 2023). Tükürükteki periodontal hastalık kaynaklı enzimler mukoza yüzeylerini etkileyip solunum patojenlerinin yapışmasını ve kolonizasyonunu teşvik edebilmekle birlikte periodontitis ile ilişkili enzimlerin koruyucu tükürük peliküllerini yok edebildiği ve periodontal hastalık kaynaklı sitokinlerin, solunum epitelini değiştirmesi yoluyla alt solunum yolu enfeksiyonlarına sebep olduğu belirtilmiştir (Öztekin, vd., 2014). T yardımcı 17 (Th17) kaynaklı birtakım markırların (Ponce-Gallegos, vd., 2017), proteaz/anti-proteaz dengesizliğinin (Jasper, vd., 2019) ve oksidatif stresin (Taniguchi, vd., 2021) hem KOAH hem de periodontitisin gelişiminde önemli yere sahip olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada yüksek plak indeksi skoruna sahip bireylerde KOAH alevlenme sayılarının anlamlı oranda yüksek olduğu, periodontal tedaviyle periodontal enflamasyonun elimine edilmesinin alevlenme sıklığının azaltılmasında etkili olacağı ve böylece KOAH tedavisi ve kontrolünde destek

sağlanacağı gösterilmiştir (Kucukcoskun, vd., 2013). Astım hava yolunda kronik inflamasyon sebebiyle artmış hava yolu hiperaktivitesidir. Tedavisinde hava yolundaki inflamasyon elimine edilerek hava yolunun açılması hedeflenmekte olup antiinflamatuvar ilaçlar ve bronkodilatörler kullanılır. Astımlı hastalarda dış etinde IgE konsantrasyonunun yükseldiği, tükürük salgısının değiştiği, daha fazla dış taşı olduğu, submaksiller-parotis bezlerinin kalsiyum-fosfor seviyelerinde artış meydana geldiği ve kemik mineral yoğununda azalmaların olabileceği tespit edilmiştir (Han, vd., 2009). Obstrüktif uyku apnesinde ise ağız solunumu kaynaklı ağız kuruluşunun ve uyku konforunun azalmasına bağlı günlük stresin periodonsiyum üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu ifade edilmektedir (Gamsiz-Isik, vd., 2017).

Diabetes Mellitus ve Periodontal Hastalıklar Arasındaki İlişkiler

Diabetes mellitus (DM) periodontitis için önemli bir risk faktörü (FDI, vd., 2017) olmakla birlikte periodontitis de 1993 yılında diyabetin 6. komplikasyonu olarak tanımlanmıştır (Löe, vd., 1993). Avrupa Periodontoloji Federasyonu ile Amerikan Periodontoloji Akademisinin 2017 yılında yaptığı “Periodontal ve Peri-implanter Hastalıklar ve Durumların Sınıflaması”na göre periodontitis evrelerinin derecelendirilmesine DM dahil edilmiştir (Tonetti, vd., 2018). Diabetes Mellitus kronik hiperglisemiyle karakterize heterojen metabolik bir hastalıktır. Hiperglisemik tablonun mevcudiyeti vücuttaki çeşitli organ ve dokularda hasar, işlev bozukluğu-yetmezlik, mikro ve makrovasküler komplikasyonların gelişimine sebep olmaktadır (Harding, vd., 2019). Hiperglisemi periodontal sert ve yumuşak

dokuları olumsuz etkilemekte, periodontal dokuların rezorbsiyonunu kolaylaştırmakta ve iyileşme yeteneklerini bozmaktadır. Periodontitisle ilişkili olarak ortaya çıkan lokal ve sistemik inflamasyon kan şekeri düzeylerini artırabilmekte olup periodontal tedaviler sonucunda glikolize hemoglobin (HbA1C) değeri anlamlı düzeyde düşürülebilmektedir (Borgnakke, vd., 2024). İlâveten hiperglisemik koşulların periodontal alanda proinflamatuvar yanıtı arttırdığı, ileri glikasyon son ürünleri oluşumuna yol açarak protein ve lipidlerin geri dönüşümsüz glikasyonu ile birlikte hücresel strese yol açtığı gösterilmiştir. İki hastalık arasındaki çift yönlü etkileşim kapsamında periodontal mikrobiyal enfeksiyonlar da DM'un oluşumunda etkili lipopolisakkaritlerin (LPS) üretimini arttırmaktadır (Blasco-Baque, vd., 2017).

Romatoid Artrit ve Periodontal Hastalıklar Arasındaki İlişkiler

Romatoid artrit (RA) eklemlerde sinovyal membran, kıkırdak, kemik ve bazen de eklem dışı bölgeleri etkileyen, inflamasyonun eşlik ettiği, otoimmün, kronik, inflamatuvar bir hastalıktır. Otoimmün yapısının altında yatan etkenin sitriline protein antijenlerine karşı oluşan otoantikorlar (anti sitriline protein antikoru-ACPA) olduğu kabul edilmektedir (Schellekens, vd., 2000). Etiyolojisi açıkça aydınlatılmamış olsa da periodontal hastalıklar gibi genetik, hormonal ve çevresel risk faktörlerinden etkilenmektedir. Hem periodontal hastalıklar da ve hem de RA da proinflamatuvar ve antiinflamatuvar sitokinler arasındaki bir dengesizlik mevcuttur. Her iki hastalık için de MHC sınıf II HLA-DRB1 alelleri kemik hasarıyla ve alveoler kemik yıkımıyla ortak ilişkili

görülmüştür (Marotte, vd., 2006). Her ikisinde de inflamasyonda miyeloperoksidaz (MPO) ile proteinler karbamile olmakta, karbamile peptitler T ve B hücre aktivasyonunun yanında antikor üretimini tetiklemektedir. Hem sitriline hem karbamile proteinlerin lokal olarak periodontal dokularda birikmesi sonucunda antikor cevabının başlaması sonra şiddetlenmesi ve bunun RA için önemli bir etken olabileceği üzerinde durulmaktadır (Kaneko, vd., 2018). Yapılan çalışmalarda RA ve periodontitis hastalarında bağ dokusu ve kemik yıkımından sorumlu IL-1, IL-6, TNF- α seviyelerinin yüksek olduğu gösterilmiştir (Kobayashi, vd., 2015). *Porphyromonas gingivalis*'in yoğun olduğu periodontitislerde bu mikroorganizmaya özgü PPAD enziminin sitrulinasyona ve ACPA oluşumuna katkı sunduğu tespit edilmiştir (Berthelot, vd., 2021). Yapılan bir derlemede periodontitisli hastalarda hem bakteriyel PPAD hem de konak PAD aracılı artan sitrulinasyonun immün toleransı bozarak ACPA salınımında artışa yol açtığı ve RA'yı tetikleyebileceği belirtilmiştir (Gonzalez-Febles, vd., 2021).

Periodontal tedavilerden sonra romatoid artrit hastalık aktivitesini klinik ve biyokimyasal olarak değerlendiren çalışmaların yanı sıra romatolojik hastalıkların tedavisinde kullanılan hastalığı modifiye eden antiromatizmal ilaçların periodontal hastalık şiddeti üzerine etkinliğini değerlendiren çalışmaların da mevcut olmasına karşın net bir sonuç elde edilmemiştir. Karşılıklı çift yönlü ilişkileri aydınlatmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

SONUÇ

Periodontal hastalıklar ve sistemik hatalıkların ilişkisi üzerine yapılan araştırmalar ışığında elde edilen bulgular periodontal hastalıklar ile bir takım sistemik hastalık arasında potansiyel bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu ilişkiyi doğru anlamak ve etkili bir strateji geliştirebilmek için periodontologlar ve diğer sağlık profesyonelleri arasında sıkı bir işbirliği ve iletişim sağlanarak multidisipliner bir yaklaşım tarzı benimsenmeli, farkındalık arttırılmalıdır. Bu bakış açısı ve pratik sayesinde tedavi protokolleri daha da iyileştirilip, hastaların yaşam kalitesi optimum seviyeye ulaştırılabilir.

KAYNAKÇA

- Berthelot, J. M., Bandiaky, O. N., Le Goff, B., Amador, G., Chaux, A. G., Soueidan, A., et al. (2021). Another look at the contribution of oral microbiota to the pathogenesis of rheumatoid arthritis: a narrative review. *Microorganisms*, 10(1), 59.
- Blasco-Baque, V., Garidou, L., Pomié, C., Escoula, Q., Loubieres, P., Le Gall-David, S., et al. (2017). Periodontitis induced by *Porphyromonas gingivalis* drives periodontal microbiota dysbiosis and insulin resistance via an impaired adaptive immune response. *Gut*, 66(5), 872–885.
- Borgnakke, W. S. (2024). Current scientific evidence for why periodontitis should be included in diabetes management. *Frontiers in Clinical Diabetes and Healthcare*, 4, 1257087.
- Carra, M. C., Rangé, H., Caligiuri, G., & Bouchard, P. (2023). Periodontitis and atherosclerotic cardiovascular disease: A critical appraisal. *Periodontology 2000*. Advance online publication.
- Chapple, I. L. (2009). The impact of oral disease upon systemic health-Symposium overview. *Journal of Dentistry*, 37(8), 568–571.
- D’Aiuto, F., Orlandi, M., & Gunsolley, J. C. (2013). Evidence that periodontal treatment improves biomarkers and CVD outcomes. *Journal of Clinical Periodontology*, 40(S14).

- Dewan, N. A., Nieto, F. J., & Somers, V. K. (2015). Intermittent hypoxemia and OSA: implications for comorbidities. *Chest*, 147(1), 266–274.
- Dietrich, T., Sharma, P., Walter, C., Weston, P., & Beck, J. (2013). The epidemiological evidence behind the association between periodontitis and incident atherosclerotic cardiovascular disease. *Journal of Periodontology*, 84(4S).
- Federation Dentaire International (FDI). Global periodontal health: challenges, priorities and perspectives. Madrid, Spain: World Oral Health Forum 2017.p.14. Available from: https://www.fdiworldddental.org/sites/default/files/2020-11/2017-wohf_on_gphp-proceedings.pdf
- Figuro, E., Sánchez-Beltrán, M., Cuesta-Frechoso, S., Tejerina, J. M., del Castro, J. A., Gutiérrez, J. M., et al. (2011). Detection of periodontal bacteria in atheromatous plaque by nested polymerase chain reaction. *Journal of Periodontology*, 82(10), 1469–1477.
- Gamsiz-Isik, H., Kiyan, E., Bingol, Z., Baser, U., Ademoglu, E., & Yalcin, F. (2017). Does Obstructive Sleep Apnea Increase the Risk for Periodontal Disease? A Case-Control Study. *Journal of Periodontology*, 88(5), 443–449.
- Gibbons, R. V. (1998). Germs, Dr. Billings, and the theory of focal infection. *Clinical Infectious Diseases*, 27(3), 627–633.
- González-Febles, J., & Sanz, M. (2021). Periodontitis and rheumatoid arthritis: What have we learned about their connection and their treatment? *Periodontology 2000*, 87(1), 181–203.

- Hajishengallis, G. (2022). Interconnection of periodontal disease and comorbidities: Evidence, mechanisms, and implications. *Periodontology 2000*, 89(1), 9–18.
- Han, E. R., Choi, I. S., Kim, H. K., Kang, Y. W., Park, J. G., Lim, J. R., et al. (2009). Inhaled corticosteroid-related tooth problems in asthmatics. *Journal of Asthma*, 46(2), 160–164.
- Harding, J. L., Pavkov, M. E., Magliano, D. J., Shaw, J. E., & Gregg, E. W. (2019). Global trends in diabetes complications: a review of current evidence. *Diabetologia*, 62(1), 3–16.
- Hujoel, P. P., White, B. A., García, R. I., & Listgarten, M. A. (2001). The dentogingival epithelial surface area revisited. *Journal of Periodontal Research*, 36(1), 48–55.
- Issrani, R., Reddy, J., & Dabah, T. H. E., et al. (2022). Exploring the Mechanisms and Association between Oral Microflora and Systemic Diseases. *Diagnostics (Basel)*, 12(11), 2800.
- Jasper, A. E., McIver, W. J., Sapey, E., & Walton, G. M. (2019). Understanding the role of neutrophils in chronic inflammatory airway disease. *F1000Research*, 8, F1000 Faculty Rev-557.
- Kamer, A. R., Craig, R. G., Pirraglia, E., Dasanayake, A. P., Norman, R. G., Boylan, R. J., et al. (2009). TNF-alpha and antibodies to periodontal bacteria discriminate between Alzheimer's disease patients and normal subjects. *Journal of Neuroimmunology*, 216(1–2), 92–97.
- Kaneko, C., Kobayashi, T., Ito, S., Sugita, N., Murasawa, A., Nakazono, K., et al. (2018). Circulating levels of carbamylated protein and neutrophil extracellular traps are associated with

- periodontitis severity in patients with rheumatoid arthritis: A pilot case-control study. *PLoS One*, 13(2), e0192365.
- Kassebaum, N. J., Bernabé, E., Dahiya, M., Bhandari, B., Murray, C. J. L., & Marcenes, W. (2014). Global Burden of Severe Periodontitis in 1990–2010. *Journal of Dental Research*, 93(11), 1045–1053.
- Kobayashi, T., & Yoshie, H. (2015). Host Responses in the Link Between Periodontitis and Rheumatoid Arthritis. *Current Oral Health Reports*, 2(1), 1–8.
- Koren, O., Spor, A., Felin, J., et al. (2011). Human oral, gut, and plaque microbiota in patients with atherosclerosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(Suppl 1), 4592–4598.
- Kucukcoskun, M., Baser, U., Oztekin, G., Kiyan, E., & Yalcin, F. (2013). Initial periodontal treatment for prevention of chronic obstructive pulmonary disease exacerbations. *Journal of Periodontology*, 84(7), 863–870.
- Löe, H. (1993). Periodontal disease. The sixth complication of diabetes mellitus. *Diabetes Care*, 16(1), 329–334.
- Marotte, H., Farge, P., Gaudin, P., Alexandre, C., Mouglin, B., & Miossec, P. (2006). The association between periodontal disease and joint destruction in rheumatoid arthritis extends the link between the HLA-DR shared epitope and severity of bone destruction. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 65(7), 905–909.
- Marouf, N., Cai, W., Said, K. N., Daas, H., Diab, H., Chinta, V. R., et al. (2021). Association between periodontitis and severity of

- COVID-19 infection: A case-control study. *Journal of Clinical Periodontology*, 48(4), 483–491.
- Muñoz Aguilera, E., Suvan, J., Buti, J., et al. (2020). Periodontitis is associated with hypertension: a systematic review and meta-analysis. *Cardiovascular Research*, 116(1), 28–39.
- Öztekin, G., Baser, U., Kucukcoskun, M., Tanrikulu-Kucuk, S., Ademoglu, E., Isik, G., et al. (2014). The association between periodontal disease and chronic obstructive pulmonary disease: a case control study. *COPD*, 11(4), 424–430.
- Ponce-Gallegos, M. A., Ramírez-Venegas, A., & Falfán-Valencia, R. (2017). Th17 profile in COPD exacerbations. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 12, 1857–1865.
- Rydén, L., Buhlin, K., Ekstrand, E., et al. (2016). Periodontitis Increases the Risk of a First Myocardial Infarction. *Circulation*, 133(6), 576–583.
- Sanz, M., Marco del Castillo, A., Jepsen, S., et al. (2020). Periodontitis and cardiovascular diseases: Consensus report. *Journal of Clinical Periodontology*, 47(3), 268–288.
- Scannapieco, F. A., Giuliano, K. K., & Baker, D. (2022). Oral health status and the etiology and prevention of nonventilator hospital-associated pneumonia. *Periodontology 2000*, 89(1), 51–58.
- Schellekens, G. A., Visser, H., De Jong, B. A. W., Van Den Hoogen, F. H. J., Hazes, J. M. W., Breedveld, F. C., et al. (2000). The diagnostic properties of rheumatoid arthritis antibodies

- recognizing a cyclic citrullinated peptide. *Arthritis & Rheumatism*, 43(1), 155–163.
- Song, J., Wu, Y., Yin, X., & Zhang, J. (2023). Relationship between periodontitis and COVID-19: A bidirectional two-sample Mendelian randomization study. *Health Science Reports*, 6(8), e1413.
- Taniguchi, A., Tsuge, M., Miyahara, N., & Tsukahara, H. (2021). Reactive Oxygen Species and Antioxidative Defense in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Antioxidants (Basel)*, 10(10), 1537.
- Tonetti, M. S., Greenwell, H., & Kornman, K. S. (2018). Staging and grading of periodontitis: Framework and proposal of a new classification and case definition. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(Suppl 20), S149–S161. *Erratum in: Journal of Clinical Periodontology*. (2019), 46(7), 787.
- Yang, M., Peng, R., Li, X., Peng, J., Liu, L., & Chen, L. (2023). Association between chronic obstructive pulmonary disease and periodontal disease: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, 13(6), e067432.
- Zhang, J., Xie, M., Huang, X., et al. (2021). The Effects of Porphyromonas gingivalis on Atherosclerosis-Related Cells. *Frontiers in Immunology*, 12.
- Zhang, Y., Wang, X., Li, H., Ni, C., Du, Z., & Yan, F. (2018). Human oral microbiota and its modulation for oral health. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 99, 883–893.

BÖLÜM 2

MİNE MATRİKS TÜREVLERİ VE KLİNİK KULLANIM ALANLARI

Uzm. Dt. Fatma ALTIPARMAK

Doç. Dr. Fatma UÇAN YARKAÇ

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Burak YÜKSEL

GİRİŞ

Periodontitis, yalnızca periodontal dokuları etkileyen bir hastalık değil, aynı zamanda sistemik hastalıklarla ilişkilendirilen, ataşman ve kemik kaybına yol açabilen inflamatuvar bir durumdur (Kinane ve ark. 2017). Periodontal tedavinin temel amacı, kaybedilen ataşman ve kemiği yeniden oluşturarak fonksiyonel dokuyu tekrar kazandırmaktır (Chen ve Jin 2010). Bu hastalığın tedavi yaklaşımları, periodontal ataşman kaybını durdurmayı veya kaybolmuş dokuların rejenerasyonunu sağlamayı hedeflemektedir (Pihlstrom ve Ammons 1997).

Mine matriks türevleri (MMT), tanıtılmasından bu yana, rejeneratif periodontal tedavide yaygın olarak kullanılan bir biyomateryal haline gelmiştir (Hammarström ve ark. 1997; Miron ve ark. 2016). MMT, gelişmekte olan domuz dişi tomurcuklarından türetilmiş amelogenin içerdiği bilinen bir bileşiktir (Hammarström ve ark. 1997). Hem sert hem de yumuşak dokuların iyileşmesini etkili bir şekilde desteklerken inflamasyonu azaltır (Miron ve ark. 2016). Anti-

inflamatuvar özelliklerinin yanı sıra, yara iyileşmesini olumlu yönde etkilediği, epitelial hücre göçünü önlediği veya geciktirdiği, anjiyogenezi teşvik ettiği, dahası periodontal, osteojenik progenitör hücreler ile fibroblastların proliferasyonunu artırdığı bildirilmektedir (Miron ve ark. 2016).

MMT'nin etkinliği, ilk olarak 1997 yılında intraosseöz defektlerde açık flep debridmanı ile gösterilmiştir (Heijl 1997; Heijl ve ark. 1997). Hayvan ve insan histolojik çalışmalarında (Hammarström ve ark. 1997; Heijl 1997; Sculean ve ark. 1999) MMT uygulamasının periodontal yara iyileşmesini ve rejenerasyonu desteklediği; ayrıca kısa ve uzun vadeli klinik sonuçları iyileştirebildiği ortaya konmuştur (Miron ve ark. 2016).

Domuz kaynaklı bir ürün olan MMT'nin, bağışıklık sistemi tarafından antijen olarak algılanma riski düşüktür. MMT'nin lokal veya sistemik bir bağışıklık yanıtı oluşturup oluşturmayacağı konusunda yapılan bir in vitro çalışmada, CD4(+) T lenfositlerin aktive olmuş fraksiyonuna sınırlı bir immün yanıt oluşturduğunu gösterilmiştir (Petinaki ve ark. 1998). Bu biyouyumluluk özelliği, MMT'nin periodontal cerrahide yaygın olarak tercih edilmesini desteklemektedir.

Bu derlemede, MMT'nin periodontal tedavideki klinik kullanım alanları, etkinliği ve uygulanabilirliği ele alınmaktadır.

Cerrahi Olmayan Periodontal Tedaviyle Birlikte MMT Uygulaması

Cerrahi olmayan periodontal tedavi, supra ve subgingival sert ve yumuşak bakteriyel birikimlerin uzaklaştırılmasını hedefler. Bu tedavi, klinik ataşman seviyesi kazanımı ve sondalanan cep derinliğinin azalması gibi klinik iyileşmelere olanak tanıyarak etkinliğini göstermektedir (Suvan ve ark. 2020). Periodontitis tedavisinde standart bir yaklaşım olarak kabul edilmesine rağmen, 6 mm'den daha derin rezidüel ceplerin varlığı hastalığın ilerlemesine yol açabilir ve ek periodontal cerrahi veya yeniden tedavi (örneğin, yeniden kök yüzeyi işlemleri) gereksinimini doğurabilir (Lang ve ark. 2019). Bu nedenle periodontal tedavinin etkinliğini artırmak amacıyla, rejeneratif materyaller ve antimikrobiyal ajanlar gibi ek tedavi yöntemleri önerilmiştir (Chatzopoulos ve ark. 2022).

Mellonig ve ark. (2009), tedavi sonrası altıncı ayda incelenen dört dişten üçünün periodontal rejenerasyon kanıtları sunduğunu bildirmiştir (Mellonig ve ark. 2009). Buna karşılık, Sculean ve ark. (2003), uzun bağlantı epiteli oluşumunun baskın olduğu bir iyileşme paterni gözlemlemiştir (Sculean ve ark. 2003). Cerrahi olmayan periodontal tedavi ile birlikte MMT kullanımı değerlendirildiği son yayınlanan çalışmalarda; daha fazla klinik ataşman kazanımı, sondalamada kanamanın azalması, sondalanan cep derinliği <5 mm olan bölge sayısının artması gibi olumlu sonuçlar gösterdiği belirtilmiştir (Jentsch ve ark. 2021; Schallhorn ve ark. 2021). Bu iyileşmeler, ek periodontal cerrahi tedavi ihtiyacını azaltmaktadır

(Jentsch ve ark. 2021; Schallhorn ve ark. 2021). Wennström ve Lindhe bu bulgularla uyumlu olarak MMT'nin ek kullanımıyla daha az diş eti iltihabı (sondalamada daha az kanama vs.) gözlemlemiştir (Wennström ve Lindhe 2002). Öte yandan bazı çalışmalar sondalanan cep derinliğinin azaltımında ek bir fayda göstermekte başarısız olmuştur (Wennström ve Lindhe 2002; Gutierrez ve ark. 2003). Yapılan bir metaanaliz ve niteliksel analizde, toplam altı randomize kontrollü çalışma dahil edilmiş, metaanalizde ise dört çalışmanın verileri kullanılmıştır. Genel analiz sonuçlarına göre, yalnızca cerrahi olmayan periodontal tedaviye kıyasla klinik ataşman seviyesi kazanımı (3 çalışma) ve sondalanan cep derinliğinin azalımı (4 çalışma) açısından üstün bulunmuştur. Ancak, ortalama fark değerleri sırasıyla 0.14 mm ($p=0.74$) ve 0.46 mm ($p=0.25$) olarak hesaplanmış olup, bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Roccuzzo ve ark. 2022).

Histolojik iyileşme özelliklerinden bağımsız olarak, MMT'nin antiinflamatuvar ve antibakteriyel etkileri (Arweiler ve ark. 2002; Newman ve ark. 2003) olduğu, ayrıca erken yara iyileşmesini (ör., neoanjiyogenez, periodontal ligament ve fibroblast hücre göçü) teşvik ettiği gösterilmiştir (Yuan ve ark. 2003). Bu özellikler, bazı çalışmaların (Graziani ve ark. 2019; Schallhorn ve ark. 2021) 3 hafta ila 3 ay gibi kısa vadeli pozitif sonuçlarını açıklayabilir.

MMT'nin cerrahi erişimle birlikte kullanılmasının, periodontal rejenerasyon (ör., periodontal ligament, kök sementi ve kemik oluşumu) sağladığı histolojik çalışmalarda desteklenmiştir (Heijl 1997; Sculean ve ark. 1999). MMT uygulamasını takiben, epitel büyümesinde

azalma, daha fazla yeni sement oluşumu gibi olumlu histolojik sonuçlar bildirilmiştir (Shujaa Addin ve ark. 2018). Flepsiz MMT uygulamaları ise düşük hasta morbiditesi ile ilişkili olup, cerrahi müdahalelere kıyasla daha az invaziv bir yaklaşım sunmaktadır (Yukna ve Mellonig 2000). Ancak flepsiz uygulamalarda elde edilen sonuçlar tartışmalıdır (Roccuzzo ve ark. 2022). MMT'nin etkinliğini artırmak amacıyla, uygulama öncesinde dikkatli bir şekilde kök yüzeyinin kurutulması gerektiği belgelenmiştir (Miron ve ark. 2012). Bununla birlikte, minimal periodontal sulkus erişimi ile doğru bir kanama kontrolü sağlamak güç olabildiğinden, MMT'nin klinik etkinliğini tahmin etmeyi güçleştirebilir (Roccuzzo ve ark. 2022).

Kemik içi ve Furkasyon Defektlerinde MMT Uygulaması

Periodontal kemik içi ve furkasyon defektleri, klinik ataşman kaybı ve periodontitis sürecinde kemik kaybının ilerlemesi sonucu meydana gelen bölgeye özgü sekellerdir (Prichard 1967). Kemik içi defektleri dişlerin %2–18'ini, furkasyon defektleri ise azı dişlerinin %10'nunu etkilemektedir (Nielsen ve ark. 1980; Vrotsos ve ark. 1999; Najim ve ark. 2016; Najim ve Norderyd 2017). Bu defektlerin prevalansının, bireylerin yaşı ve periodontitisin şiddeti ile doğru orantılı olarak arttığı belirtilmektedir (Nielsen ve ark. 1980; Wouters ve ark. 1989; Vrotsos ve ark. 1999; Najim ve Norderyd 2017). Tedavi edilmediği takdirde hem kemik içi hem de furkasyon defektlerinin diş kaybı riskini artırdığı gösterilmiştir (Nibali ve ark. 2016). Yakın tarihli bir klinik rehberde, periodontal tedavi sonrasında kemik içi veya sınıf II furkasyon defektleriyle ilişkili 5 mm'den derin

rezidüel ceplere sahip dişlerin, periodontal rejeneratif cerrahi ile tedavi edilmesini önermektedir (Sanz ve ark. 2020).

Kemik içi ve furkasyon defektlerinin tedavisinde, membranlar (Murphy ve Gunsolley 2003; Needleman ve ark. 2019), kemik greftleri (Reynolds ve ark. 2003) ve MMT (Giannobile ve Somerman 2003; Esposito ve ark. 2009) gibi birçok rekonstrüktif ve rejeneratif strateji araştırılmıştır. Çalışmaların büyük çoğunluğu, bu farklı tedavilerin, yalnızca açık flep debridmanına kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiş olsa da, sistematik derlemeler hangi stratejinin en etkili olduğunu belirlemede yetersiz kalmıştır (Sculean ve ark. 2015). MMT, periodontal doku rejenerasyonunu indüklemeye potansiyeline sahip sinyal molekülleri içerdiğinden yara iyileşmesini destekleyici bir ajan olarak klinikte yaygın şekilde kullanılmaktadır (Tonetti ve ark. 2004; Graziani ve ark. 2019; Tavelli ve ark. 2020). Ancak, ticari olarak viskoz jel formunda sunulan MMT'nin flep stabilizasyonunu destekleme kapasitesi sınırlı olduğundan, sınırlanmamış (özellikle 1 duvarlı) kemik içi defektlerde performansı sınırlı kalabilmektedir (Tsitoura ve ark. 2004; Siciliano ve ark. 2011). Bu bağlamda, periodontal rejenerasyonda greft materyallerinin kullanımı önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Farklı biyomateryal türleri, defekt morfolojisine ve hastanın klinik ihtiyaçlarına göre tercih edilebilmektedir. Otogreftler, yüksek osteojenik kapasitesi nedeniyle geleneksel olarak altın standart olarak kabul edilir, ancak bu durum ek bir prosedür gerektirir ve donör alanında komplikasyonlara yol açabilir. Buna karşılık, allogreftler, ksenogreftler ve alloplastik greftler, ikincil işlemleri ortadan kaldırarak

donör bölge problemlerini azaltır (Hasuike ve ark. 2024). MMT ve kemik grefti kombinasyonu, özellikle geniş ve sınırlanmamış kemik içi defektlerde periodontal rejenerasyon için cazip bir seçenek olarak öne sürülmektedir (Ivanovic ve ark. 2014; Jepsen ve ark. 2020; Nibali ve ark. 2020; Sanz ve ark. 2020; Stavropoulos ve ark. 2021). MMT'nin kemik greftleriyle kombinasyonu, flep çökmesini önleyebilir ve periodontal rejenerasyon için güvenli bir alan sağlayabilir. Kemik greftleri, kemik oluşumunu artıran ve yara iyileşmesini hızlandıran dolgu maddesi ve iskelet olarak işlev görür (Bowers ve ark. 1989).

Bazı araştırmalar, MMT'nin kemik greftleri ile birlikte kullanımının sondalama derinliğinde azalma, klinik ataşman kazancı ve kemik dolumu açısından anlamlı bir katkı sağladığını bildirmiştir (Minabe ve ark. 2002; Gurinsky ve ark. 2004; Kuru ve ark. 2006; Yılmaz ve ark. 2010). Bunun aksine, pek çok çalışmada MMT'nin kemik greftleri ile kombinasyonunun klinik veya radyografik açıdan ek bir fayda sunmadığı rapor edilmiştir (Arweiler ve ark. 2002; Döri ve ark. 2005; Guida ve ark. 2007; Jepsen ve ark. 2008; Döri ve ark. 2013; Al Machot ve ark. 2014). Ayrıca, MMT'nin diğer rejeneratif materyallerle birlikte kullanımını inceleyen bir meta-analiz, kemik greftleri ile kombinasyonunun ek bir yarar sağlamadığı sonucuna ulaşmıştır (Tu ve ark. 2010). Benzer şekilde, yakın zamanda yapılan bir sistematik derlemede de, MMT'ye kemik greftlerinin eklenmesinin periodontal doku değerlendirmesinde ek bir fayda sağlamadığı, yalnızca radyografik defekt dolumunda iyileşme gözlemlendiğini göstermiştir (Hasuike ve ark. 2024).

Diş Eti Çekilmelerinin Tedavisinde MMT Uygulaması

Mine matriks türevleri, periodontal dokularda sement gelişimini teşvik ederek rejeneratif süreçleri indükleme yeteneğine sahiptir (Hammarström 1997). Bu rejeneratif kavram, kök kapama işlemlerinde de gösterilmiştir (Carnio ve ark. 2002).

Diş eti çekilmelerinin tedavisinde subepitelyal bağ dokusu greftine (SBDG) ek MMT kullanımına ilişkin literatürde çelişkili veriler mevcuttur. Bazı çalışmalar MMT eklenmesinin tedavi sonuçlarını iyileştirdiğini belirtirken (Henriques ve ark. 2010; Sculean ve ark. 2014a; Górski ve ark. 2022a), diğerleri bu etkinin gözlemlenmediğini bildirmiştir (Modica ve ark. 2000; Hägewald ve ark. 2002; Aroca ve ark. 2010; Rasperini ve ark. 2011; Aroca ve ark. 2018).

MMT'nin, bukkal Miller sınıf I ve II diş eti çekilmelerinin tedavisinde koronale kaydırılan flep (KKF) yöntemi ile kullanımını araştıran çok sayıda klinik çalışma bulunmaktadır (Miron ve ark. 2016). Çoğu çalışmada, MMT'nin ek olarak kullanımı, yalnızca KKF yöntemine kıyasla daha fazla keratinize doku oluşumu ve uzun vadeli stabilite sağlamıştır (Hägewald ve ark. 2002; Cueva ve ark. 2004; Spahr ve ark. 2005; Castellanos ve ark. 2006; Pilloni ve ark. 2006; Cairo ve ark. 2014).

Randomize kontrollü bir çalışmada, MMT ile tedavi edilen hastalarda (Miller sınıf I ve II) 2 yıllık takip sonunda tam kök kapama oranının %53, kontrol grubunda ise %23 olduğu belirlenmiştir (Spahr

ve ark. 2005). Benzer sonuçlar, Miller sınıf I veya II diş eti çekilmelerinin MMT uygulamasıyla tedavi edildiği diğer çalışmalar tarafından da desteklenmiştir (Cueva ve ark. 2004; Castellanos ve ark. 2006; Pilloni ve ark. 2006; Cairo ve ark. 2008).

MMT'nin SBDG ile karşılaştırıldığı çalışmalarda da farklı sonuçlar rapor edilmiştir. Örneğin, McGuire ve Nunn (2003), her iki yöntemin benzer ortalama kök kapama sonuçları (%95,1'e karşı %93,8) sağladığını bildirmiştir (McGuire ve Nunn 2003). Tonetti ve Jepsen (2014) tarafından yayımlanan bir konsensüs raporunda ise, KKF'ye MMT veya SBDG eklenmesinin tam kök kapanmasını iyileştirdiğini ve bu kombinasyonların tercih edilebileceğini ifade etmiştir (Tonetti ve Jepsen 2014).

Rasperini ve ark. (2011), Miller sınıf I ve II diş eti çekilmelerinin tedavisinde SBDG'nin tek başına veya MMT ile kullanımının klinik sonuçları karşılaştırılmış ve MMT'nin ek bir iyileşme sağlamadığını göstermiştir (Rasperini ve ark. 2011). Benzer şekilde, Modica ve ark. (2000) ve Hägewald ve ark. (2002)'da, MMT eklemesinin klinik sonuçlar üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını bildirmiştir (Modica ve ark. 2000; Hägewald ve ark. 2002). Aynı yıl içerisinde yayınlanan iki çalışmanın birinde MMT+SBDG'nin birlikte kullanımının fayda sağlamadığı rapor edilirken (Aroca ve ark. 2010), bir diğer çalışmada MMT+SBDG'nin daha iyi klinik sonuçlar gösterdiği savunulmuştur (Henriques ve ark. 2010).

2014 yılında yapılan bir meta analizde; tekli diş eti çekilmelerini tedavi etmek için kullanılan teknikler incelenmiş ve çoklu kombinasyonların (KKF+SBDG'ye MMT eklenmesi, KKF altında ADM kullanımı, rekombinant insan trombosit kaynaklı büyüme faktörü kullanımı, kemik grefti eklenmesi veya kombinasyonları) basit kontrol prosedürlerine kıyasla benzer veya daha az fayda sağladığı sonucuna varılmıştır (Cairo ve ark. 2014).

2020 yılında Stähli ve ark., MKKT+SBDG veya MKKT+SBDG+MMT ile tedavi edilen hastaların 6. ayda, yaklaşık %80'lik kök kapama oranı gözlemlemiş; ancak tedavi grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını rapor etmişlerdir (Stähli ve ark. 2020). 2023 yılında ise araştırmacılar tek ve çoklu diş eti çekilmelerinin (Miller I-III); MKKT+SBDG+MMT veya MKKT+SBDG ile tedavisinin 5 yıllık sonuçlarını sundukları çalışmalarında ise; MKKT ve SBDG kullanmanın, tek ve çoklu (Miller I-III) diş eti çekilmelerinde başarılı kısa ve uzun vadeli sonuçlar sağladığını (tek diş eti çekilmeleri için $82,75 \pm 19,7$; çoklu diş eti çekilmeleri için $87,87 \pm 16,45$ kök kapama oranı), MMT kullanımının ise sonuçları etkilemediğini ortaya koymuştur (Stähli ve ark. 2023). Benzer şekilde Aroca ve ark. (2018) MMT'nin ek kullanımının, MKKT+SBDG ile Miller sınıf III çoklu diş eti çekilmelerinin tedavisinde kök kapamayı etkilemediğini bildirmiştir (Aroca ve ark. 2018). Literatürdeki bu çalışmaların aksine MMT kullanılmayan protokollere kıyasla; KKF+MMT tek başına veya SBDG ile birleştğinde çekilmenin kapanması açısından daha yüksek iyileşmeler

gösterdiğini rapor eden çalışmalar da mevcuttur (Cueva ve ark. 2004; Sato ve ark. 2006; Henriques ve ark. 2010; Cairo ve ark. 2014). Moses ve ark. (2006), MMT ile KKF'nin kombinasyonunun, 12 ay ile karşılaştırıldığında 24 ay sonra daha iyi kök kapama sağladığını bunun bir creeping ataşman meydana gelmesiyle olduğunu öne sürmüştür (Moses ve ark. 2006). MKKT+SBDG tekniğinin çekilme defektine göre kök kapama oranını değerlendiren çalışmalar ise; Miller sınıf I ve II için %90-96 ve Miller sınıf III defektleri için %83 ortalama kök kapama ile çoklu diş eti çekilmelerinin öngörülebilir şekilde kapatıldığını göstermiştir (Aroca ve ark. 2010; Cairo ve ark. 2011; Aroca ve ark. 2013; Sculean ve ark. 2016).

Bu bilgiler doğrultusunda, mevcut literatür MMT'nin, flep teknikleri veya SBDG ile kombinasyon halinde kullanıldığında belirli durumlarda klinik fayda sağladığını göstermektedir. Ancak tedavi protokollerindeki farklılıklar ve klinik parametrelerdeki çeşitlilik, sonuçların tutarlılığını etkilemektedir. Bu nedenle, tedavi planlamasında hasta spesifik özelliklerin dikkate alınması önemlidir.

Periimplantitis ve MMT Uygulaması

Periimplantitis, bakteri kolonizasyonu ile ilişkili, implant çevresindeki yumuşak ve sert dokuların progresif inflamasyonu ve kaybı ile karakterize edilen patolojik bir durumdur (Sanz ve Chapple 2012; Poli ve ark. 2017). Bu hastalığın yönetiminde temel amaç, inflamasyonu ortadan kaldırarak, implant çevresindeki dokuların bütünlüğünü korumak ve doku sağlığını yeniden sağlamaktır (de Waal

ve ark. 2013; Fernandes 2021). Etkili bir tedavi için doğru tanının konulması ve uygun müdahale yöntemlerinin seçilmesi esastır. Periimplantitis tedavisi; enfeksiyon kontrolü, mekanik ve kimyasal debridman, düzeltici veya rejeneratif cerrahi işlemler ve destekleyici tedavi yaklaşımlarını içermelidir (Murray ve ark. 2013; Renvert ve Polyzois 2018).

Rejeneratif cerrahi tedavi, kemik rejenerasyonuna dayalı biyolojik prensipler çerçevesinde uygulanmakta olup, özellikle iki veya üç duvarlı vertikal kemik içi defektlerin varlığında değerlendirilmelidir (Mishler ve Shiau 2014). Rezorbe olabilen veya rezorbe olmayan membranlar kullanılabileceği gibi, yönlendirilmiş kemik rejenerasyonu stratejileri de tercih edilebilir (Jepsen ve ark. 2020). Rejenerasyon amaçlı kullanılan biyomateryaller arasında ksenogreftler, allogreftler, alloplastik materyaller ve otojen kemik greftleri yer almakta olup (Roccuzzo ve ark. 2016; Baskaran ve ark. 2022), MMT’de (Isched ve ark. 2016; Dias ve ark. 2022) bu alanda araştırılmaktadır. Bununla birlikte, rejeneratif cerrahi tedavinin öngörülebilirliği bazı klinik durumlarda halen tartışmalıdır (Schwarz ve ark. 2009; Schwarz ve ark. 2018). Özellikle implant yüzeyinin tam olarak dekontamine edilmesi, kullanılan materyallerin hastanın oral ortamıyla teması ve bakterilerin tamamen uzaklaştırılması gibi faktörler tedavinin başarısını etkileyebilmektedir (Khoury ve ark. 2019).

Mine matriks türevleri, yara iyileşmesini hızlandırma ve yeni kemik oluşumunu destekleme potansiyeli nedeniyle periimplantitis tedavisinde araştırılan biyomateryaller arasındadır (Miron ve ark.

2016). İn vitro alışmalar, MMT'nin titanyum yüzeylerinde osteoblastların tutunmasını, proliferasyonunu ve canlılığını artırdığını göstermektedir (Schwarz ve ark. 2004, Miron ve ark. 2010, Qu ve ark. 2011, Birang ve ark. 2012). Ayrıca, yapılan randomize klinik çalışmalar, periimplantitisin cerrahi tedavisine eklenen MMT uygulamasının, 12 aylık takip sürecinde Gram (+) aerobik bakterilerin prevalansı ile ilişkili olduğunu ve marjinal kemik seviyesinin artışını desteklediğini ortaya koymuştur (Ished ve ark. 2016). Benzer şekilde, Chong ve ark. (2006) tarafından yapılan bir in vitro çalışmada, trombosit kaynaklı büyüme faktörü ve MMT'nin birlikte kullanımının, her birinin tek başına kullanımına kıyasla daha yüksek hücresel proliferasyon ve yara dolumu ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Chong ve ark. 2006).

Periimplantitis tedavisinde cerrahi yaklaşımlar, özellikle rejeneratif prosedürler, uzun vadeli başarı açısından önemli bir şeenektir. Ancak, tedavi bireyselleştirilmiş olmalı ve implant çevresi dokuların sağlığını korumak için düzenli takip ve bakım protokolleri uygulanmalıdır. MMT'nin kemik rejenerasyonunu artırdığına dair kesin kanıtlar bulunmamakla birlikte, mevcut çalışmalar bu yöntemin güvenli olduğunu ve standart kontrol protokollerine kıyasla olumsuz bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, periimplant dokular gibi karmaşık klinik ortamlar için daha uzun takip süreli, geniş örneklem gruplarını içeren ve iyi tasarlanmış randomize kontrollü çalışmalar gerekmektedir.

SONUÇ

Mine matriks türevleri, periodontal ve periimplant dokularda doku rejenerasyonunu destekleme, inflamasyonu azaltma ve hücre proliferasyonunu iyileştirme açısından önemli bir potansiyele sahiptir. MMT'nin cerrahi olmayan ve cerrahi tedavi protokollerinde uygulanabilirliği farklı sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle kemik içi defektler, furkasyon defektleri, diş eti çekilmeleri ve periimplantitis tedavisinde elde edilen sonuçlar, tedavi yöntemlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. MMT'nin etkinliği, tedavi protokolünün yanı sıra defekt anatomisi, flep tasarımı, ek greft veya membran kullanımı ve hasta faktörleri gibi çeşitli etmenlere de bağlıdır. Bu unsurlar, tedavi başarısını doğrudan etkileyen temel faktörlerdir.

Literatürde, MMT'nin periodontal ve periimplant tedavilerde güvenilir ve potansiyel olarak etkin bir ajan olarak tanımlandığı belirtilse de, tedavi sonuçlarının sabit olmaması ve vaka seçimi duyarlılığı, uygulama öncesinde kapsamlı bir değerlendirme yapılmasını gerektirmektedir. Gelecekte, MMT'nin etkinliğini daha iyi değerlendirmek için, uzun vadeli ve çok merkezli randomize kontrollü çalışmalar yapılması önemlidir. Bu tür çalışmalar, MMT'nin klinik etkinliğini ve farklı kombinasyon protokollerinin başarısını daha ayrıntılı bir şekilde inceleyecektir. Özellikle periimplant bölgelerinde daha fazla veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Son olarak, MMT'nin uzun dönem sonuçları, farklı yaş gruplarındaki hastalar üzerindeki etkisi ve sistemik hastalıkları olan bireylerdeki klinik sonuçları üzerine yapılacak çalışmalar, tedavi

stratejilerinin daha doğru belirlenmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Bu araştırmalar, MMT'nin uygulama alanlarını daha da genişletebilir ve tedaviye yönelik daha kişiselleştirilmiş yaklaşımlar geliştirilmesine olanak sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Al Machot E, Hoffmann T, Lorenz K, Khalili I, Noack B. Clinical outcomes after treatment of periodontal intrabony defects with nanocrystalline hydroxyapatite (Ostim) or enamel matrix derivatives (Emdogain): a randomized controlled clinical trial. *Biomed Res Int*. 2014;2014:786353.
- Aroca S, Barbieri A, Clementini M, Renouard F, de Sanctis M. Treatment of class III multiple gingival recessions: Prognostic factors for achieving a complete root coverage. *J Clin Periodontol*. 2018;45:861-8.
- Aroca S, Keglevich T, Nikolidakis D, Gera I, Nagy K, Azzi R, et al. Treatment of class III multiple gingival recessions: a randomized-clinical trial. *J Clin Periodontol*. 2010;37:88-97.
- Aroca S, Molnár B, Windisch P, Gera I, Salvi GE, Nikolidakis D, et al. Treatment of multiple adjacent Miller class I and II gingival recessions with a Modified Coronally Advanced Tunnel (MCAT) technique and a collagen matrix or palatal connective tissue graft: a randomized, controlled clinical trial. *J Clin Periodontol*. 2013;40:713-20.
- Arweiler NB, Auschill TM, Donos N, Sculean A. Antibacterial effect of an enamel matrix protein derivative on in vivo dental biofilm vitality. *Clin Oral Investig*. 2002;6:205-9.
- Baskaran P, Prakash PSG, Appukuttan D, Mugri MH, Sayed M, Subramanian S, et al. Clinical and Radiological Outcomes for Guided Implant Placement in Sites Preserved with Bioactive

- Glass Bone Graft after Tooth Extraction: A Controlled Clinical Trial. *Biomimetics* (Basel). 2022;7.
- Bowers GM, Chadroff B, Carnevale R, Mellonig J, Corio R, Emerson J, et al. Histologic evaluation of new attachment apparatus formation in humans. Part III. *J Periodontol*. 1989;60:683-93.
- Cairo F, Nieri M, Cincinelli S, Mervelt J, Pagliaro U. The interproximal clinical attachment level to classify gingival recessions and predict root coverage outcomes: an explorative and reliability study. *J Clin Periodontol*. 2011;38:661-6.
- Cairo F, Nieri M, Pagliaro U. Efficacy of periodontal plastic surgery procedures in the treatment of localized facial gingival recessions. A systematic review. *J Clin Periodontol*. 2014;41 Suppl 15:S44-62.
- Cairo F, Pagliaro U, Nieri M. Treatment of gingival recession with coronally advanced flap procedures: a systematic review. *J Clin Periodontol*. 2008;35:136-62.
- Castellanos A, de la Rosa M, de la Garza M, Caffesse RG. Enamel matrix derivative and coronal flaps to cover marginal tissue recessions. *J Periodontol*. 2006;77:7-14.
- Chatzopoulos GS, Anastasopoulos M, Zarenti S, Doufexi AE, Tsalikis L. Flapless application of enamel matrix derivative in non-surgical periodontal treatment: A systematic review. *Int J Dent Hyg*. 2022;20:422-33.
- Chen FM, Jin Y. Periodontal tissue engineering and regeneration: current approaches and expanding opportunities. *Tissue Eng Part B Rev*. 2010;16:219-55.

- Chong CH, Carnes DL, Moritz AJ, Oates T, Ryu OH, Simmer J, et al. Human periodontal fibroblast response to enamel matrix derivative, amelogenin, and platelet-derived growth factor-BB. *J Periodontol.* 2006;77:1242-52.
- Cueva MA, Boltchi FE, Hallmon WW, Nunn ME, Rivera-Hidalgo F, Rees T. A comparative study of coronally advanced flaps with and without the addition of enamel matrix derivative in the treatment of marginal tissue recession. *J Periodontol.* 2004;75:949-56.
- de Waal YC, Raghoobar GM, Huddleston Slater JJ, Meijer HJ, Winkel EG, van Winkelhoff AJ. Implant decontamination during surgical peri-implantitis treatment: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Clin Periodontol.* 2013;40:186-95.
- Dias AT, de Menezes CC, Kahn S, Fischer RG, da Silva Figueredo CM, Fernandes GVO. Gingival recession treatment with enamel matrix derivative associated with coronally advanced flap and subepithelial connective tissue graft: a split-mouth randomized controlled clinical trial with molecular evaluation. *Clin Oral Investig.* 2022;26:1453-63.
- Döri F, Arweiler N, Gera I, Sculean A. Clinical evaluation of an enamel matrix protein derivative combined with either a natural bone mineral or beta-tricalcium phosphate. *J Periodontol.* 2005;76:2236-43.
- Döri F, Arweiler N, Húszár T, Gera I, Miron RJ, Sculean A. Five-year results evaluating the effects of platelet-rich plasma on the healing of intrabony defects treated with enamel matrix

- derivative and natural bone mineral. *J Periodontol.* 2013;84:1546-55.
- Esposito M, Grusovin MG, Papanikolaou N, Coulthard P, Worthington HV. Enamel matrix derivative (Emdogain(R)) for periodontal tissue regeneration in intrabony defects. *Cochrane Database Syst Rev.* 2009;2009:Cd003875.
- Fernandes G. Peri-Implantitis matter: possibilities of treatment but without a strong predictability for solution. *Env. Dental J.* 2021;3.
- Giannobile WV, Somerman MJ. Growth and amelogenin-like factors in periodontal wound healing. A systematic review. *Ann Periodontol.* 2003;8:193-204.
- Graziani F, Gennai S, Petrini M, Bettini L, Tonetti M. Enamel matrix derivative stabilizes blood clot and improves clinical healing in deep pockets after flapless periodontal therapy: A Randomized Clinical Trial. *J Clin Periodontol.* 2019;46:231-40.
- Guida L, Annunziata M, Belardo S, Farina R, Scabbia A, Trombelli L. Effect of autogenous cortical bone particulate in conjunction with enamel matrix derivative in the treatment of periodontal intraosseous defects. *J Periodontol.* 2007;78:231-8.
- Gurinsky BS, Mills MP, Mellonig JT. Clinical evaluation of demineralized freeze-dried bone allograft and enamel matrix derivative versus enamel matrix derivative alone for the treatment of periodontal osseous defects in humans. *J Periodontol.* 2004;75:1309-18.

- Gutierrez MA, Mellonig JT, Cochran DL. Evaluation of enamel matrix derivative as an adjunct to non-surgical periodontal therapy. *J Clin Periodontol.* 2003;30:739-45.
- Hägewald S, Spahr A, Rompola E, Haller B, Heijl L, Bernimoulin JP. Comparative study of Emdogain and coronally advanced flap technique in the treatment of human gingival recessions. A prospective controlled clinical study. *J Clin Periodontol.* 2002;29:35-41.
- Hammarström L, Heijl L, Gestrelus S. Periodontal regeneration in a buccal dehiscence model in monkeys after application of enamel matrix proteins. *J Clin Periodontol.* 1997;24:669-77.
- Hasuike A, Watanabe T, Hirooka A, Arai S, Akutagawa H, Yoshinuma N, et al. Enamel matrix derivative monotherapy versus combination therapy with bone grafts for periodontal intrabony defects: An updated review. *Jpn Dent Sci Rev.* 2024;60:239-49.
- Heijl L. Periodontal regeneration with enamel matrix derivative in one human experimental defect. A case report. *J Clin Periodontol.* 1997;24:693-6.
- Heijl L, Heden G, Svärðström G, Ostgren A. Enamel matrix derivative (EMDOGAIN) in the treatment of intrabony periodontal defects. *J Clin Periodontol.* 1997;24:705-14.
- Henriques PS, Pelegri AA, Nogueira AA, Borghi MM. Application of subepithelial connective tissue graft with or without enamel matrix derivative for root coverage: a split-mouth randomized study. *J Oral Sci.* 2010;52:463-71.

- Isehed C, Holmlund A, Renvert S, Svenson B, Johansson I, Lundberg P. Effectiveness of enamel matrix derivative on the clinical and microbiological outcomes following surgical regenerative treatment of peri-implantitis. A randomized controlled trial. *J Clin Periodontol*. 2016;43:863-73.
- Ivanovic A, Nikou G, Miron RJ, Nikolidakis D, Sculean A. Which biomaterials may promote periodontal regeneration in intrabony periodontal defects? A systematic review of preclinical studies. *Quintessence Int*. 2014;45:385-95.
- Jentsch HFR, Thomaidis CPC, Schütz T, Eick S. Enamel matrix derivative and subgingival reinstrumentation: a pilot study. *Quintessence Int*. 2021;52:506-13.
- Jepsen S, Gennai S, Hirschfeld J, Kalemaj Z, Buti J, Graziani F. Regenerative surgical treatment of furcation defects: A systematic review and Bayesian network meta-analysis of randomized clinical trials. *J Clin Periodontol*. 2020;47 Suppl 22:352-74.
- Jepsen S, Topoll H, Rengers H, Heinz B, Teich M, Hoffmann T, et al. Clinical outcomes after treatment of intra-bony defects with an EMD/synthetic bone graft or EMD alone: a multicentre randomized-controlled clinical trial. *J Clin Periodontol*. 2008;35:420-8.
- Khoury F, Keeve PL, Ramanauskaite A, Schwarz F, Koo KT, Sculean A, et al. Surgical treatment of peri-implantitis - Consensus report of working group 4. *Int Dent J*. 2019;69 Suppl 2:18-22.

- Kinane DF, Stathopoulou PG, Papapanou PN. Periodontal diseases. *Nat Rev Dis Primers*. 2017;3:17038.
- Kuru B, Yilmaz S, Argin K, Noyan U. Enamel matrix derivative alone or in combination with a bioactive glass in wide intrabony defects. *Clin Oral Investig*. 2006;10:227-34.
- Lang NP, Salvi GE, Sculean A. Nonsurgical therapy for teeth and implants-When and why? *Periodontol 2000*. 2019;79:15-21.
- McGuire MK, Nunn M. Evaluation of human recession defects treated with coronally advanced flaps and either enamel matrix derivative or connective tissue. Part 1: Comparison of clinical parameters. *J Periodontol*. 2003;74:1110-25.
- Mellonig JT, Valderrama P, Gregory HJ, Cochran DL. Clinical and histologic evaluation of non-surgical periodontal therapy with enamel matrix derivative: a report of four cases. *J Periodontol*. 2009;80:1534-40.
- Minabe M, Kodama T, Kogou T, Takeuchi K, Fushimi H, Sugiyama T, et al. A comparative study of combined treatment with a collagen membrane and enamel matrix proteins for the regeneration of intraosseous defects. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2002;22:595-605.
- Miron RJ, Bosshardt DD, Laugisch O, Katsaros C, Buser D, Sculean A. Enamel matrix protein adsorption to root surfaces in the presence or absence of human blood. *J Periodontol*. 2012;83:885-92.

- Miron RJ, Sculean A, Cochran DL, Froum S, Zucchelli G, Nemcovsky C, et al. Twenty years of enamel matrix derivative: the past, the present and the future. *J Clin Periodontol*. 2016;43:668-83.
- Mishler OP, Shiau HJ. Management of peri-implant disease: a current appraisal. *J Evid Based Dent Pract*. 2014;14 Suppl:53-9.
- Modica F, Del Pizzo M, Roccuzzo M, Romagnoli R. Coronally advanced flap for the treatment of buccal gingival recessions with and without enamel matrix derivative. A split-mouth study. *J Periodontol*. 2000;71:1693-8.
- Moses O, Artzi Z, Sculean A, Tal H, Kozlovsky A, Romanos GE, et al. Comparative study of two root coverage procedures: A 24-month follow-up multicenter study. *Journal of periodontology*. 2006;77:195-202.
- Murphy KG, Gunsolley JC. Guided tissue regeneration for the treatment of periodontal intrabony and furcation defects. A systematic review. *Ann Periodontol*. 2003;8:266-302.
- Murray CM, Knight ET, Russell AA, Tawse-Smith A, Leichter JW. Peri-implant disease: current understanding and future direction. *N Z Dent J*. 2013;109:55-62.
- Najim U, Norderyd O. Prevalence of intrabony defects in a Swedish adult population. A radiographic epidemiological study. *Acta Odontol Scand*. 2017;75:123-9.
- Najim U, Slotte C, Norderyd O. Prevalence of furcation-involved molars in a Swedish adult population. A radiographic epidemiological study. *Clin Exp Dent Res*. 2016;2:104-11.

- Needleman I, Worthington HV, Giedrys-Leeper E, Tucker R. WITHDRAWN: Guided tissue regeneration for periodontal infra-bony defects. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019;5:Cd001724.
- Newman SA, Coscia SA, Jotwani R, Iacono VJ, Cutler CW. Effects of enamel matrix derivative on *Porphyromonas gingivalis*. *J Periodontol*. 2003;74:1191-5.
- Nibali L, Koidou VP, Nieri M, Barbato L, Pagliaro U, Cairo F. Regenerative surgery versus access flap for the treatment of intra-bony periodontal defects: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol*. 2020;47 Suppl 22:320-51.
- Nibali L, Zavattini A, Nagata K, Di Iorio A, Lin GH, Needleman I, et al. Tooth loss in molars with and without furcation involvement - a systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol*. 2016;43:156-66.
- Nielsen IM, Glavind L, Karring T. Interproximal periodontal intrabony defects. Prevalence, localization and etiological factors. *J Clin Periodontol*. 1980;7:187-98.
- Petinaki E, Nikolopoulos S, Castanas E. Low stimulation of peripheral lymphocytes, following in vitro application of Emdogain. *J Clin Periodontol*. 1998;25:715-20.
- Pihlstrom BL, Ammons WF. Treatment of gingivitis and periodontitis. Research, Science and Therapy Committee of the American Academy of Periodontology. *J Periodontol*. 1997;68:1246-53.
- Pilloni A, Paolantonio M, Camargo PM. Root coverage with a coronally positioned flap used in combination with enamel matrix

- derivative: 18-month clinical evaluation. *J Periodontol.* 2006;77:2031-9.
- Poli PP, Cicciu M, Beretta M, Maiorana C. Peri-Implant Mucositis and Peri-Implantitis: A Current Understanding of Their Diagnosis, Clinical Implications, and a Report of Treatment Using a Combined Therapy Approach. *J Oral Implantol.* 2017;43:45-50.
- Prichard JF. The etiology, diagnosis and treatment of the intrabony defect. *J Periodontol.* 1967;38:455-65.
- Rasperini G, Roccuzzo M, Francetti L, Acunzo R, Consonni D, Silvestri M. Subepithelial connective tissue graft for treatment of gingival recessions with and without enamel matrix derivative: a multicenter, randomized controlled clinical trial. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2011;31:133-9.
- Renvert S, Polyzois I. Treatment of pathologic peri-implant pockets. *Periodontol 2000.* 2018;76:180-90.
- Reynolds MA, Aichelmann-Reidy ME, Branch-Mays GL, Gunsolley JC. The efficacy of bone replacement grafts in the treatment of periodontal osseous defects. A systematic review. *Ann Periodontol.* 2003;8:227-65.
- Roccuzzo A, Imber JC, Stähli A, Kloukos D, Salvi GE, Sculean A. Correction to: Enamel matrix derivative as adjunctive to non-surgical periodontal therapy: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Oral Investig.* 2022;26:4281.
- Roccuzzo M, Gaudioso L, Lungo M, Dalmaso P. Surgical therapy of single peri-implantitis intrabony defects, by means of

- deproteinized bovine bone mineral with 10% collagen. *J Clin Periodontol.* 2016;43:311-8.
- Sanz M, Chapple IL. Clinical research on peri-implant diseases: consensus report of Working Group 4. *J Clin Periodontol.* 2012;39 Suppl 12:202-6.
- Sanz M, Herrera D, Kebschull M, Chapple I, Jepsen S, Beglundh T, et al. Treatment of stage I-III periodontitis-The EFP S3 level clinical practice guideline. *J Clin Periodontol.* 2020;47 Suppl 22:4-60.
- Sato S, Yamada K, Kato T, Haryu K, Ito K. Treatment of Miller Class III recessions with enamel matrix derivative (Emdogain) in combination with subepithelial connective tissue grafting. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2006;26:71-7.
- Schallhorn RA, McClain PK, Benhamou V, Doobrow JH, Grandin HM, Kasaj A. Application of enamel matrix derivative in conjunction with non-surgical therapy for treatment of moderate to severe periodontitis: A 12-month, randomized prospective, multicenter study. *J Periodontol.* 2021;92:619-28.
- Schwarz F, Derks J, Monje A, Wang HL. Peri-implantitis. *J Clin Periodontol.* 2018;45 Suppl 20:S246-s66.
- Schwarz F, Sahm N, Bieling K, Becker J. Surgical regenerative treatment of peri-implantitis lesions using a nanocrystalline hydroxyapatite or a natural bone mineral in combination with a collagen membrane: a four-year clinical follow-up report. *J Clin Periodontol.* 2009;36:807-14.

- Sculean A, Cosgarea R, Stähli A, Katsaros C, Arweiler NB, Miron RJ, et al. Treatment of multiple adjacent maxillary Miller Class I, II, and III gingival recessions with the modified coronally advanced tunnel, enamel matrix derivative, and subepithelial connective tissue graft: A report of 12 cases. *Quintessence Int.* 2016;47:653-9.
- Sculean A, Donos N, Windisch P, Brex M, Gera I, Reich E, et al. Healing of human intrabony defects following treatment with enamel matrix proteins or guided tissue regeneration. *J Periodontol Res.* 1999;34:310-22.
- Sculean A, Nikolidakis D, Nikou G, Ivanovic A, Chapple IL, Stavropoulos A. Biomaterials for promoting periodontal regeneration in human intrabony defects: a systematic review. *Periodontol 2000.* 2015;68:182-216.
- Sculean A, Windisch P, Keglevich T, Gera I. Histologic evaluation of human intrabony defects following non-surgical periodontal therapy with and without application of an enamel matrix protein derivative. *J Periodontol.* 2003;74:153-60.
- Shujaa Addin A, Akizuki T, Matsuura T, Hoshi S, Ikawa T, Maruyama K, et al. Histological healing after nonsurgical periodontal treatment with enamel matrix derivatives in canine experimental periodontitis. *Odontology.* 2018;106:289-96.
- Siciliano VI, Andreuccetti G, Siciliano AI, Blasi A, Sculean A, Salvi GE. Clinical outcomes after treatment of non-contained intrabony defects with enamel matrix derivative or guided tissue

- regeneration: a 12-month randomized controlled clinical trial. *J Periodontol.* 2011;82:62-71.
- Spahr A, Haegewald S, Tsoulfidou F, Rompola E, Heijl L, Bernimoulin JP, et al. Coverage of Miller class I and II recession defects using enamel matrix proteins versus coronally advanced flap technique: a 2-year report. *J Periodontol.* 2005;76:1871-80.
- Stähli A, Duong HY, Imber JC, Roccuzzo A, Salvi GE, Katsaros C, et al. Recession coverage using the modified coronally advanced tunnel and connective tissue graft with or without enamel matrix derivative: 5-year results of a randomised clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2023;27:105-13.
- Stähli A, Imber JC, Raptis E, Salvi GE, Eick S, Sculean A. Effect of enamel matrix derivative on wound healing following gingival recession coverage using the modified coronally advanced tunnel and subepithelial connective tissue graft: a randomised, controlled, clinical study. *Clin Oral Investig.* 2020;24:1043-51.
- Stavropoulos A, Bertl K, Spinelì LM, Sculean A, Cortellini P, Tonetti M. Medium- and long-term clinical benefits of periodontal regenerative/reconstructive procedures in intrabony defects: Systematic review and network meta-analysis of randomized controlled clinical studies. *J Clin Periodontol.* 2021;48:410-30.
- Suvan J, Leira Y, Moreno Sancho FM, Graziani F, Derks J, Tomasi C. Subgingival instrumentation for treatment of periodontitis. A systematic review. *J Clin Periodontol.* 2020;47 Suppl 22:155-75.

- Tavelli L, McGuire MK, Zucchelli G, Rasperini G, Feinberg SE, Wang HL, et al. Biologics-based regenerative technologies for periodontal soft tissue engineering. *J Periodontol*. 2020;91:147-54.
- Tonetti MS, Fourmouis I, Suvan J, Cortellini P, Brägger U, Lang NP. Healing, post-operative morbidity and patient perception of outcomes following regenerative therapy of deep intrabony defects. *J Clin Periodontol*. 2004;31:1092-8.
- Tonetti MS, Jepsen S. Clinical efficacy of periodontal plastic surgery procedures: consensus report of Group 2 of the 10th European Workshop on Periodontology. *J Clin Periodontol*. 2014;41 Suppl 15:S36-43.
- Tsitoura E, Tucker R, Suvan J, Laurell L, Cortellini P, Tonetti M. Baseline radiographic defect angle of the intrabony defect as a prognostic indicator in regenerative periodontal surgery with enamel matrix derivative. *J Clin Periodontol*. 2004;31:643-7.
- Tu YK, Woolston A, Faggion CM, Jr. Do bone grafts or barrier membranes provide additional treatment effects for infrabony lesions treated with enamel matrix derivatives? A network meta-analysis of randomized-controlled trials. *J Clin Periodontol*. 2010;37:59-79.
- Vrotsos JA, Parashis AO, Theofanatos GD, Smulow JB. Prevalence and distribution of bone defects in moderate and advanced adult periodontitis. *J Clin Periodontol*. 1999;26:44-8.

- Wennström JL, Lindhe J. Some effects of enamel matrix proteins on wound healing in the dento-gingival region. *J Clin Periodontol.* 2002;29:9-14.
- Wouters FR, Salonen LE, Helldén LB, Frithiof L. Prevalence of interproximal periodontal intrabony defects in an adult population in Sweden. A radiographic study. *J Clin Periodontol.* 1989;16:144-9.
- Yilmaz S, Cakar G, Yildirim B, Sculean A. Healing of two and three wall intrabony periodontal defects following treatment with an enamel matrix derivative combined with autogenous bone. *J Clin Periodontol.* 2010;37:544-50.
- Yuan K, Chen CL, Lin MT. Enamel matrix derivative exhibits angiogenic effect in vitro and in a murine model. *J Clin Periodontol.* 2003;30:732-8.
- Yukna RA, Mellonig JT. Histologic evaluation of periodontal healing in humans following regenerative therapy with enamel matrix derivative. A 10-case series. *J Periodontol.* 2000;71:752-9.

BÖLÜM 3

YAPAY ZEKA DESTEKLİ ENDODONTİK TANI YÖNTEMLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Duygu Değirmencioğlu

GİRİŞ

Endodonti alanında başarılı bir kök kanal tedavisi için doğru tanı büyük önem taşır. **Yapay zeka (YZ)** teknolojileri, özellikle derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar, son yıllarda diş hekimliğinde ve endodontide tanısal doğruluğu ve verimliliği artırmada umut vadeden araçlar olarak ortaya çıkmıştır. YZ, insan bilişsel süreçlerini taklit eden algoritmalar bütünü olarak tanımlanabilir ve uygun veriyle eğitildiğinde karmaşık kararları insan uzmanlara benzer şekilde verebilir (Khanagar et al., 2021; Machoy et al., 2020; Tandon & Rajawat, 2020). Dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte endodontide teşhis ve tedaviye yönelik büyük miktarda veri üretilmektedir; bu verinin etkin analizi zor olmakla birlikte YZ teknikleri bu noktada devreye girerek hekimlerin karar süreçlerine destek olabilmektedir (Ramesh et al., 2004; Setzer et al., 2024). Nitekim, YZ uygulamaları sayesinde endodontide tanı ve sonuç tahmininde yeni bir doğruluk seviyesine ulaşmak mümkün görünmektedir.

Son yıllarda endodontide YZ kullanımına ilişkin bilimsel yayınlarda belirgin bir artış gözlenmiştir. Örneğin, Khanagar ve ark. (2023)

tarafından yapılan bir sistematik derlemede, özellikle son 5 yılda endodontik uygulamalarda YZ ile ilgili çalışmaların sayısında ciddi bir yükseliş olduğu bildirilmiştir (Khanagar et al., 2023). Bu çalışmaların çoğunda **yapay sinir ağları** (Artificial Neural Networks, **ANN**) ve özellikle görüntü analizi için **evrimsel sinir ağları** (Convolutional Neural Networks, **CNN**) kullanılmış ve bu sayede endodontik tanıda çeşitli görevlerde yüksek performans sergilendiği gösterilmiştir (Aminoshariae et al., 2021). YZ destekli modeller; kök kanal morfolojisinin incelenmesi, periapikal lezyonların tespiti, kök kırıklarının tanınması, çalışma boyunun belirlenmesi, hatta dental pulpa kök hücre yaşamsallığının ve tedavi başarısının öngörülmesi gibi çok sayıda endodontik uygulamada başarıyla denenmiştir (Aminoshariae et al., 2021; Mohammad-Rahimi et al., 2024). Bu uygulama örnekleri, YZ'nin endodontik tanı süreçlerinde ne denli geniş bir yelpazede katkı sunabildiğini göstermektedir. Nitekim Sudeep ve ark. (2023) da yapay zekanın apikal foramenin lokalizasyonu, periapikal patolojilerin saptanması, vertikal kök kırıklarının teşhisi, rejeneratif tedavi ve retreatment (yeniden tedavi) sonuçlarının değerlendirilmesi ile kök kanal morfolojilerinin belirlenmesi gibi alanlarda yaygın olarak kullanıldığını vurgulamıştır (Sudeep et al., 2023).

YZ'nin endodontide sunduğu potansiyel yalnızca akademik merak konusu değildir; klinik pratikte de ciddi bir dönüşüm yaratma potansiyeline sahiptir. Yapay zekanın, özellikle de derin öğrenme tekniklerinin, tanısal doğruluğu arttırdığı ve böylece tedavi planlaması

ve sonuçlarında iyileşmeye yol açabileceği çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur (Dennis et al., 2024). Bununla birlikte, YZ teknolojilerinin rutin klinik kullanıma girmeden önce güvenilirlik, genellenebilirlik ve etik konularında hala aşılması gereken engeller bulunmaktadır. Bu bölümde, yapay zeka destekli endodontik tanı yöntemleri ele alınacak; derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar başta olmak üzere YZ'nın endodontik tanı süreçlerine nasıl entegre edildiği detaylı bir şekilde incelenecektir. Özellikle **derin öğrenme (CNN, ANN) uygulamaları** çerçevesinde, **kök kanal morfolojisi tespiti, pulpa durumu tanısı, periapikal lezyonların değerlendirilmesi, çalışma boyu tespiti ve kırık tespiti** gibi spesifik tanısal örnekler güncel literatür eşliğinde sunulacak, son olarak bu alandaki kısıtlılıklar ve geleceğe yönelik beklentiler tartışılacaktır.

LİTERATÜR TARAMASI

Endodontide yapay zeka kullanımı yeni bir kavram olmayıp, 2010'ların başından itibaren ilk örneklerini vermeye başlamıştır. Erken dönem çalışmalarda geleneksel yapay sinir ağı modelleri sınırlı veriyle eğitilerek belirli tanılarda kullanılmaya çalışılmıştır. Örneğin, Saghiri ve ark. 2012 yılında bir **yapay sinir ağı** modelini kullanarak dental radyografiler üzerinde minör apikal foramenin lokalizasyonunu otomatikleştirmeyi denemiş ve başarılı sonuçlar elde etmiştir (Saghiri, Asgar, et al., 2012). Bunu takiben yine Saghiri ve ark. (2012), kadavra dişler üzerinde yaptıkları bir çalışmada YZ modelinin **çalışma boyu tespiti**ndeki doğruluğunu deneyimli endodontistlerin ölçümleriyle karşılaştırmış; modelin %96 doğrulukla çalışma boyunu

belirleyebildiğini, bunun uzmanların doğruluğundan belirgin derecede yüksek olduğunu rapor etmişlerdir (Saghiri, Garcia-Godoy, et al., 2012). Bu erken dönem araştırmaları, endodontik tanıda YZ kullanımının mümkün olabileceğini göstererek daha sonraki derin öğrenme temelli çalışmalar için temel oluşturmuştur.

2010'ların sonu ve 2020'li yıllarda, hesaplama gücündeki artış ve büyük veri kümelerinin erişilebilir hale gelmesiyle **derin öğrenme** yaklaşımları endodontide yaygınlaşmıştır. Özellikle CNN tabanlı görüntü işleme algoritmaları, dental radyografiler ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) görüntülerindeki karmaşık desenleri insan gözünden daha hassas tespit edebilme yeteneği sayesinde öne çıkmıştır. Ekert ve ark. (2019), endodontide derin öğrenmenin ilk başarılı örneklerinden birini sunarak periapikal lezyonların periapikal radyograflar üzerinde tespiti için bir CNN modeli geliştirmiş ve yüksek doğruluk oranları bildirmiştir (Ekert et al., 2019). Bunu takip eden birçok çalışma, benzer şekilde radyografilerdeki endodontik patolojilerin saptanmasında YZ'nin etkinliğini ortaya koymuştur. Örneğin, 2021 yılında Li ve ark. periapikal radyografilerde **apikal lezyon** varlığını tespit etmek üzere bir CNN modeli kullanmış ve modeli, lezyon tespitinde başarılı bulunmuştur (Li et al., 2021). Yine 2021'de Pauwels ve ark., intraoral radyografiler üzerinde periapikal lezyonları saptamak için geliştirdikleri bir YZ modelinin performansını uzman gözlemcilerle karşılaştırmış; sonuçta CNN tabanlı modelin, insan gözlemcilerle benzer doğrulukta lezyon tespiti yapabildiğini göstermişlerdir (Pauwels, 2021).

Endodontide YZ uygulamalarını sistematik olarak inceleyen derlemeler, bu alandaki genel durumu özetlemektedir. Aminoshariae ve ark. (2021), yapay zeka modellerinin endodontide **kök kanal anatomisinin incelenmesi, periapikal lezyon ve kök kırıklarının saptanması, çalışma uzunluğu belirlenmesi, dental pulpa kök hücre canlılığının öngörülmesi ve retreatment başarısının tahmini** gibi çok çeşitli amaçlarla kullanıldığını bildirmiştir (Aminoshariae et al., 2021). Bu derlemede, gelecekte YZ'nın randevu planlamasından ilaç etkileşimlerine, prognostik değerlere sahip tanılardan robot destekli endodontik cerrahiye kadar uzanan bir yelpazede rol alabileceği belirtilmiştir. (Aminoshariae et al., 2021) Benzer şekilde, Umer ve Habib (2022) tarafından gerçekleştirilen bir başka derlemede de endodontide kullanılan YZ algoritmalarının mevcut durumu ele alınmış ve literatürdeki çalışmaların çoğunlukla sınırlı sayıda veri ile yapılmış olmasına rağmen sonuçların umut verici olduğu vurgulanmıştır. (Umer & Habib, 2022) En güncel kapsamlı çalışmalardan biri olan Asgary (2024) ise özellikle **CNN ve ANN** odaklı bir tarama derlemesi yaparak YZ modellerinin kök kanal anatomisi analizi, erken dönem periapikal lezyon tespiti ve hassas çalışma boyu tayini gibi görevlerde son derece faydalı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur (Asgary, 2024). Aynı çalışma, YZ modellerinin derin çürük ve pulpa inflamasyonu tespiti, vertikal kök kırıklarının belirlenmesi gibi konularda da etkin olduğunu, ayrıca KIBT taramalarında yapısal işaret ve lezyonları yüksek doğrulukla tanıyabildiğini bildirmektedir (Asgary, 2024).

Bu literatür bulguları bir arada değerlendirildiğinde, yapay zekanın endodontik tanı alanında **yardımcı bir araç** olarak konumlandığı görülmektedir. Mevcut araştırmalar, YZ modellerinin genellikle **hekimin yerini almayı amaçlamadığını**, aksine hekimin uzmanlığını pekiştiren ve tanısal süreci hızlandıran **destek sistemleri** olarak tasarlandığını ortaya koymaktadır (Khanagar et al., 2021). Özetle, literatür taraması yapay zekanın endodontide giderek artan bir ivmeyle araştırıldığını ve kök kanal tedavisiyle ilişkili birçok tanısal adımda başarılı uygulama örnekleri bulunduğunu göstermektedir. Aşağıda, bu uygulamaların başlıcaları güncel literatürden örneklerle birlikte detaylandırılmaktadır. Yapay zekanın endodontideki farklı tanısal görevlerde kullanımına ilişkin örnek uygulamalar, kullanılan yöntemler, avantajlar ve kısıtlılıklar **Tablo 1**'de özetlenmiştir.

Tanısal Alan	YZ Yöntemi	Görüntü Türü	Örnek Çalışma	Avantajlar	Kısıtlılıklar
Kök kanal morfolojisi tespiti	CNN	Panoramik radyografi	Hiraiwa et al. (2019)	Karmaşık morfolojiyi doğru haritalama	2D görüntüler detayları sınırlı gösterebilir
C-şekilli kanalların sınıflandırılması	CNN + Segmentasyon	CBCT	Sherwood et al. (2021)	Zor tespit edilen varyasyonları işaretleme	CBCT verisi gerektirir, maliyetli olabilir
Pulpa inflamasyonu (pulpitis) tanısı	ANN	Periapikal radyografi	Tumbelaka et al. (2014)	Pulpa iltihabının radyografik sinyallerle tahmini	Veri sınırlı, inflamasyonun kesin teşhisi zor
Derin çürük ve pulpitis tespiti	CNN	Intraoral foto & radyografi	Zheng et al. (2021)	Çürüğün pulpaya yakınlığına göre uyarı verme	Etiketleme hatalarına duyarlı
Apikal/periapikal lezyon tespiti	CNN	Periapikal radyografi	Ekert et al. (2019), Pauwels (2021)	Uzmanla benzer doğruluk, erken teşhis	Radyografik kalite değişkenliği performansı etkiler
Lezyon segmentasyonu	U-Net	Panoramik radyografi	Bayrakdar et al. (2022)	Lezyon boyutunun piksel	Segmentasyon eğitiminde veri

				düzeyinde ölçümü	etiketleme zorluğu
Çalışma boyu tayini	ANN	Radyografi	Saghiri et al. (2012)	Yüksek doğruluk, standart sapma düşüklüğü	Referans uzunluk belirlemede farklılıklar olabilir
Elektronik apeks verisiyle analiz	ANN	EAL impedans verisi	Qiao et al. (2020)	Gerçek zamanlı ve hassas ölçüm desteği	Gerçek klinik ortamda sinyal değişkenliği
Vertikal kök kırığı tespiti	CNN (ResNet-50)	CBCT	Hu et al. (2022)	Yüksek duyarlılık, erken teşhis imkânı	Kırıkların net görünmediği durumlarda hata riski

Tablo 1. Endodontide yapay zekâ uygulama alanları, kullanılan derin öğrenme yöntemleri, görüntü türleri, örnek çalışmalar ve ilgili avantajlar ile kısıtlılıkların karşılaştırmalı özeti. Tablo, YZ sistemlerinin hem teknik potansiyelini hem de klinik sınırlılıklarını göstermeyi amaçlamaktadır.

KÖK KANAL MORFOLOJİSİNİN TESPİTİ

Endodontik tedavinin planlanmasında ve başarısında, ilgili dişin kök ve kanal morfolojisinin doğru şekilde belirlenmesi kritik rol oynar. Özellikle atipik kanal şekilleri (örneğin C-şekilli kanallar) veya beklenmedik ekstra kanalların varlığı, tedavi yaklaşımını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Geleneksel olarak kanal anatomisinin değerlendirilmesi radyografik görüntülere ve hekim deneyimine dayanır; ancak 2B radyografiler bazı ince detayları göstermede yetersiz kalabilir. Bu noktada yapay zeka, özellikle de derin öğrenme algoritmaları, hem 2B hem 3B görüntülerde kanal morfolojisini saptamada yeni imkanlar sunmaktadır.

Literatürde YZ destekli modellerin kök kanal anatomisini belirlemede başarılı örnekleri mevcuttur. Hiraiwa ve ark. (2019), panoramik radyografiler üzerinde bir derin öğrenme modeli (CNN) kullanarak **alt molar dişlerin kök morfolojisini** değerlendirmiş ve özellikle mandibular birinci molarlardaki kök ve kanal yapılarını %86,9 doğrulukla tespit edebildiğini rapor etmiştir (Hiraiwa et al., 2019). Bu çalışma, rutin panoramik görüntülerden dahi YZ yardımıyla kanal sayısı veya kök şekli gibi bilgilerin çıkarılabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde, Sherwood ve ark. (2021) bir **KIBT görüntü** seti üzerinde C-şekilli kanalların sınıflandırılması için derin öğrenme tabanlı bir model geliştirmiştir. Bu model, mandibular ikinci molarlardaki C-şekilli kanal morfolojilerini başarılı şekilde segmente edip sınıflandırarak endodontistin dikkatini çekmesi gereken anatomik varyasyonları otomatik olarak işaretleyebilmiştir. (Sherwood et al., 2021) Özellikle zor kanal tiplerinden biri olan C-şekilli kanalların tespiti, klasik radyografilerde zor olabildiğinden bu tür bir yapay zeka uygulaması klinik açıdan büyük değer taşır.

YZ, yalnızca kanal şekillerini değil, aynı zamanda kanalın iç yapısını da analiz edebilir. Örneğin, Santos ve ark. (2025) KIBT verileri üzerinde hem **pulpa boşluğu hem de diş sert dokularının otomatik segmentasyonunu** yapabilen bir yapay zeka modeli sunmuşlardır. (Santos-Junior et al., 2025) Bu sayede bir dişin internal anatomisi, kanalın seyri ve genişliği dahil olmak üzere, üç boyutlu olarak ortaya konabilmiştir. Bu tür modeller, özellikle karmaşık kanal yapılarının bulunduğu vakalarda (örn. füzyone kökler, ekstra kanallar) kanal

tedavisinin planlanmasını kolaylaştırabilir. Kök kanal morfolojisinin yapay zeka ile doğru biçimde tespiti, **eksik kanal bırakma** olasılığını azaltarak tedavi başarısını artırma potansiyeline sahiptir. Nitekim, yapay zeka destekli bir değerlendirme ile hekim, standart görüntüleme yöntemlerinin gözden kaçırabileceği bir ekstra kanalı saptayıp işlem sırasında o kanala da yönelebilir. Literatürdeki mevcut örnekler ışığında, YZ uygulamalarının kök kanal morfolojisini tespitite yardımcı bir araç olarak başarılı sonuçlar verebildiği ve özellikle **karmaşık anatomilerin** anlaşılmasında klinisyene değerli destek sağladığı söylenebilir.

PULPA DURUMUNUN TANISI

Diş pulpasının vitalitesinin ve sağlığının değerlendirilmesi endodontik teşhisin temel unsurlarındandır. Klinik olarak pulpa durumu genellikle termal testler, elektriksel vitalite testleri ve semptom sorgulaması ile belirlenir. Ancak radyografik görüntüler de pulpa durumuna dair dolaylı ipuçları sağlayabilir (örneğin genişleyen pulpalar, kalsifikasyonlar veya derin çürüğe bağlı pulpa odayı yakın lezyonlar). Yapay zeka, bu alanda hem doğrudan görüntü analiziyle hem de klinik verilerin işlenmesiyle pulpa durumunun tahminine katkıda bulunabilir.

Pulpa teşhisinde YZ kullanımının erken bir örneği, Tumbelaka ve ark.'nın (2014) çalışmasıdır (Tumbelaka et al., 2014). Bu çalışmada araştırmacılar, periapikal radyografilerde **pulpanın inflamatuvar durumunu** (pulpanın sağlıklı veya pulpitik olması) belirlemek üzere kenar belirleme ve doku örüntüsü analizine dayalı bir model

geliştirmiş ve bunu bir yapay sinir ağı ile sınıflandırmıştır. Sonuçlar, sınırlı da olsa YZ modelinin pulpitis bulunan dişleri ayırt edebildiğini göstermiştir. (Tumbelaka et al., 2014) Daha yakın dönemde Zheng ve ark. (2021), derin öğrenmeyi kullanarak **derin dentin çürüğü ve buna bağlı pulpa hasarını** tespit eden bir model yayınlamışlardır. Konvolüsyonel sinir ağı tabanlı bu model, dental görüntülerden derin çürüğün pulpal tutulumunu (pulpaya yakınlık ve muhtemel pulpitis) yüksek doğrulukla saptayabilmiştir (Zheng et al., 2021). Bu, özellikle klinik muayenede semptom vermeyen ancak radyografide pulpaya ilerlemiş çürüğü olan vakalarda, AI yardımıyla pulpanın tehlikede olduğu konusunda uyarı alınabileceğini gösterir.

Pulpa durumu tanısında dolaylı yoldan önemli bir gösterge de periapikal lezyonlardır. Bir dişte periapikal radyolüsensi olması genellikle ilgili pulpanın nekrotik olduğunun işaretidir. Bu bakımdan, **periapikal lezyon tespiti** (bir sonraki bölümde ayrıntılı ele alınacaktır) aslında pulpa sağlığına dair de bilgi sunar. Yapay zeka modelleri, periapikal bölgedeki en ufak değişimleri bile tespit etme becerisi sayesinde, henüz klinik semptom vermeyen nekroz vakalarını yakalayabilir. Örneğin, bir dişte hasta şikayeti olmasa da YZ destekli radyografik analiz o dişteki silik bir periapikal karartıyı saptayarak hekime pulpada nekroz olabileceği sinyalini verebilir. Bu sayede tanıda erken adım atılıp tedavi planı proaktif şekilde yapılabilir.

Literatürde, pulpanın vitalitesini doğrudan tahmin eden YZ çalışmalarının sınırlı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni muhtemelen pulpa durumunun nihai olarak histopatolojik veya

kanlanma temelli belirlenebilmesi, oysa yapay zekanın genellikle mevcut verilere (radyografik, klinik test sonucu vb.) dayanarak çıkarım yapabilmesidir. Yine de, mevcut çalışmalar YZ'nın **pulpa durumuna ilişkin risklerin öngörülmesinde** yardımcı olabileceğini göstermektedir. Örneğin, yakın gelecekte hasta belirtileri, radyografik bulgular ve klinik test sonuçları gibi çok boyutlu verileri bir arada analiz eden yapay zeka sistemleri, bir dişin pulpitisinin geri dönüşlü mü yoksa geri dönüşümsüz mü olduğu konusunda hekime yüzde olasılık şeklinde tahminler sunabilir. Hatta Lee ve ark. gibi bazı araştırmacılar, **radyografik ve klinik verilerden yola çıkarak bir dişte kanal tedavisine ihtiyaç duyulup duyulmayacağını** önceden tahmin edebilen modeller üzerinde çalışmaktadır. (Kumar et al., 2025; Lee et al., 2022) Bu tür yaklaşımlar, pulpa durumu tanısında hekimlerin kararlarını destekleyerek gereksiz tedavileri önleme veya gerekli tedavileri geciktirmeme açısından değerli olacaktır.

Özetle, YZ uygulamaları pulpa durumu tanısında doğrudan veya dolaylı yollarla fayda sağlayabilir. Derin çürüklerin pulpaya etkisini değerlendirme, periapikal değişimleri yakalama ve çoklu verileri entegre ederek pulpada hastalık öngörüsünde bulunma gibi alanlarda yapay zeka, henüz gelişme aşamasında olmakla birlikte, önümüzdeki yıllarda tanı süreçlerine daha fazla entegre olacaktır.

PERİAPİKAL LEZYONLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Periapikal lezyonlar (genellikle apikal periodontitis kaynaklı radyolüsensiler), endodontik tanının en önemli unsurlarından biridir.

Konvansiyonel olarak, periapikal lezyonların varlığı ve boyutu radyografilerde hekim tarafından görsel olarak değerlendirilir ve Periapikal İndeks (PAI) gibi sınıflamalarla derecelendirilebilir. Ancak radyografik yorumlamada gözlemciler arası farklılıklar olabilir ve küçük lezyonlar gözden kaçabilir. Yapay zeka, bu alanda hem var/yok tespitinde hem de lezyonun derecelendirilmesinde oldukça başarılı sonuçlar vermeye başlamıştır.

İki boyutlu radyografilerde (periapikal veya panoramik) periapikal lezyon tespiti için geliştirilen derin öğrenme modelleri, insan performansına yakın hatta bazı durumlarda üstün sonuçlar bildirmiştir. Ekert ve ark. (2019), dental periapikal radyografiler üzerinde apikal lezyon varlığını saptamak için eğittikleri bir CNN modelinin, geniş bir veri setinde yüksek doğruluk ve duyarlılık gösterdiğini açıklamışlardır (Ekert et al., 2019). Bunu takip eden çalışmalardan Pauwels ve ark. (2021), intraoral dental filmlerde periapikal lezyonları tanımlamak üzere bir YZ modeli eğitmiş ve **modelin performansını uzman endodontistlerin teşhisleriyle karşılaştırmıştır**. (Pauwels, 2021) Sonuçlar, yapay zekanın periapikal lezyon tespitinde uzmanlarla karşılaştırılabilir bir başarı yakaladığını ortaya koymuştur. (Issa et al., 2023; Nagareddy et al., 2024) Bu bulgu, YZ'nın pratikte hekimlerin gözünden kaçabilecek lezyonları yakalayarak yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Yapay zeka modelleri yalnızca lezyon varlığını değil, lezyonun boyut ve ciddiyetini de değerlendirebilir. Moidu ve ark. (2021), periapikal lezyonların radyografik görüntülerini **Radyografik Periapikal**

İndeks (PAI) skorlarına göre sınıflandırmak için bir derin öğrenme modeli kullanmışlardır. (Moidu et al., 2022) Model, lezyonları 1'den 5'e kadar derecelendiren PAI sistemini otomatikleştirmeyi başarmış ve böylece lezyonun ciddiyeti hakkında tutarlı bir değerlendirme sunabilmiştir. (Moidu et al., 2022) Bu tür bir otomatik derecelendirme, özellikle uzun dönem takiplerde veya araştırmalarda lezyon boyutunun objektif olarak izlenmesine imkan tanıyabilir.

Üç boyutlu görüntüleme alanında da (CBCT) YZ, periapikal patolojilerin belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. CBCT, periapikal bölgenin 3D görüntüsünü verdiğinden lezyon tespitinde 2D radyografilere kıyasla daha duyarlıdır; ancak CBCT verisi çok daha büyüktür ve her kesiti incelemek zaman alıcı olabilir. Setzer ve ark. (2020), KIBT görüntülerinde periapikal lezyonların tespiti için bir derin öğrenme algoritması geliştirerek, modelin belirgin lezyonları yüksek doğrulukla işaretleyebildiğini göstermiştir (Setzer et al., 2020). Benzer şekilde Orhan ve ark. (2020), CBCT kesitlerinde periapikal patolojileri tanımlamak üzere bir YZ modelini test etmiş ve modelin lezyon varlığını saptamada güvenilir bir yardımcı olabileceğini bildirmiştir (Orhan et al., 2020). Bu gelişmeler, ileride CBCT görüntülerinin otomatik olarak taranıp hekime şüpheli periapikal bölgelerin işaretlenmesi şeklinde uygulamalara dönüşebilir.

Hatta yapay zeka, periapikal bölgedeki kemik değişimlerini **segmentasyon** düzeyinde de ele alabilir. Örneğin Bayrakdar ve ark. (2022), panoramik radyografilere apikal lezyon alanlarını U-Net mimarisi kullanan bir derin öğrenme modeliyle segment ederek

lezyonun konturlarını otomatik çizdirmiştir (Bayrakdar et al., 2022). Bu sayede yalnız varlık tespiti değil, aynı zamanda lezyonun boyutunun piksel düzeyinde haritalanması mümkün olmuştur. Böyle bir segmentasyon, tedavi öncesi ve sonrası lezyon hacmi karşılaştırmaları yaparken objektif bir ölçüm sunabilir.

Özetle, periapikal lezyonların değerlendirilmesi yapay zekanın endodontide en başarılı olduğu alanlardan biridir. Gerek 2D gerek 3D görüntülerde, lezyon tespiti ve derecelendirmesi konusunda YZ modelleri yüksek tutarlılık ve doğruluk sergilemektedir. Bu, klinik pratikte hem teşhisin güvenilirliğini artırma hem de tedavi sonuçlarını izleme açısından önemli kazanımlar sağlayabilir. Yakın gelecekte, dental radyografi yazılımlarına entegre olacak YZ destekli araçların, hekimler için “**otomatik periapikal tarama**” yaparak olası patolojileri raporlaması beklenmektedir. Böylece özellikle çok sayıda dişin değerlendirildiği durumlarda hiçbir lezyonun gözden kaçmaması hedeflenmektedir.

ÇALIŞMA BOYU TESPİTİ

Kök kanal tedavisinde **çalışma boyunun belirlenmesi**, yani kanal içinde ulaşılan apikal düzeyin tespiti, tedavinin başarısını doğrudan etkileyen kritik bir adımdır. Çalışma boyunun doğru belirlenememesi, ya kanalın tam olarak temizlenememesine ya da aşırı preparasyonla periapikal dokuların zedelenmesine yol açabilir. Geleneksel olarak çalışma boyu, elektronik apeks bulucular (EAL) ve radyografiler yardımıyla belirlenir. YZ bu alanda hem radyografik değerlendirmeyi

otomatikleştirerek hem de elektronik ölçüm verilerini yorumlayarak yenilikçi çözümler sunmaktadır.

Radyografik çalışma boyu tayininde yapay zekanın erken uygulamaları, apikal anatomik referans noktalarının tespitine odaklanmıştır. Saghiri ve ark.'nın 2012 yılındaki çalışmalarında, bir ANN modeli kullanılarak radyografilerde **minör foramen (apikal daralma)** yeri tespit edilmiş ve bu sayede kanal uzunluğunun hesaplanması amaçlanmıştır. (Saghiri, Asgar, et al., 2012) Takip eden kadavra çalışmasında ise aynı araştırma grubu, modelin belirlediği çalışma boyunu uzman endodontistlerin belirlediği uzunluklarla kıyaslamış ve YZ modelinin dikkate değer bir doğrulukla (yaklaşık %96) ölçüm yapabildiğini belirtmiştir (Saghiri, Garcia-Godoy, et al., 2012). Bu sonuç, yapay zekanın radyografik ölçümlerde insan performansını yakalayabildiğini, hatta standart sapmayı azaltarak daha tutarlı sonuçlar verebildiğini ortaya koymaktadır.

Elektronik apeks bulucuların verdiği sinyallerin yapay zeka ile analiz edilmesi de bir diğer yaklaşımdır. Kök ucu tespiti için EAL cihazları farklı frekanslardaki elektriksel impedans değişimlerini kullanır. Qiao ve ark. (2020), çok frekanslı impedans verilerini işleyebilen bir **yapay sinir ağı modeli** geliştirerek kök kanal uzunluğu ölçümünde yeni bir yöntem denemiştir. (Qiao et al., 2020) Bu model, geleneksel çift frekanslı impedans oranı yöntemine kıyasla daha yüksek bir doğrulukla gerçek apeks konumunu tahmin edebilmiştir. Bu buluş, ileride EAL cihazlarının yapay zeka ile desteklenerek daha güvenilir hale gelebileceğine işaret etmektedir. Örneğin, klinikte elde edilen

EAL verisi anında bulutta çalışan bir YZ algoritmasına gönderilip optimize edilmiş bir çalışma boyu önerisi alınabilir.

Bunun yanı sıra, modern görüntü işleme teknikleriyle **dijital radyograflarda kanal içine yerleştirilen eğenin ucunu ve kök apeksini otomatik tanıma** çabaları da bulunmaktadır. Bir YZ modeli, radyografide kontrast materyal (örneğin kanal eğesi) ile dış kök ucunu tespit edip ikisi arasındaki mesafeyi piksel cinsinden ölçebilir. Bu şekilde, hekimin geleneksel olarak ölçüm yapıp hesaplama yapmasına gerek kalmadan doğrudan “eğenin ucu apeksin X mm apikalinde” gibi bir çıktı sağlanabilir. Literatürde tam olarak bu spesifik görevi yapan bir model yaygın olarak rapor edilmese de, mevcut **obje tespit (object detection)** ve **görüntü segmentasyonu** algoritmalarının bu işe uyarlanması teknik olarak mümkündür ve muhtemelen yakın gelecekte denenecektir.

Çalışma boyu tespitinde yapay zekanın sağladığı en büyük avantajlardan biri, **tutarlılık** ve **hızdır**. Farklı deneyim düzeyindeki klinisyenler ya da öğrenciler arasında çalışma boyu tahmininde farklılıklar olabilirken, standart bir YZ sistemi her seferinde benzer kriterlerle ölçüm yapacaktır. Ayrıca, özellikle dijital radyografilerde anlık geri bildirim verebilen bir sistem, tedavi sırasında zaman kazandırabilir. Örneğin, bir ara radyografi çekildiğinde YZ anında “mevcut eğe ucu hedeflenen apeksin 2 mm gerisinde” gibi bir yorumla operatöre rehberlik edebilir. Bu, öğrenme eğrisi açısından da genç hekimlere destek sağlayacaktır.

Mevcut araştırmalar genellikle in vitro veya simüle ortamlarda yüksek başarı gösteren YZ modellerini belgelemektedir. Bununla birlikte, **klınık şartların değişkenliği** (hasta hareketi, radyografik açı farklılıkları, cihazlar arası kalibrasyon sorunları gibi) göz önüne alındığında, gerçek hayatta da aynı performansın yakalanabilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Yine de, bugüne kadarki bulgular YZ'nın çalışma boyu tespitinde hem radyografik hem elektronik yöntemleri geliştirebileceğini ve gelecekte endodontistlerin bu zorlu görevini kolaylaştırabileceğini göstermektedir.

KIRIK TESPİTİ

Dişlerdeki kırıkların ve çatlakların teşhisi, endodontide en zorlu tanısal alanlardan biridir. **Vertikal kök kırıkları (VKK)** özellikle endodontik tedavi görmüş dişlerde meydana gelebilen ve çoğu zaman radyografide belirgin işaret vermeyen lezyonlardır (Patel et al., 2022). Benzer şekilde, diş kron veya kök yüzeyindeki ince çatlaklar (crack) da erken safhada tespit edilemeyebilir ancak ilerledikçe restorasyon ve tedavi planını ciddi şekilde etkiler. (Rathke et al., 2022) Yapay zeka, görüntü analizi konusundaki üstün yetenekleri sayesinde bu ince kırıkları ve çatlakları saptamada değerli bir yardımcı araç olarak ortaya çıkmaktadır.

VKK teşhisinde yapay zekanın ilk uygulamalarından biri, Kositbowornchai ve ark.'nın (2013) çalışmasıdır. Bu çalışmada araştırmacılar, çekilmiş dişlerin radyografilerinde vertikal kök kırığını belirlemek için bir ANN modeli eğitmiş ve modelin oldukça başarılı

bir şekilde kırıklı ve sağlam dişleri ayırt edebildiğini göstermişlerdir (Kositbowornchai et al., 2013). Bunu takiben Johari ve ark. (2017), benzer bir yaklaşımla **olasılıksal bir sinir ağı (PNN)** kullanarak hem sağlıklı hem de endodontik tedavili dişlerdeki kök kırıklarını saptamaya çalışmış ve yüksek doğruluk bildirmiştir (Johari et al., 2017). Bu erken dönem başarılar, yapay zekanın radyografik olarak zor görünen kırık hatlarını tespit edebileceğine dair önemli kanıtlar sunmuştur.

Daha yeni çalışmalar, derin öğrenme modellerini kullanarak farklı görüntüleme modlarında kırık tespitine odaklanmıştır. Fukuda ve ark. (2019), panoramik radyografiler üzerinde VKK tanısı için geliştirdikleri CNN tabanlı sistemin, özellikle belirgin kırık hatları içeren vakalarda %93 gibi yüksek bir hassasiyet (precision) elde ettiğini rapor etmişlerdir (Fukuda et al., 2020). Bu çalışma, rutin panoramik filmlerde dahi YZ'nın kırıkları yakalayabileceğini göstererek dikkat çekicidir. Hu ve ark. (2022) ise farklı derin öğrenme modellerini karşılaştırdıkları bir araştırmada, ResNet-50 mimarisinin vertikal kök kırığı bulunan dişleri saptamada en yüksek doğruluk ve duyarlılığı sağladığını belirlemişlerdir. (Hu et al., 2022) Bu bulgu, hazır mevcut derin öğrenme mimarilerinin endodontik kırık teşhisinde optimize edilebileceğini göstermektedir.

Dişlerdeki çatlakların (özellikle mine çatlakları veya kroniğe uzanan çatlaklar) tespiti de yapay zekanın üzerinde çalıştığı bir diğer konudur. Vicory ve ark. (2021), dental görüntülerdeki **mikroçatlakları** saptamak için derin öğrenme yerine dalgacık (wavelet) tabanlı görüntü

özelliklerini kullanan bir makine öğrenmesi modeli geliştirmiştir (Vicory et al., 2021). Bu model, standart görüntü işleme teknikleriyle yakalanamayan ince çatlakları belirlemede umut vaat eden sonuçlar elde etmiştir. Yine Shah ve ark. (2018), dental kesit görüntülerinde çatlak varlığını otomatik tespit etmek için bir sistem tasarlamış ve modelin çatlaklı dişleri ayırt etmede %97 oranında bir ROC değeri yakaladığını raporlamıştır. (Shah et al., 2018) Bu oldukça yüksek bir performans olup, yapay zekanın çatlak tanısında potansiyelini göstermesi açısından önemlidir.

Kırık tespitinde YZ kullanımının pratikte en büyük faydası, **erken teşhis** ve **önleyici tedavi planlamasıdır**. Özellikle vertikal kök kırıkları genellikle ileri aşamada (örneğin geniş periapikal lezyon oluştuğunda) tanınabilmekte ve bu da diş kaybına yol açabilmektedir. Yapay zeka destekli bir sistem, henüz kırık minimal düzeydeyken radyografideki çok hafif bir hattı ya da farklı açıdaki ince bir ışın izi değişimini fark ederek hekime uyarı verebilir. Bu sayede, örneğin bir kanal tedavisi sonrası kontrol radyografisinde YZ küçük bir çatlak emaresi saptarsa, hekim o dişi daha yakından izleyebilir veya erken müdahale şansı bulabilir.

Elbette, yapay zeka modellerinin kırık tespitinde de sınırları vardır. Birçok çalışma laboratuvar koşullarında veya seçilmiş net görüntülerde üstün sonuçlar bildirirken, gerçek hayatta her kırık vakası bu kadar belirgin olmayabilir. Restorasyon varlığı, görüntü gürültüsü, süperpozisyon gibi faktörler YZ'nın da yanılmasına yol açabilir. Ancak teknoloji ilerledikçe ve daha geniş veri setleri ile

eğitildikçe, bu sistemlerin klinik ortama daha iyi uyum sağlayacağı beklenmektedir. Sonuç itibariyle, mevcut literatür kırık tespitinde yapay zekanın halihazırda çok yüksek doğruluklara ulaşabildiğini ve yakın gelecekte endodontistlerin bu zor tanıyı koyarken vazgeçilmez bir yardımcısı olabileceğini göstermektedir.

SINIRLILIKLAR

Yapay zeka destekli endodontik tanı yöntemlerinin gelişimiyle birlikte bazı kısıtlılıklar ve zorluklar da belirgin hale gelmiştir. Bu sınırlılıkların farkında olmak, gelecekte bu teknolojilerin daha güvenli ve etkin biçimde kullanılabilmesi için önemlidir:

- **Veri ve Genellenebilirlik Sorunları:** Birçok YZ modeli nispeten küçük ve homojen veri setleriyle eğitilmektedir. Örneğin, yalnızca tek bir klinikten elde edilmiş radyografilerle eğitilen bir model, farklı cihazlar veya popülasyonlar üzerinde performans düşüşü yaşayabilir. Literatürdeki çalışmaların önemli bir kısmı, örneklem büyüklüğü ve çeşitliliği açısından sınırlıdır. Bu da modellerin genellenebilirliğini azaltarak farklı vakalarda hata yapma riskini artırır.
- **Altın Standart ve Doğrulama:** Endodontik tanıda bazı durumların kesin doğrulanması zordur. Örneğin, bir çatlığın varlığı çoğu zaman ancak eksplorasyonla veya diş ekstraksiyonundan sonra anlaşılabilir. YZ modelleri eğitilirken bu veriler genellikle radyografik tahminlere dayanır. Dolayısıyla, model “doğru”yu insan gözlemiyle tanımlanan bir

referansa göre öğrenir ki bu referans da hatalı olabilir. Bu durum, YZ'nın insan hatalarını da öğrenip tekrarlamasına yol açabilir.

- **Klinik Entegrasyon ve Kullanıcı Güveni:** Yapay zeka sistemlerinin klinik ortama entegrasyonu teknoloji dışında faktörlere de bağlıdır. Hekimlerin bu sistemlerin çıktısına güven duyması zaman alabilir. **Kara kutu (black-box)** niteliği, yani modelin iç karar mekanizmasının açıklanamaz oluşu, klinisyenin çekincelerini artırabilir. Bir YZ modeli bir dişte çatlak olduğunu söylediğinde, eğer hekim bu sonucun nasıl elde edildiğini anlayamıyorsa, teşhise katılmakta tereddüt edebilir. Bu nedenle açıklanabilir yapay zeka (explainable AI) yaklaşımları üzerinde çalışmalar yapılması gerekmektedir.
- **Hatalı Sonuçların Etkisi:** Yapay zeka modelleri de zaman zaman yanılabilir. Örneğin, hiç lezyon olmadığı halde var diye işaretleyebilir (yalancı pozitif) veya var olan bir lezyonu gözden kaçırabilir (yalancı negatif). Bu hataların sonuçları klinikte önemli olabilir: Yalancı pozitif bir sonuç gereksiz bir tedavi girişimine yol açabilirken, yalancı negatif bir sonuç bir patolojinin atlanmasına neden olabilir. Bu nedenle, YZ çıktılarının daima bir uzman gözüyle değerlendirilmesi ve doğrulanması şarttır. Mevcut haliyle YZ, **destekleyici bir araç** olmalıdır, tek karar verici değil.
- **Etik ve Yasal Konular:** YZ uygulamalarında hasta mahremiyeti ve veri güvenliği önemli konulardır. Modellerin eğitimi için kullanılan görüntü ve kayıtlar uygun şekilde

anonimleştirilmediğinde hasta bilgilerinin sızma riski vardır. Ayrıca, klinikte bir YZ sisteminin önerisiyle yapılan bir tanı veya tedavi hatalı çıktığında **yasal sorumluluk** kimin olacaktır? Bu belirsizlikler, henüz düzenleyici çerçevelerin tam oturmamış olması nedeniyle, YZ kullanımını sınırlayan faktörlerdir.

- **Maliyet ve Uygulanabilirlik:** Son olarak, bu sistemlerin geliştirilmesi ve uygulanması yüksek maliyet ve teknik altyapı gerektirebilir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde veya küçük ölçekli kliniklerde ileri YZ teknolojilerini entegre etmek kısa vadede zor olabilir. Ayrıca, var olan cihazlarla uyum ve kullanıcıların eğitimi gibi pratik engeller de göz önüne alınmalıdır.

Bu sınırlılıkları gidermek için, gelecekte daha geniş çaplı ve çok merkezli çalışmalar yapılarak YZ modellerinin **genel geçer** hale getirilmesi, modellerin şeffaflığının artırılması ve klinik kullanıcı dostu arayüzlerle sunulması gerekmektedir. Ancak bu şekilde yapay zeka endodontide güvenilir bir yardımcı olarak benimsenebilecektir.

GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Yapay zekanın endodontik tanı alanındaki hızlı gelişimi, önümüzdeki yıllarda bu teknolojinin rutin uygulamanın bir parçası haline gelebileceğine işaret etmektedir. Geleceğe yönelik beklentiler ve olası gelişmeler şöyle özetlenebilir:

- **Daha Geniş ve Çeşitli Veri Setleri:** Gelecekte, küresel çapta toplanan büyük ve çeşitli veri setleriyle eğitilmiş YZ modelleri göreceğiz. Farklı coğrafyalardan, farklı cihazlardan ve farklı klinik koşullardan elde edilmiş verilerle eğitilen modeller, genellenebilirlik sorunlarını aşarak her hasta için güvenilir sonuçlar verebilecek. Bu amaçla uluslararası konsorsiyumlar kurulup ortak veri havuzları oluşturulabilir.
- **Klinik Karar Destek Sistemleri:** YZ, tek tek tanısal görevler yerine tüm tanı sürecini destekleyen entegre sistemlere dönüşecek. Örneğin, bir hastanın klinik semptomları, test sonuçları ve radyografileri bir arada değerlendirilerek “pulpa nekrozu olasılığı %85, önerilen eylem: kanal tedavisi” gibi **karar destek önerileri** sunan yazılımlar geliştirilebilir. Bu sistemler hekimin yerine karar vermeyecek ancak ona olası teşhis ve tedavi seçenekleri hakkında veri destekli öngörüler sağlayacak.
- **Gerçek Zamanlı Entegrasyon:** Modern diş hekimliği cihazları ile YZ'nın gerçek zamanlı entegrasyonu önem kazanacak. Örneğin, dijital radyografi cihazına entegre bir yapay zeka, filmi çeker çekmez saniyeler içinde üzerinde işaretlemeler yaparak hekimi uyaracak. Benzer şekilde, apeks bulucu cihazlar ölçüm yaparken eşzamanlı olarak YZ algoritmalarıyla sonuç doğrulaması yapabilecek. Böylece tanı ve tedavi sırasında **anlık geri bildirim** standardı oluşacak.
- **Robotik ve Otomasyon:** Yapay zekanın ilerlemesi, robotik endodonti alanında da yansımalarını bulabilir. Literatürde

YZ'nın ileride **robot destekli kanal şekillendirme** veya delinme riskini azaltan akıllı endodontik cihazlar şeklinde uygulamalara temel oluşturabileceği dile getirilmiştir (Aminoshariae et al., 2021). Örneğin, akıllı bir endodontik el aleti, kök kanal içinde ilerlerken YZ yardımıyla kırık riski yüksek manevraları algılayıp operatöre uyarı verebilir veya hızı/torku otomatik ayarlayabilir.

- **Eğitim ve Yetenek Geliştirme:** YZ, endodonti eğitiminde de önemli bir yere sahip olacak. Sanal gerçeklik simülatorlerine entegre edilmiş yapay zeka, öğrencilerin yaptıkları prelinik kanal tedavisi uygulamalarını değerlendirip gerçek zamanlı geri bildirim sunabilir. Hatalı bir hazırlık yaptıklarında bunu algılayıp düzeltilmesi gereken noktaları gösterebilir. Böylece eğitim sürecinde kişiselleştirilmiş bir mentor gibi davranarak öğrenme eğrisini hızlandırabilir.
- **Hastaya Özel Tahminler:** Gelecekte YZ modelleri sadece genel doğrulara değil, bireysel hasta verilerine dayalı öngörülere de odaklanacak. Örneğin, bir hastanın tıbbi geçmişi, genetik verileri ve dental verileri birleştirilerek, yapılan kanal tedavisinin o hasta özelinde 5 yıl içinde başarısız olma riski hesaplanabilir. Bu tür **kşiselleştirilmiş prognostik tahminler**, tedavi planlamasını daha akıllı hale getirecektir.
- **Etik ve Düzenleyici Adaptasyon:** Teknolojik gelişmeler kadar, bunların etik ve yasal çerçevelerinin de ilerlemesi gerekiyor. Gelecekte, sağlık otoriteleri yapay zeka destekli tanı cihazlarına onay kriterleri belirleyecek, belki de yapay zeka

sistemleri için sertifikasyon mekanizmaları oluşturulacaktır. Ayrıca, yapay zekanın kullanımına dair etik rehberler (örneğin hastadan onam alınması, YZ'nın hata payının hasta ile paylaşılması gibi) geliştirilecek ve hekimlerin bu teknolojiyi sorumlu bir şekilde kullanması sağlanacaktır.

Tüm bu perspektifler, yapay zekanın endodontideki rolünün destekleyici nitelikte olacağını, amacın hekimi ikinci plana itmek değil, aksine hekimin karar süreçlerini hızlandırmak ve doğruluğunu artırmak olduğunu vurgulamaktadır. Gelecekte ideal senaryo, deneyimli bir endodontistle entegre çalışabilen, onun tecrübesini ve bilgisini tamamlayan “görünmez bir asistan” misyonunu üstlenen yapay zeka sistemleridir. Bu sistemler sayesinde tanılar daha isabetli konacak, tedaviler daha öngörülebilir hale gelecek ve nihayetinde hasta bakım kalitesi yükselecektir.

SONUÇ

Yapay zeka destekli endodontik tanı yöntemleri, günümüz endodonti pratiğini dönüştürme potansiyeline sahip yeniliklerdir. Derin öğrenme başta olmak üzere yapay zeka tekniklerinin endodontik görüntü ve verileri analiz etmedeki üstün başarısı, kök kanal tedavisine giden süreçte daha doğru ve erken tanılar konulmasına imkan tanımaktadır. Mevcut literatürde sunulan örnekler, YZ uygulamalarının kök kanal anatomisinin belirlenmesinden periapikal patoloji tespitine, çalışma boyu tayininden vertikal kök kırığı teşhisine kadar geniş bir yelpazede yüksek doğruluk oranları yakaladığını göstermektedir. YZ, özellikle

rutin işlemlerde hekime zaman kazandırarak ve gözden kaçabilecek ayrıntıları yakalayarak **yardımcı bir göz** işlevi görmektedir.

Bununla birlikte, yapay zeka sistemleri şu an için **insan deneyiminin yerine geçecek düzeyde değildir** ve elde edilen çıktılar mutlaka klinisyenin bilgi ve tecrübesiyle harmanlanarak değerlendirilmelidir. Model hataları, kısıtlı veri koşulları ve açıklanabilirlik problemleri göz önünde bulundurulduğunda, YZ'nin en iyi kullanım şekli **destekleyici karar verme aracı** formatıdır. Uygun şekilde doğrulanıp klinik ortama entegre edilmiş bir yapay zeka, endodontistin tanı sürecini ikinci bir görüş gibi destekleyerek daha güvenli kararlar almasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak, yapay zeka endodontik tanıda yeni ufuklar açmıştır ve teknoloji ilerledikçe bu katkılar artarak devam edecektir. Gelecekte, daha da gelişmiş yapay zeka algoritmalarının yaygın kullanımıyla birlikte, endodontik tedavilerin başarısının yükselmesi ve hastaların daha iyi tedavi sonuçları alması beklenmektedir. YZ destekli endodontik tanı yöntemleri, doğru şekilde uygulandığında ve limitleri içinde kullanıldığında, endodonti alanında hem klinisyen hem de hasta için **kazan-kazan** durumu yaratacaktır.

KAYNAKÇA

- Aminoshariae, A., Kulild, J., & Nagendrababu, V. (2021). Artificial Intelligence in Endodontics: Current Applications and Future Directions. *J Endod*, 47(9), 1352-1357.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.06.003>
- Asgary, S. (2024). Artificial Intelligence in Endodontics: A Scoping Review. *Iran Endod J*, 19(2), 85-98.
<https://doi.org/10.22037/iej.v19i2.44842>
- Bayrakdar, I. S., Orhan, K., Çelik, Ö., Bilgir, E., Sağlam, H., Kaplan, F. A., Görür, S. A., Odabaş, A., Aslan, A. F., & Różyło-Kalinowska, I. (2022). A U-Net Approach to Apical Lesion Segmentation on Panoramic Radiographs. *BioMed Research International*, 2022(1), 7035367.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2022/7035367>
- Dennis, D., Suebnukarn, S., Heo, M. S., Abidin, T., Nurliza, C., Yanti, N., Farahanny, W., Praselia, W., & Batubara, F. Y. (2024). Artificial intelligence application in endodontics: A narrative review. *Imaging Sci Dent*, 54(4), 305-312.
<https://doi.org/10.5624/isd.20240321>
- Ekert, T., Krois, J., Meinhold, L., Elhennawy, K., Emara, R., Golla, T., & Schwendicke, F. (2019). Deep Learning for the Radiographic Detection of Apical Lesions. *J Endod*, 45(7), 917-922.e915. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.03.016>
- Fukuda, M., Inamoto, K., Shibata, N., Ariji, Y., Yanashita, Y., Kutsuna, S., Nakata, K., Katsumata, A., Fujita, H., & Ariji, E. (2020).

- Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography. *Oral Radiol*, 36(4), 337-343. <https://doi.org/10.1007/s11282-019-00409-x>
- Hiraiwa, T., Arij, Y., Fukuda, M., Kise, Y., Nakata, K., Katsumata, A., Fujita, H., & Arij, E. (2019). A deep-learning artificial intelligence system for assessment of root morphology of the mandibular first molar on panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol*, 48(3), 20180218. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180218>
- Hu, Z., Cao, D., Hu, Y., Wang, B., Zhang, Y., Tang, R., Zhuang, J., Gao, A., Chen, Y., & Lin, Z. (2022). Diagnosis of in vivo vertical root fracture using deep learning on cone-beam CT images. *BMC Oral Health*, 22(1), 382. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02422-9>
- Issa, J., Jaber, M., Rifai, I., Mozdziak, P., Kempisty, B., & Dyszkiewicz-Konwińska, M. (2023). Diagnostic Test Accuracy of Artificial Intelligence in Detecting Periapical Periodontitis on Two-Dimensional Radiographs: A Retrospective Study and Literature Review. *Medicina*, 59(4), 768. <https://www.mdpi.com/1648-9144/59/4/768>
- Johari, M., Esmaeili, F., Andalib, A., Garjani, S., & Saberkari, H. (2017). Detection of vertical root fractures in intact and endodontically treated premolar teeth by designing a probabilistic neural network: an ex vivo study. *Dentomaxillofac Radiol*, 46(2), 20160107. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20160107>

- Khanagar, S. B., Al-Ehaideb, A., Maganur, P. C., Vishwanathaiah, S., Patil, S., Baeshen, H. A., Sarode, S. C., & Bhandi, S. (2021). Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry - A systematic review. *J Dent Sci*, 16(1), 508-522. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.06.019>
- Khanagar, S. B., Alfadley, A., Alfouzan, K., Awawdeh, M., Alaqla, A., & Jamleh, A. (2023). Developments and Performance of Artificial Intelligence Models Designed for Application in Endodontics: A Systematic Review. *Diagnostics (Basel)*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/diagnostics13030414>
- Kositbowornchai, S., Plermkamon, S., & Tangkosol, T. (2013). Performance of an artificial neural network for vertical root fracture detection: an ex vivo study. *Dental Traumatology*, 29(2), 151-155. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2012.01148.x>
- Kumar, M. S. S., Rai, A., Singh, N., Shroff, Y., Rao, V., Prasad, K. V., & Surana, P. (2025). Artificial Intelligence (AI) in Endodontics: A Review. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 17(Suppl 1), S96-S98. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_1679_24
- Lee, S. J., Chung, D., Asano, A., Sasaki, D., Maeno, M., Ishida, Y., Kobayashi, T., Kuwajima, Y., Da Silva, J. D., & Nagai, S. (2022). Diagnosis of Tooth Prognosis Using Artificial Intelligence. *Diagnostics (Basel)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/diagnostics12061422>

- Li, C.-W., Lin, S.-Y., Chou, H.-S., Chen, T.-Y., Chen, Y.-A., Liu, S.-Y., Liu, Y.-L., Chen, C.-A., Huang, Y.-C., Chen, S.-L., Mao, Y.-C., Abu, P. A. R., Chiang, W.-Y., & Lo, W.-S. (2021). Detection of Dental Apical Lesions Using CNNs on Periapical Radiograph. *Sensors*, 21(21), 7049. <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/21/7049>
- Machoy, M. E., Szyszka-Sommerfeld, L., Vegh, A., Gedrange, T., & Woźniak, K. (2020). The ways of using machine learning in dentistry. *Adv Clin Exp Med*, 29(3), 375-384. <https://doi.org/10.17219/acem/115083>
- Mohammad-Rahimi, H., Sohrabniya, F., Ourang, S. A., Dianat, O., Aminoshariae, A., Nagendrababu, V., Dummer, P. M. H., Duncan, H. F., & Nosrat, A. (2024). Artificial intelligence in endodontics: Data preparation, clinical applications, ethical considerations, limitations, and future directions. *Int Endod J*, 57(11), 1566-1595. <https://doi.org/10.1111/iej.14128>
- Moidu, N. P., Sharma, S., Chawla, A., Kumar, V., & Logani, A. (2022). Deep learning for categorization of endodontic lesion based on radiographic periapical index scoring system. *Clin Oral Investig*, 26(1), 651-658. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04043-y>
- Nagareddy, B., Vadlamani, R., Venkannagari, N. R., Jain, S., Basheer, S. N., & Murugesan, S. (2024). Comparison of the Artificial Intelligence Versus Traditional Radiographic Interpretation in Detecting Periapical Periodontitis: A Diagnostic Accuracy

- Study. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 16(Suppl 4), S3676-S3678. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_1096_24
- Orhan, K., Bayrakdar, I. S., Ezhov, M., Kravtsov, A., & Özyürek, T. (2020). Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans. *Int Endod J*, 53(5), 680-689. <https://doi.org/10.1111/iej.13265>
- Patel, S., Bhuva, B., & Bose, R. (2022). Present status and future directions: vertical root fractures in root filled teeth. *International Endodontic Journal*, 55(S3), 804-826. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/iej.13737>
- Pauwels, R. (2021). A brief introduction to concepts and applications of artificial intelligence in dental imaging. *Oral Radiol*, 37(1), 153-160. <https://doi.org/10.1007/s11282-020-00468-5>
- Qiao, X., Zhang, Z., & Chen, X. (2020). Multifrequency Impedance Method Based on Neural Network for Root Canal Length Measurement. *Applied Sciences*, 10(21), 7430. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/21/7430>
- Ramesh, A. N., Kambhampati, C., Monson, J. R., & Drew, P. J. (2004). Artificial intelligence in medicine. *Ann R Coll Surg Engl*, 86(5), 334-338. <https://doi.org/10.1308/147870804290>
- Rathke, A., Frehse, H., & Hrusa, B. (2022). Vertical root fracture resistance and crack formation of root canal-treated teeth restored with different post-luting systems. *Odontology*, 110(4), 719-725. <https://doi.org/10.1007/s10266-022-00709-5>
- Saghiri, M. A., Asgar, K., Boukani, K. K., Lotfi, M., Aghili, H., Delvarani, A., Karamifar, K., Saghiri, A. M., Mehrvarzfar, P.,

- & Garcia-Godoy, F. (2012). A new approach for locating the minor apical foramen using an artificial neural network. *Int Endod J*, 45(3), 257-265. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01970.x>
- Saghiri, M. A., Garcia-Godoy, F., Gutmann, J. L., Lotfi, M., & Asgar, K. (2012). The reliability of artificial neural network in locating minor apical foramen: a cadaver study. *J Endod*, 38(8), 1130-1134. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.05.004>
- Santos-Junior, A. O., Fontenele, R. C., Neves, F. S., Ali, S., Jacobs, R., & Tanomaru-Filho, M. (2025). A unique AI-based tool for automated segmentation of pulp cavity structures in maxillary premolars on CBCT. *Scientific Reports*, 15(1), 5509. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86203-8>
- Setzer, F. C., Li, J., & Khan, A. A. (2024). The Use of Artificial Intelligence in Endodontics. *Journal of Dental Research*, 103(9), 853-862. <https://doi.org/10.1177/00220345241255593>
- Setzer, F. C., Shi, K. J., Zhang, Z., Yan, H., Yoon, H., Mupparapu, M., & Li, J. (2020). Artificial Intelligence for the Computer-aided Detection of Periapical Lesions in Cone-beam Computed Tomographic Images. *J Endod*, 46(7), 987-993. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.03.025>
- Shah, H., Hernandez, P., Budin, F., Chittajallu, D., Vimort, J. B., Walters, R., Mol, A., Khan, A., & Paniagua, B. (2018). Automatic quantification framework to detect cracks in teeth. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*, 10578. <https://doi.org/10.1117/12.2293603>

- Sherwood, A. A., Sherwood, A. I., Setzer, F. C., K, S. D., Shamili, J. V., John, C., & Schwendicke, F. (2021). A Deep Learning Approach to Segment and Classify C-Shaped Canal Morphologies in Mandibular Second Molars Using Cone-beam Computed Tomography. *J Endod*, 47(12), 1907-1916. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.09.009>
- Sudeep, P., Gehlot, P. M., Murali, B., & Mariswamy, A. B. (2023). Artificial Intelligence in Endodontics: A Narrative Review. *Journal of International Oral Health*, 15(2), 134-141. https://doi.org/10.4103/jioh.jioh_257_22
- Tandon, D., & Rajawat, J. (2020). Present and future of artificial intelligence in dentistry. *J Oral Biol Craniofac Res*, 10(4), 391-396. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2020.07.015>
- Tumbelaka, B. Y., Oscandar, F., Baihaki, F. N., Sitam, S., & Rukmo, M. (2014). Identification of pulpitis at dental X-ray periapical radiography based on edge detection, texture description and artificial neural networks. *Saudi Endodontic Journal*, 4(3), 115-121. <https://doi.org/10.4103/1658-5984.138139>
- Umer, F., & Habib, S. (2022). Critical Analysis of Artificial Intelligence in Endodontics: A Scoping Review. *Journal of Endodontics*, 48(2), 152-160. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.11.007>
- Vicory, J., Chandradevan, R., Hernandez-Cerdan, P., Huang, W. A., Fox, D., Qdais, L. A., McCormick, M., Mol, A., Walters, R., Marron, J. S., Geha, H., Khan, A., & Paniagua, B. (2021). Dental microfracture detection using wavelet features and

machine learning. Proc SPIE Int Soc Opt Eng, 11596.
<https://doi.org/10.1117/12.2580744>

Zheng, L., Wang, H., Mei, L., Chen, Q., Zhang, Y., & Zhang, H.
(2021). Artificial intelligence in digital cariology: a new tool
for the diagnosis of deep caries and pulpitis using
convolutional neural networks. Ann Transl Med, 9(9), 763.
<https://doi.org/10.21037/atm-21-119>

BÖLÜM 4

DİŞ HEKİMLİĞİNDE GÜNCEL TAM SERAMİK SİSTEMLER

Öğretim Görevlisi Hilal OK BOSTAN

GİRİŞ

Diş seramikleri, özellikle optik özellikleri, renk stabilitesi, aşınma direnci, biyouyumluluğu ve mükemmel estetiği gibi özellikleri sayesinde anterior ve posterior dişleri restore etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır(McLean, 2001; Rosenblum & Schulman, 1997). 1960'lı yıllardan itibaren, mevcut feldspatik seramik formülasyonuna lösit içeriği eklenerek, termal genleşme katsayısını artırarak diş döküm alaşımlarıyla uyumlu hale getirilmiştir. Metal alt yapılar, seramiğin estetik özelliklerini metal alt yapının kırılma direnciyle birleştirmek amacıyla diş seramiğiyle kaplanmıştır(Pjetursson et al., 2007; Sailer, Pjetursson, et al., 2007).

Porselenin metal üzerine fırınlanması, uzun süreli klinik başarı oranları ile iyi sonuçlar göstermiş olsa da, çoğunlukla metalin varlığıyla ilgili bazı dezavantajlar sunmaktadır(Pjetursson et al., 2007; Sailer, Pjetursson, et al., 2007). Bu durum, estetik sıkıntılar oluşturabilir ve nadiren alerjik reaksiyonlara yol açabilir. Metal alt yapının varlığı, özellikle kaplama malzemesi için yeterli alanın bulunmadığı durumlarda, seramiğin ışık iletiminin azalmasına neden olarak sınırlı estetik sonuçlara yol açmaktadır(Rosenblum & Schulman, 1997).

Ayrıca gri metal alt yapının, çevreleyen yumuşak dokuların mavimsi bir görünüm almasına neden olduğu bildirilmiştir.

Son yıllarda, estetik restorasyonlara olan artan talep ve metal kaplamanın ortadan kaldırılmasına yönelik istek, yeni tür diş seramik malzemelerinin gelişimine yol açmıştır(Conrad et al., 2007; Rosenblum & Schulman, 1997). 1980'lerde, düşük büzülme seramikleri ve dökülebilir cam-seramik sisteminin (Dicor, Dentsply) tanıtılması, yenilikçi işleme yöntemleriyle gelişmiş seramiklerin tanıtımını simgelemiştir(Conrad et al., 2007). Daha sonra, Mormann ve Brandestini, katı seramik bloklardan inley ve onlay üretmek için ilk işletimsel bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) sistemini geliştirmiştir (CEREC I, Siemens Dental/şimdi Sirona Dental). O zamandan beri, CAD/CAM teknolojisi, CAD/CAM tekniğini benimsemiş farklı seramik sistemlerinin tanıtılmasıyla dünya çapında yaygınlaşmıştır(Davidowitz & Kotick, 2011; Kelly & Benetti, 2011). 1990'ların başında, kayıp mum presleme tekniği, tamamen seramik restorasyonlar için yenilikçi bir işleme yöntemi olarak tanıtılmıştır(Dong et al., 1992).

Tam seramik restorasyonların dünya çapında kabulü nedeniyle, yüksek fleksiyon dayanıklılığına sahip seramikler, anterior ve posterior sabit diş protezlerinin endikasyonlarını genişletmek amacıyla geliştirilmiştir. Zirkonya seramiğinin fleksiyon dayanıklılığı ve kırılma dayanımı, herhangi bir diş seramiği için şimdiye kadar rapor edilen en yüksek değerlere ulaşmıştır ve kullanımı, özellikle sabit

dental protezler için hızla artmaktadır(Conrad et al., 2007; Özkurt & Kazazoğlu, 2010).

Seramik malzemelerdeki gelişmeler, daha iyi kalite kontrolüne yol açmış ve çeşitli işleme yöntemleriyle diş teknisyenlerinin işlerini kolaylaştırmıştır(Giordano & McLaren, 2010; Griggs, 2007). Seramik bileşimlerinin ve farklı üretim tekniklerinin çeşitliliği, kliniklere seçim yapabilecekleri çok sayıda sistem sunmuştur; bu nedenle, her bir sistemi daha kapsamlı bir şekilde anlamak, doğru seçimler yapabilmek için gereklidir.

Üretim Teknikleri

Tam seramik restorasyonlar, farklı yöntemlerle üretilir: toz kondensasyonu (geleneksel toz sıvı seramikleri), ısı ile baskılama (baskı yapılabilir seramikler), döküm (infiltrate edilmiş seramikler) ve frezeleme (makine ile işlenebilir veya CAD/CAM seramikleri).

1.Toz Kondensasyonu (geleneksel toz sıvı seramikler)

Toz kondensasyonu, feldspatik seramik restorasyonları üretmek için geleneksel bir yöntemdir. Çeşitli tonlar ve geçirgenlikler içeren tozlar ve deiyonize su kullanılarak bir sıvı karışımı (slurry) hazırlanır(Kelly & Benetti, 2011; Rosenblum & Schulman, 1997). Nemli porselen tozu, bir refrakter die, kaplamalar veya alt yapılar üzerine fırçayla uygulanır, titreilir ve fazla nemin giderilmesi için sıkıştırılır. Seramik restorasyon, vakum altında pişirilir, bu da kalan havanın çıkarılmasına ve yoğunluğun ile estetiğin iyileştirilmesine yardımcı olur(Cheung & Darvell, 2002; Giordano & McLaren, 2010).

Bu el yapımı teknik, nihai mukavemeti etkileyebilecek büyük miktarda artık gözeneklilikle sonuçlanabilir(Giordano & McLaren, 2010; McLean, 2001; Rosenblum & Schulman, 1997). Kalan boşlukların sayısı ve boyutu, partikül boyutu dağılımına, sinterleme süresine, sıcaklığa, seramik kimyasal bileşimine ve eriyiğin viskozitesine bağlı olacaktır(Cheung & Darvell, 2002).

Toz kondensasyonu ile üretilen seramikler, iyi geçirgenlik özelliğine sahiptir ve genellikle metal veya tamamen seramik alt yapılar üzerinde estetik kaplama katmanları olarak uygulanır. Diğer uygulamalar arasında anterior kaplamalar, inley ve onley restorasyonları yer alır(Cheung & Darvell, 2002; Rosenblum & Schulman, 1997).

2. Isı ile Baskılama (baskı yapılabilir seramikler)

Önceden üretilmiş baskı yapılabilir seramikler, cam benzeri bir malzeme içinde dağılmış kristalin parçacıklardan yapılan monokromatik ingotlar olarak mevcuttur(Dong et al., 1992; Griggs, 2007; Rosenblum & Schulman, 1997). Ingotların mikro yapısı geleneksel toz seramiklerine benzer olmakla birlikte, daha düşük poroziteye ve daha yüksek kristalin içeriğe sahiptir. Ingotlar, camın bir kısmının kristallere dönüşmesini sağlayan ısı işlemi uygulayarak üretilir, bu da iyi kontrol edilmiş ve homojen bir malzeme oluşturur(Giordano & McLaren, 2010).

Kayıp mum yöntemi, ısı ile baskılama tekniğiyle birleştirilerek kullanılır(Davidowitz & Kotick, 2011; Dong et al., 1992; Giordano & McLaren, 2010). İstenilen monokromatik ingot, malzemenin basınç

altında kayarak kayıp mum kalıbına akmasını sağlamak için yüksek viskoziteli bir sıvıya dönüştürülmesi için ısıtılır. Isı ile baskılama tekniğinin avantajlarından biri, diş teknisyenlerinin metal alaşımlarını döküm yapmak için kayıp mum yöntemini kullanma konusunda deneyimlerinin olmasıdır(Giordano & McLaren, 2010; Griggs, 2007; Guess et al., 2011; Sulaiman et al., 1997). Son restorasyon daha sonra estetik sonuca ulaşmak için lekelenir ve cilalanır.

Isı ile baskılama seramiklerinin ilk jenerasyonu, takviye edici kristalin faz olarak lösit kullanırken (örneğin, IPS Empress®, Ivoclar Vivadent), ikinci jenerasyon lityum-disilikat bazlı seramiklerden oluşmaktadır (IPS Empress 2). Feldspatik leusit takviyeli ve lityum-disilikat bileşimleri, inley, onley, kaplamalar, tekli ünite kronlar ve sınırlı sabit diş protezleri olarak kullanılmıştır(Griggs, 2007; Guess et al., 2011; Rosenblum & Schulman, 1997; Sulaiman et al., 1997). Ayrıca, genellikle çekirdek ve kaplama veya alt yapı malzemeleri olarak, geleneksel toz feldspatik porselenin üzerine yapılarak restorasyonların son şekil ve tonunun elde edilmesi için kullanılabilirler(Griggs, 2007; Guess et al., 2011).

3. Döküm (infiltr edilmiş seramikler)

Döküm tekniği, stabil süspansiyonlar, yani sıvı karışımlar hazırlamayı ve sıvı fazı, kapiler kuvvetler yardımıyla sıvıyı emen gözenekli bir kalıp yüzeyine sağlam bir katman inşa ederek yapıları üretmeyi içerir(McLean, 2001; Rosenblum & Schulman, 1997). Döküm, seramik tozu parçacıklarının genellikle su içinde askıda bulunduğu homojen bir karışımdır ve bu karışım, sıvıyı kapiler etkiyle

emen bir alçı kalıp üzerine uygulanır, bu da alt yapıyı oluşturur(Giordano & McLaren, 2010; Guess et al., 2011). Alumina, oldukça gözenekli alt yapı, gücünü artırmak için kısmi olarak sinterlenir, böylece kalıptan çıkarılabilir ve kapiler etkiyle gözeneklere akan bir erimiş lantanit cam ile infiltre edilebilir. Son olarak, nihai çekirdek tam olarak sinterlenir ve yüksek yoğunluk ve güçte bir seramik kaplama elde edilir, ardından kaplama porseleni uygulanabilir. Bu teknik, diş hekimliğinde In-Ceram® ürünleri (Vita Zahnfabrik) üzerinde yaygın olarak kullanılmıştır(Giordano & McLaren, 2010; Griggs, 2007; Kelly & Benetti, 2011).

Döküm ile üretilen seramikler, güçlendirilmiş kristalin parçacıkların alt yapının tamamında sürekli bir ağ oluşturması nedeniyle, toz kondensasyonu ile üretilenlere göre daha yüksek kırılma direncine sahip olabilir(Giordano & McLaren, 2010; Griggs, 2007). Bununla birlikte, bu yöntemin dezavantajı, eksik cam infiltrasyonu nedeniyle malzemeyi zayıflatan iç kusurlarla sonuçlanabilecek karmaşık adımların sayısıdır(Giordano & McLaren, 2010; Rosenblum & Schulman, 1997).Camla infiltre edilmiş ingotlar, bazı adımları ortadan kaldırarak ve tekniği basitleştirerek CAD/CAM teknolojisiyle kullanılabilir.

4. Frezeleme (makine ile işlenebilir seramikler)

Dental CAD/CAM sistemleri, tarama cihazı, tasarım yazılımı ve freze makinesi kullanarak, sanayide önceden üretilmiş seramik bloklardan kaplamalar, alt yapılar ve restorasyonlar üretir(Davidowitz & Kotick, 2011; Santos Jr et al., 2013). Seramik blokları işlemek için

iki yöntem mevcuttur. İlk yöntem, tamamen sinterlenmiş seramiği işlemek amacıyla geliştirilmişti (sert işleme); ancak, tamamen sinterlenmiş seramik bloklarının işlenmesi, önemli araç aşınmasına ve seramik yüzeyde kalan hatalara neden olabilir, bu da seramik restorasyonların hayatta kalma oranını azaltabilir(Guess et al., 2011).

Son zamanlarda, CAD/CAM teknolojisi, kısmi olarak sinterlenmiş seramiklerle (yumuşak işleme veya yeşil işleme) kullanılmaya başlanmıştır, bu seramikler daha sonra poroziteyi ortadan kaldırmak için tamamen sinterlenir. Bu durumda, bilgisayar yazılımı, sinterleme sırasında meydana gelen büzülmeyi dikkate alır ve böylece nihai restorasyonun uyumunun doğruluğunu artırır(Giordano & McLaren, 2010; Griggs, 2007).

CAD/CAM sistemlerinin artan popülaritesi ve çeşitliliği, bu üretim tekniğinin kullanımını genişletmiş ve pekiştirmiştir(Davidowitz & Kotick, 2011; Griggs, 2007; Santos Jr et al., 2013). CAD/CAM restorasyonları için makine ile işlenebilir seramik bloklar, feldspatik porselen bazlı seramik, leusit takviyeli cam seramik, lityum-disilikat cam seramikleri, camla infiltre edilmiş seramikler ve polikristalin alumina ve zirkonya malzemeleri gibi çeşitli türlerde mevcuttur(Davidowitz & Kotick, 2011; Denry & Kelly, 2008; Özkurt & Kazazoğlu, 2010).

Diş hekimleri ve laboratuvarlar, CAD/CAM teknolojisini birçok farklı şekilde kullanabilirler. Geleneksel kalıp örnekleri, CAD sürecine başlamak için bir laboratuvara gönderilebilir, veya diş hekimleri, taş model kullanarak dijital bir kalıp alabilir ve bunu

laboratuvara restorasyonları üretmesi için gönderebilir ya da kendi CAD sistemlerini kullanarak işlemi kendi bürolarında yapabilirler(Davidowitz & Kotick, 2011; Denry & Kelly, 2008; Guess et al., 2011). Tasarım çalışması monitörde yapılır ve talimatlar, restorasyonları önceden üretilmiş bloklardan frezelemek için bilgisayar destekli işleme makinesine gönderilir(Mackert & Evans, 1991; Peutzfeldt, 2001; Santos Jr et al., 2013).

CAD/CAM blokları, optimum koşullar altında üretilir ve CAM süreci sırasında bilgisayar kontrollü üretim, hataları azaltarak, geleneksel laboratuvar üretimiyle karşılaştırıldığında varyasyonları ve yanlışlıkları ortadan kaldırır(Griggs, 2007; Guess et al., 2011; Santos Jr et al., 2013). Bireysel bloklar, her bir bloğun gerçek yoğunluğuyla barkodlanır ve freze makineleri, ihtiyaca göre freze araçlarını otomatik olarak değiştirebilir(Kelly & Benetti, 2011). Ayrıca, çerçevelerin işlenmesi, döküm ve lehimleme gibi iş gücü gerektiren işlemlerle harcanan zaman ve maliyet, CAD/CAM teknolojisiyle azaltılabilir(Davidowitz & Kotick, 2011; Guess et al., 2011; Santos Jr et al., 2013). CAD/CAM, inley, onley, kaplamalar, kronlar, köprüler ve implant abutmanları üretmek için kullanılabilir.

Kompozisyon Sınıflandırması ve Klinik Uygulama

Seramik materyaller genellikle iki veya daha fazla farklı fazdan oluşur; bu fazlar genellikle cam matrisi ve kristalin dolgu parçacıklarına dayanır(Giordano & McLaren, 2010; Kelly & Benetti, 2011). Daha yüksek dayanıklılığa sahip seramiklerin geliştirilmesi, cam matrisine eklenen kristalin materyal ve dolgu parçacıklarının

kullanımının artmasıyla mümkün olmuştur. Bu iyileştirmeler, seramiğin mekanik özelliklerini artırmayı hedefleyerek giderek daha az cam fazı içerecek şekilde yapılmış ve sonunda hiç cam içermeyen seramikler elde edilmiştir. Bununla birlikte, yüksek estetik özelliklere sahip dental seramikler ağırlıklı olarak cam içerirken, daha yüksek dayanıklılığa sahip altyapı seramikleri genellikle kristalindir(Kelly & Benetti, 2011).

Mikro yapısal düzeyde dental seramikler, cam-kristal oranlarına göre üç ana sınıfa ayrılır(Giordano & McLaren, 2010; Kelly & Benetti, 2011):

- Ağırlıklı olarak cam içerikli malzemeler (yüksek cam içeriğine sahip)
- Parçacık dolgulu camlar (değişken cam içeriğine sahip)
- Polikristalin seramikler (cam içermeyen)

Ağırlıklı Cam İçerikli Seramikler / Feldspatik Amorf Cam

Kristal içermeyen bir materyal, "cam" olarak sınıflandırılır(Giordano & McLaren, 2010). Camlar, atomların düzenli bir şekilde sıralanmadığı, 3 boyutlu ağ yapısında, düzensiz bir aralıklama (mesafe ve açı) sergileyen “amorf” yani şekilsiz yapılardır(Kelly & Benetti, 2011).

Diş hekimliğinde kullanılan cam bazlı sistemler, esas olarak silisyum dioksit (silika veya kuvars) içeren feldspat minerallerinden türetilmiştir ve farklı oranlarda alüminyum oksit (alümina) da içerirler. Bu nedenle bu yapılar alüminosilikat camlar olarak da adlandırılır(Giordano & McLaren, 2010; Griggs, 2007; Kelly & Benetti, 2011; Rosenblum & Schulman, 1997). Feldspatik camlar

ayrıca sodyum ve potasyum içerir; bu elementler camın bazı önemli özelliklerini değiştirme kabiliyetine sahiptir. Örneğin, pişirme sıcaklıklarını düşürmek ya da ısı genleşme ve büzülme davranışlarını artırmak gibi etkileri vardır(Kelly & Benetti, 2011).

Diş minesi ve dentinin optik özelliklerini en iyi taklit eden dental seramikler, ağırlıklı olarak cam içerikli malzemelerdir(Kelly & Benetti, 2011; Rosenblum & Schulman, 1997). Ancak, bu seramiklerin mekanik özellikleri düşüktür; eğilme direnci genellikle 60 MPa ile 70 MPa arasında değişir(Giordano & McLaren, 2010; Peutzfeldt, 2001; Rosenblum & Schulman, 1997). Bu seramikler diş hekimliğinde ilk olarak porselen diş protezleri üretiminde kullanılmış, daha sonraları metal veya tam seramik altyapılar için kaplama materyali olarak ve aynı zamanda refrakter kalıp tekniği ya da platin folyo kullanılarak yapılan lamina veneerlerde de kullanılmıştır(Giordano & McLaren, 2010; Griggs, 2007).

Değişken Miktarda Cam İçeren Parçacık-Dolgulu Cam Seramikler

Cam kompozisyonu, daha önce tanımlanan camy seramiklerle benzer olmakla birlikte, bu parçacık dolgulu cam kategorisi, cam matrisine eklenmiş veya bu matris içerisinde büyütülmüş çeşitli kristal tiplerini içerir(Cheung & Darvell, 2002). Dolgu parçacıkları, mekanik özellikleri iyileştirmek (örneğin, ısı genleşme katsayısını değiştirmek ve çatlak yayılımını engellemek) ve optik etkileri (örneğin, opalesans, renk ve opaklık) kontrol etmek amacıyla cam seramiklere eklenir(Mackert & Evans, 1991; Peutzfeldt, 2001; Rosenblum & Schulman, 1997). Bu dolgular genellikle kristalindir ve cam içine

mekanik olarak eklenebilir ya da daha yeni bir yöntemle, özel bir ısı işlemi sayesinde cam içinde kristaller büyütülebilir(Kelly & Benetti, 2011; Rosenblum & Schulman, 1997). Bu kategori, cam-kristal oranı ve kristal tipi bakımından geniş bir çeşitliliğe sahiptir ve dört ana alt grubu içerir(Giordano & McLaren, 2010; Guess et al., 2011):

- Düşük ila orta düzeyde lösit içeren feldispatik cam
- Yüksek lösit içeren cam
- Lityum disilikat cam
- Cam dolgularla cam infiltreli seramikler (çoğunlukla alümina bazlı)

Düşük-orta düzeyde lösit (%17–25 hacim) içeren cam seramik

Lösit, dental seramiklerde kristalin minerallerle zenginleştirilen ilk dolgu maddesidir ve metal altyapılar üzerine pişirilebilmesi için seramiğin ısı genleşme katsayısını (CTE) artırmak amacıyla kullanılmıştır(Mackert & Evans, 1991). Lösit, potasyum feldspat ve camın tepkime ürünü olup, CTE'yi değiştirme, optik özellikleri etkileme ve çatlak yayılımını engelleme özellikleriyle seramiğin dayanıklılığını artırır(Kelly & Benetti, 2011; Mackert & Evans, 1991; McLean, 2001). Cam tabanındaki lösit miktarı, istenen CTE ve kullanılacak altyapı tipine göre ayarlanabilir. Genellikle dental cam matrisine %17–25 oranında lösit dolgusu eklenerek, dental alaşımlarla pişirme sırasında termal uyumluluk sağlayan seramikler üretilir(Giordano & McLaren, 2010; Kelly & Benetti, 2011; Rosenblum & Schulman, 1997). Kristal ve cam miktarları, kullanılan seramik sistemine bağlı olarak değişir.

Lösit dolgular içeren ticari seramik sistemleri, metal-seramik veya tam seramik altyapılar için veneer malzeme olarak kullanılan toz seramiklerden oluşur. Ayrıca porselen laminate veneer, inlay ve onlay üretiminde de kullanılabilir(Giordano & McLaren, 2010; Guess et al., 2011; Rosenblum & Schulman, 1997).

Yüksek lösit (%35–55 hacim) içeren cam seramik

Bu kategoride, lesit %35–55 hacim oranında takviye edici kristal olarak kullanılır(Guess et al., 2011; Kelly & Benetti, 2011). Bu seramik materyallerin mikroyapısı, bireysel kristallerin çevresini saran cam bir matrise sahiptir(Dong et al., 1992; Giordano & McLaren, 2010). Malzeme başlangıçta homojen bir camdır ve özel bir ısı işlemiyle lesit kristalleri çekirdeklenip büyütülür. Bu süreç, kırılma direnci ve termal şok direnci gibi mekanik özellikleri iyileştirir(Dong et al., 1992). Kristal katkısının güçlendirici etkisi, kristallerle cam matrisi arasındaki etkileşime, kristal boyutuna ve miktarına bağlıdır. Daha küçük kristaller genellikle daha güçlü malzemeler üretir(Dong et al., 1992; Giordano & McLaren, 2010). Kristaller, çatlaklara engel oluşturarak seramiği güçlendirir; çünkü bir çatlağın kristaller etrafından dolanması gerekir ve bu, çatlağın yönünü değiştirebilir ya da tamamen durdurabilir(Giordano & McLaren, 2010). Ayrıca, lesit kristalleri ile cam matrisi arasındaki CTE farkı nedeniyle, soğuma sırasında kristaller etrafında çevresel (tangensiyel) basma gerilimleri oluşur; bu da çatlak yönlendirmesi ve mekanik performansın artmasına katkıda bulunur(Dong et al., 1992; Giordano & McLaren, 2010; Griggs, 2007; Guess et al., 2011).

Lösit dolgular içeren ticari cam seramikler, üretim tekniğine göre üç gruba ayrılır:

1. Yüksek sıcaklıkta preslenen seramikler:

OPC (Jeneric/Pentron)

IPS Empress® ve IPS Empress® Esthetic (Ivoclar Vivadent)

Finesse® All-Ceramic (DENTSPLY Prosthetics)

Authentic® (Jensen Dental)

VITA PM®9 (VIDENT)

2. Geleneksel porselen katmanlama için toz halinde sunulan seramikler:

OPC Plus (Jeneric/Pentron)

Fortress™ (Mirage Dental Systems)

VITA VMK 68 (VITA Zahnfabrik)

3. CAD/CAM sistemleri için ince taneli işlenebilir bloklar:

VITABLOCS® Mark II (VIDENT)

IPS ProCAD ve IPS Empress® CAD (Ivoclar Vivadent)

Paradigm™ C porselen blok (3M ESPE)

Bu bloklar, renk geçişlerini ve tonlamaları taklit edebilmek amacıyla çok renkli olarak da üretilmiştir. Yüksek lösit içeren (%35–55) cam seramikler, inlay, onlay, anterior veneer ve kuron üretimi için endikedir(Dong et al., 1992; Peutzfeldt, 2001). Yüksek lesit içeren preslenebilir seramiklerin eğilme direnci yaklaşık 130 MPa civarındadır(Peutzfeldt, 2001).

Lityum-disilikat cam seramikleri

Lityum-disilikat kristalleri ($\text{SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$) ile zenginleştirilmiş cam seramikleri, Ivoclar Vivadent tarafından kayıp-mum/ısı presleme tekniği (IPS Empress® 2 ve IPS e.max® Press) ile kullanılmak üzere geliştirilmiştir ve sonrasında CAD/CAM teknolojisiyle (IPS e.max® CAD) kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek kristal içeriği (%70 hacim) lōsit bazlı malzemelere kıyasla oldukça yüksektir. Seramiğin mikro yapısı, 5 mm uzunluğunda ve 0.8 mm çapında yüksek oranda birbirine geçmiş lityum-disilikat kristallerinden oluşmaktadır(Giordano & McLaren, 2010; Oh et al., 2000).

IPS Empress 2, flexural dayanımı (360 MPa) ile lōsit bazlı IPS Empress'ten iki kat daha yüksek dayanım sunar ve anterior ve premolar kuronlar, ayrıca anterior bölgedeki üç üye köprüler için endikedir(Giordano & McLaren, 2010; Oh et al., 2000). Çerçeve, lityum-disilikat malzeme ile uyumlu optik özellikler ve CTE sunan fluoroapatit bazlı kaplama porseleni (IPS Eris, Ivoclar Vivadent) ile kaplanmıştır, bu da estetik bir restorasyon ve artırılmış ışık iletimi sağlar(Conrad et al., 2007).

2005 yılında, IPS e.max Press, önceki IPS Empress 2'ye kıyasla iyileştirilmiş fiziksel özellikler (flexural dayanım 400 MPa) ile tanıtılmıştır(Conrad et al., 2007; Guess et al., 2011). Bu malzeme de bir lityum-disilikat cam seramiğidir, ancak rafine edilmiş kristal boyutlarıyla fiziksel özelliklerinde ve ışık geçirgenliğinde iyileşmeler sağlanmıştır ve farklı bir pişirme süreciyle elde edilmiştir(Guazzato et al., 2002). Lityum-disilikat kristallerinin nispeten düşük kırılma

indeksine sahip olması nedeniyle, bu malzeme yüksek kristal içeriğine rağmen yüksek ışık geçirgenliği sunar(Kelly & Benetti, 2011). IPS e.max Press preslenebilir lityum-disilikat seramiği, monolitik uygulamalarda inley, onley ve posterior kuronlar için veya anterior bölgedeki kuronlar ve üç üye köprü için alt yapı malzemesi olarak kullanılabilir(Guess et al., 2011).

Makine ile işlenebilir lityum-disilikat bloklar (IPS e.max CAD), CAD/CAM işleme teknolojisiyle kullanılmak üzere yakın zamanda geliştirilmiştir. Bu bloklar, iki aşamalı bir kristalleşme sürecine tabi tutulur. İlk aşamada, %40 hacminde lityum-metasilikat kristalleri oluşur, bu da 130 MPa ile 150 MPa arasında bir flexural dayanım sağlar ve böylece daha kolay işlenmesini ve intraoral okklüzal ayar yapılmasını mümkün kılar. Sonraki kristalleşme sürecinde, %70 kristal hacmi cam matrisine entegre olur ve son dayanımı artırır. Ayrıca, bu aşamada önceden kristalleşmiş bloğun mavi rengi, seçilen diş rengini almak üzere değişir. Sonuçta elde edilen restorasyon, 360 MPa'lık bir flexural dayanım sunar; bu restorasyonlar anterior veya posterior kuronlar, implant kuronlar, inley, onley ve veneerler için önerilir(Guess et al., 2011; Oh et al., 2000; Peutzfeldt, 2001).

Camla infiltre edilmiş alümina bazlı seramikler (slip-cast seramikler)

Camla infiltre edilmiş alümina bazlı seramikler, Vita Zahnfabrik tarafından üretilen In-Ceram serisiyle sınırlıdır(Griggs, 2007). In-Ceram seramiği, yüksek mukavemetli bir çekirdekten oluşur; bu çekirdek, alümina parçacıkları (%70–80 ağırlıkça alüminyum oksit)

ve lantan-alüminosilikat camına dayanır ve genellikle slip-casting (sıvı döküm) tekniğiyle üretilir(Giordano & McLaren, 2010; Kelly & Benetti, 2011).

Sıkıca paketlenmiş alüminyum oksit (Al_2O_3) ve sudan oluşan bir slip (sıvı karışım), bir alçı kalıbın üzerine uygulanır ve 1120°C'de 10 saat boyunca pişirilerek gözenekli bir matris oluşturulur. Bu matris, ikinci faz bir malzeme olan lantan-alüminosilikat cam ile doldurulur(Guazzato et al., 2002; Rosenblum & Schulman, 1997). Kapiler etki sayesinde sıvı veya erimiş cam, ikinci bir pişirme işleminde (1100°C'de 4 saat) tüm gözeneklere çekilir ve yoğun, birbirine geçen bir yapı elde edilir. Lantan, camın viskozitesini düşürerek infiltrasyonu kolaylaştırır ve kırılma indeksini artırarak In-Ceram seramiğinin geçirgenliğini (translusens) iyileştirir(Giordano & McLaren, 2010; Kelly & Benetti, 2011; Pröbster & Diehl, 1992; Rosenblum & Schulman, 1997).

Slip-casting tekniği seramik çekirdeğin üretiminde kullanılabilir; ancak son zamanlarda ön-sinterlenmiş bloklardan frezeleme (CAD/CAM) yöntemi de tercih edilmektedir(Conrad et al., 2007; Giordano & McLaren, 2010). Camla infiltre edilmiş CAD/CAM bloklar, slip-cast seramiklerle benzer bileşime sahiptir ancak slip-casting'in karmaşık adımlarını ortadan kaldırır. Önce kısmen sinterlenmiş bloklar frezelenir, ardından erimiş cam infiltrasyonu ile gözeneklilik giderilir. Son olarak, bu yapı feldspatik porselen ile kaplanır(Conrad et al., 2007; Griggs, 2007; Guess et al., 2011).

In-Ceram ürünleri, tüm seramik restorasyonların geniş bir yelpazesini kapsamak amacıyla farklı bileşimler ve üretim teknikleri içerir. Bu restorasyonlar arasında veneerler, inleyler, onleyler, anterior/posterior kronlar ve köprüler yer alır(Giordano & McLaren, 2010; Guazzato et al., 2002; Pröbster & Diehl, 1992). Eğilme dayanımları spinel için 350 MPa, alümina için 450 MPa ve zirkonya için 650 MPa arasında değişir(Giordano & McLaren, 2010; Guazzato et al., 2002).

In-Ceram Alumina (alümina matrisi), ön ve arka tek birim restorasyonlar ile üçlü ön köprüler için kullanılabilen ilk tam seramik sistemdir. Yüksek dayanımlı bir seramik çekirdeğe sahip olup, geçirgenliği düşüktür(Conrad et al., 2007; Giordano & McLaren, 2010).

In-Ceram Spinell (alümina ve magnezyum matrisi, $MgAl_2O_4$), orijinal In-Ceram Alumina sisteminin bir modifikasyonudur. Alüminyum oksit yerine magnezyum alüminat spinel kullanılması, geçirgenliği artırmıştır. Bu artış hem kristalin spinelin izotropik optik özelliklerinden hem de alüminaya göre daha düşük kırılma indeksinden kaynaklanır(Conrad et al., 2007; Giordano & McLaren, 2010; Rosenblum & Schulman, 1997). In-Ceram Spinell, en yüksek geçirgenliğe sahip olup, orta derecede yüksek dayanımlıdır (alümina bazlı malzeme kadar güçlü değildir) ve ön kronlarda kullanılır(Giordano & McLaren, 2010; Kelly & Benetti, 2011).

In-Ceram Zirconia (alümina ve zirkonya matrisi, 12 Ce-TZP- Al_2O_3), daha yüksek dayanım ve daha düşük geçirgenlik sunar(Giordano & McLaren, 2010). Bu da orijinal In-Ceram Alumina

sisteminin bir başka modifikasyonudur. Slip veya blok bileşimine %35 oranında kısmen stabilize zirkonya oksit (ZrO_2) eklenerek seramik malzeme güçlendirilmiştir(Conrad et al., 2007).Çekirdek çok opaktır ve geçirgenliği azdır; bu nedenle bu malzeme, özellikle üçlü arka köprüler için posterior kron alt yapıları ve FDP çerçeveleri için önerilmektedir(Conrad et al., 2007; Giordano & McLaren, 2010).

Tamamen Polikristalin veya Polikristalin Seramikler / Cam İçeriği Olmayan Seramikler

Yüksek dayanımlı polikristalin seramiklerin geliştirilmesi, kristalin materyallerin kullanımının artması ve buna bağlı olarak cam faz miktarının azalmasıyla mümkün olmuştur; bu süreç sonunda, malzeme mikro yapısında hiç cam bulunmayan yapılar ortaya çıkmıştır(Kelly & Benetti, 2011). Bu seramikler, kristallerin doğrudan sinterlenmesiyle (yüksek sıcaklıkta birleştirilmesiyle) elde edilir ve herhangi bir ara matris içermeyen, yoğun, camsız polikristalin bir yapı oluştururlar(Giordano & McLaren, 2010). Bu tamamen sinterlenmiş monofaz seramikler, atomların düzenli dizildiği, yoğun şekilde paketlenildiği yapılarla karakterizedir; bu sayede, camlara kıyasla daha düzensiz ve az yoğun yapılara sahip olmayan çok güçlü ve zor kırılan malzemeler ortaya çıkar(Kelly & Benetti, 2011; Özkurt & Kazazoğlu, 2010).

Polikristalin seramikler, cam esaslı seramiklere göre işlenmesi daha zor olan malzemelerdir. Bilgisayar destekli üretim teknolojilerinin (CAD/CAM) kullanıma sunulmasıyla, yoğun sinterlenmiş alüminyum

oksit (alümina, Al_2O_3) veya zirkonyum oksit (ZrO_2) esaslı diş çekirdekleri ve altyapıları üretilebilmiştir(Guazzato et al., 2002; Kelly & Benetti, 2011). Bu yüksek dayanımlı seramikler, camsı seramiklere göre daha opaktır ve bazı polikristalin seramikler, döküm metal alaşımlara benzer düzeyde opaklık gösterir. Genellikle, üzerine camsı seramiklerin kaplanarak estetik sonuç elde edildiği alt yapı malzemesi olarak kullanılırlar(Guazzato et al., 2002).

Alümina (Alüminyum Oksit)

Diş hekimliğinde kullanılan ilk tamamen yoğun polikristalin malzeme 1983 yılında geliştirilmiştir. Procera® AllCeram sistemiyle Nobel Biocare, CAD/CAM teknolojisiyle yüksek saflıkta, yoğun şekilde sinterlenmiş alümina çekirdeği üzerine düşük erime noktalı porselenle kaplanmış tam seramik kronlar üretme konseptini benimsemiştir. Bu çekirdekler, %99.5 ila %99.9 saflıkta alüminyum oksit içerir ve yaklaşık 600 MPa'lık bir dayanım sağlar(Andersson & Odén, 1993).

Hazırlanan diş kalıbı (model) bir tarayıcı prob ile taranır; bu prob, yüzeye temas ederek diş hazırlığının 3D (üç boyutlu) şeklinin elde edilmesini sağlar. Elde edilen dijital veriler, seramik çekirdeğin sinterleme sonrası büzülmesi dikkate alınarak %20 oranında büyütülmüş bir modelin üretileceği üretim merkezine gönderilir. Yüksek saflıktaki alüminyum oksit tozu mekanik olarak sıkıştırılır ve bu büyütülmüş kalıp üzerinde frezelenir. Daha sonra çekirdek yaklaşık $1600^{\circ}C$ 'de sinterlenerek tam yoğunluğa ulaşır; bu işlem gözenekleri ortadan kaldırır ve çekirdeği çalışma modelinin orijinal boyutlarına geri

getirir(Andersson & Odén, 1993; Davidowitz & Kotick, 2011). Sinterleme sonrası elde edilen çekirdek dış laboratuvarına gönderilir ve alümina ile uyumlu genleşme katsayısına (CTE) sahip düşük erime noktalı feldspatik porselen ile tamamlanarak kron elde edilir(Andersson & Odén, 1993; Conrad et al., 2007). Procera, alümina bazlı malzemeler arasında en yüksek dayanımı sunar; ancak yine de zirkonya kadar güçlü değildir(Conrad et al., 2007).

Zirkonya (Zirkonyum Oksit, ZrO_2)

Saf haliyle zirkonyum oksit (ZrO_2), sıcaklığa bağlı olarak üç farklı kristal formda bulunan polimorfik bir malzemedir: monoklinik (oda sıcaklığından $1170^{\circ}C$ 'ye kadar), tetragonal ($1170^{\circ}C - 2370^{\circ}C$ arası) ve kübik ($2370^{\circ}C$ 'den erime noktasına kadar)(Denry & Kelly, 2008). Pişirme işlemi sırasında zirkonya, bir kristal fazdan diğerine dönüşür. Pişirme sıcaklığında zirkonya tetragonal fazdadır; oda sıcaklığında ise monoklinik forma dönüşür. Bu dönüşüm (tetragonalden monokline geçiş), $1170^{\circ}C$ 'nin altında gerçekleşir ve %3 ila %5 arasında hacimsel genleşmeye neden olur. Bu hacim artışı yüksek basınç gerilimleri oluşturur ve bu da çatlak oluşumuna ve yapısal başarısızlığa yol açabilir(Conrad et al., 2007; Denry & Kelly, 2008). Bu hacimsel değişimi kontrol etmek ve tetragonal fazı oda sıcaklığında da stabil tutmak için, saf zirkonyaya küçük miktarlarda itriyum oksit (Y_2O_3) eklenir(Denry & Kelly, 2008; Guess et al., 2011).

İtriyumla stabilize edilmiş tetragonal zirkonya polikristalin (Y-TZP), dental kullanım için çekirdek veya köprü altyapı malzemesi olarak tanıtılan yüksek dayanımlı bir seramiktir. Tam sinterlenmiş

zirkonya seramiklerin sert frezelenmesi mümkün olmakla birlikte, bu işlem malzemenin mikro yapısını ve dayanımını olumsuz etkileyebilir ve istenen altyapıyı oluşturmak için yoğun frezeleme gerektirir. Bu nedenle, kısmen sinterlenmiş zirkonya bloklarının CAD/CAM teknolojisiyle “yeşil durum” olarak adlandırılan aşamada yumuşak frezelenmesi tercih edilir(Conrad et al., 2007; Denry & Kelly, 2008; Guess et al., 2011). Bu ön sinterlenmiş, daha yumuşak malzemenin işlenmesi hem frezeleme süresini kısaltır hem de frezeleme araçlarının aşınmasını azaltır(Conrad et al., 2007). Ancak bu yöntemin dezavantajı, sonrasında yapılması gereken sinterleme işlemiyle gözenekliliğin giderilmesini gerektirmesidir. Bu durumda, sinterleme sırasında oluşacak %20 ila %25 oranındaki büzülme için kullanılan yazılım restorasyon tasarımında bu farkı telafi etmelidir(Conrad et al., 2007; Griggs, 2007).

Günümüzde dental altyapılar için yumuşak frezelemeye uygun zirkonya seramikler, üreticiye bağlı olarak 1350°C ila 1550°C arasında değişen sinterleme sıcaklıkları ve 2 ila 6 saat arasında değişen sinterleme süreleri gerektirir(Griggs, 2007).

Zirkonya seramikleri; yoğun, monokristalin homojenlik, düşük ısı iletkenliği, düşük korozyon potansiyeli, iyi radyopaklık, yüksek biyouyumluluk, düşük bakteri tutunması ve olumlu optik özellikler ile karakterizedir(Conrad et al., 2007; Denry & Kelly, 2008; Griggs, 2007; Guess et al., 2011). Yüksek dayanımlı alümina seramiklerle karşılaştırıldığında, zirkonya iki kat daha yüksek eğilme direncine sahiptir (900 MPa – 1200 MPa)(Giordano & McLaren, 2010;

Guess et al., 2011). Ancak, zirkonya seramiklerle ilgili bazı olası problemler arasında;

- suyla uzun süreli temas halinde yapısal bozulma riski,
- üzerine uygulanan porselenle uyumsuzluk,
- opaklık nedeniyle estetik sınırlamalar,
- reçine bazlı simanlarla yeterli bağlanma sağlanamaması gibi konular bulunmaktadır(Kelly & Benetti, 2011).

Önceki klinik raporlar, en yaygın problemin zirkonya altyapının çatlaması değil, üzerine uygulanan porselenin çatlaması veya parçalanması olduğunu göstermiştir(Conrad et al., 2007; Denry & Kelly, 2008; Giordano & McLaren, 2010; Kelly & Benetti, 2011). Bu başarısızlıklar bazen anatomik olmayan altyapı tasarımlarına veya zirkonya ile porselen arasındaki zayıf bağa bağlansa da, bazı araştırmalar malzemenin kendisine ait sorunlara da işaret eder. Bunlar arasında;

- ağız içi sıcaklıklarda düşük bozulma fenomeni,
- porselen pişirme sırasında otokatalitik faz dönüşümü,
- termomekanik parametrelerden kaynaklanan kalıntı gerilmeler sayılabilir(Kelly & Benetti, 2011).

Son çalışmalar, porselen pişirme işlemi sırasında hızlı soğutmanın zirkonya ve porselen arasında gerilim oluşturduğunu ve bunun da veneer seramiğin çatlama direncini düşürdüğünü göstermektedir. Bu nedenle yavaş soğutma protokolü önerilmekte ve final fırınlama ya da glaze işlemlerinden sonra soğutma hızının

azaltılması gerektiği vurgulanmaktadır(Giordano & McLaren, 2010; Guess et al., 2011; Kelly & Benetti, 2011).

Dental zirkonya, hem ön hem de arka bölgelerde, tekli veya çoklu birim köprü restorasyonlarında kullanılabilecek özelliklere sahiptir(Denry & Kelly, 2008; Giordano & McLaren, 2010; Griggs, 2007).

Hayatta Kalma ve Başarısızlık

Mevcut tüm seramik sistemlerin değişkenliği, çeşitli çalışmalardan elde edilen verileri birleştirirken zorluk teşkil etmektedir. Farklı seramik sistemleri farklı değerlendirme dönemleri arasında karşılaştırıldığında sağkalım oranları önemli ölçüde değişmektedir.

Inlay, onlay ve veneerlerde kullanılan cam seramik malzemelerinin klinik değerlendirmeleri, 5 yıl sonunda %93 ile %98 arasında, 10 yıl sonunda ise %64 ile %95 arasında hayatta kalma oranları göstermektedir(Arnellund et al., 2004; Beier et al., 2012; Fradeani et al., 2005; Santos et al., 2013; Sjögren et al., 2004). Yüksek başarı oranı, bu cam seramik sistemlerinin diş yapısına reçine bazlı simanlarla asidik etki yapılarak bağlanabilme kapasitesiyle ilişkilidir(Bona et al., 2002; Sjögren et al., 2004). Bazı çalışmalarda, makineyle işlenebilir ve preslenebilir sistemlerin, toz/sıvı geleneksel seramiklere kıyasla daha yüksek çatlama direncine sahip olduğu bildirilmişken, diğer bazı çalışmalarda her iki seramik sisteminin de benzer hayatta kalma oranlarına sahip olduğu belirtilmiştir(Arnellund et al., 2004; Santos et al., 2013).

Lösit takviyeli cam seramik IPS Empress kronları üzerine yapılan klinik raporlar, düşük genel çatlama oranları sunmuştur(Della Bona & Kelly, 2008; Felden et al., 2000; Fradeani & Redemagni, 2002; Heintze & Rousson, 2010). Ancak, anterior kronlar için istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek bir hayatta kalma oranı bildirilmiştir(Fradeani & Redemagni, 2002).

Cam infiltreli seramik kronlar, anterior ve posterior bölgelerde yerleştirildiğinde, In-Ceram Alumina ve Zirkonya için 5 yıl sonunda %91 ile %100 arasında yüksek hayatta kalma oranları göstermektedir(Wassermann et al., 2006). Bir başka çalışma, anterior dişler için 5 yıl sonunda %96.9, posterior dişler için ise %87.7 oranında bir birikimli hayatta kalma oranı bildirmiştir(Kokubo et al., 2011). Bu veriler, Procera AllCeram alümina kronlarıyla karşılaştırıldığında benzer olup, bu kronlar 6 yıl sonunda %90.9 ile %95.2 arasında, 10 yıl sonunda ise %93.5 hayatta kalma oranı göstermektedir(Ödman & Andersson, 2001; Sorrentino et al., 2012). In-Ceram sistemi üçlü ve dörtlü birim FDP'ler için kullanıldığında ise, 5 yıl sonunda hayatta kalma oranı %85 ile %96 arasında değişmektedir(Wassermann et al., 2006).

Lityum disilikat bazlı cam seramik restorasyonları da yüksek hayatta kalma oranları elde etmiştir. IPS Empress 2 kronları, 5 yıl sonunda %95 ile %100 arasında, 10 yıl sonunda ise %95.5 hayatta kalma oranı göstermektedir(Marquardt & Strub, 2006; Valenti & Valenti, 2009). Reich ve Schierz(Reich & Schierz, 2013), chairside (ağızda yapılan) e.max CAD kronları için 4.6 yıl sonunda %96.3

hayatta kalma oranı bildirmiştir. Bir başka çalışma, 5 yıl sonunda kronlar için %100 hayatta kalma oranı gösterirken, bu malzeme üçlü ve dörtlü FDP'lerde kullanıldığında hayatta kalma oranının %70'e düştüğünü belirtmiştir(Marquardt & Strub, 2006). En yaygın klinik başarısızlık nedeni, bağlayıcı çatlamasıyla ilişkilendirilmiştir(Kern et al., 2012; Marquardt & Strub, 2006; Reich & Schierz, 2013; Valenti & Valenti, 2009). Kern ve ark.(Kern et al., 2012), IPS e.max Press üçlü birim FDP'leri için 5 yıl sonunda %100, 10 yıl sonunda ise %87.9 hayatta kalma oranı bildirmiştir.

Zirkonya destekli kronlar ve üç, dört, beş üye köprü restorasyonlar, 5 yıl sonunda %73,9 ile %100 arasında hayatta kalma oranları göstermektedir(Burke et al., 2013; Molin & Karlsson, 2008; Sailer, Feher, et al., 2007). Zirkonya restorasyonları üzerine yapılan klinik değerlendirmelerde, zirkonya altyapısıyla ilgili herhangi bir sorun bildirilmemiştir. En yaygın klinik başarısızlık nedenleri, veneering (kaplama) porseleninin çatlaması ve kırılması ile ilgilidir(Burke et al., 2013; Guess et al., 2011; Molin & Karlsson, 2008; Rinke et al., 2013; Sailer, Feher, et al., 2007). Veneer çatlama oranları, tekli kronlar için 3 yıl sonunda %2 ile %9 arasında ve köprü restorasyonlar için 5 yıl sonunda %3 ile %36 arasında bildirilmiştir(Burke et al., 2013; Guess et al., 2011; Sailer, Feher, et al., 2007). Rinke ve ark.(Rinke et al., 2013), zirkonya köprü restorasyonların 7 yıl sonunda %83.4 genel hayatta kalma oranı bildirmiş ve başlıca başarısızlıkları porselenin kırılması ve yapışma problemleri olarak açıklamıştır.

Tam seramik sistemlerinin sabit dental protezler için kullanımı bazı sınırlamalara sahiptir. Doğru teşhis ve hasta seçimi, başarı için önemli faktörlerdir. Dikkat edilmesi gereken birkaç faktör vardır: azalmış interoklüzal mesafe, yatay örtüşme olmadan derin dikey örtüşme, kantileverler, periodontal problemler, şiddetli brüksizm ve parafonksiyonel aktiviteler gibi sınırlayıcı faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

Tam seramik materyalin seçimi, kullanım amacına bağlıdır ve diş hekimi, özellikle hazırlık yönergeleri konusunda dikkatli olmalı, oklüzal ayarları titizlikle yapmalı ve parafonksiyonel alışkanlıkların farkında olmalıdır.

SONUÇ

Isı ile presleme slip-cast ve CAD/CAM gibi yenilikçi üretim tekniklerinin kullanılmaya başlanmasıyla çeşitli seramik sistemlerin geliştirilmesi son kırk yıla damgasını vurmuştur. Sabit protezler için seramik malzemelerin kademeli olarak iyileştirilmesi eğilme dayanımı ve kırılma tokluğunu arttıran tamamen polikristal malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Polikristalin seramiklerin üretimi CAD/CAM teknolojisi ile seramik frezelemede özellikle kısmen sinterlenmiş seramiklerin yumuşak işleme ile işlenmesindeki son gelişmeler sayesinde mümkün olmuştur. CAD/CAM teknolojisinin konsolidasyonunun bir sonucu olarak feldspatik porselen bazlı seramik lösit takviyeli cam seramik, lityum-disilikat cam seramik, cam infiltre seramikler ve polikristalin alümina ve zirkonya dahil olmak üzere

CAD/CAM işleme için bloklar halinde farklı seramik sistemleri kullanılabilir hale gelmiştir.

KAYNAKÇA

- Andersson, M., & Odén, A. (1993). A new all-ceramic crown: a dense-sintered, high-purity alumina coping with porcelain. *Acta Odontologica Scandinavica*, 51(1), 59-64.
- Arnelund, C.-F., Johansson, A., Ericson, M., Häger, P., & Fyrberg, K. A. (2004). Five-year evaluation of two resin-retained ceramic systems: a retrospective study in a general practice setting. *International Journal of Prosthodontics*, 17(3).
- Beier, U. S., Kapferer, I., Burtscher, D., Giesinger, J. M., & Dumfahrt, H. (2012). Clinical performance of all-ceramic inlay and onlay restorations in posterior teeth. *Int J Prosthodont*, 25(4), 395-402.
- Bona, A. D., Anusavice, K. J., & Hood, J. A. (2002). Effect of ceramic surface treatment on tensile bond strength to a resin cement. *International Journal of Prosthodontics*, 15(3).
- Burke, F., Crisp, R., Cowan, A., Lamb, J., Thompson, O., & Tulloch, N. (2013). Five-year clinical evaluation of zirconia-based bridges in patients in UK general dental practices. *Journal of dentistry*, 41(11), 992-999.
- Cheung, K., & Darvell, B. (2002). Sintering of dental porcelain: effect of time and temperature on appearance and porosity. *Dental materials*, 18(2), 163-173.
- Conrad, H. J., Seong, W.-J., & Pesun, I. J. (2007). Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry*, 98(5), 389-404.

- Davidowitz, G., & Kotick, P. G. (2011). The use of CAD/CAM in dentistry. *Dental Clinics of North America*, 55(3), 559-ix.
- Della Bona, A., & Kelly, J. R. (2008). The clinical success of all-ceramic restorations. *The Journal of the American Dental Association*, 139, S8-S13.
- Denry, I., & Kelly, J. R. (2008). State of the art of zirconia for dental applications. *Dental materials*, 24(3), 299-307.
- Dong, J., Luthy, H., Wohlwend, A., & Schärer, P. (1992). Heat-pressed ceramics: technology and strength. *International Journal of Prosthodontics*, 5(1).
- Felden, A., Schmalz, G., & Hiller, K.-A. (2000). Retrospective clinical study and survival analysis on partial ceramic crowns: results up to 7 years. *Clinical oral investigations*, 4, 199-205.
- Fradeani, M., D'Amelio, M., Redemagni, M., & Corrado, M. (2005). Five-year follow-up with Procera all-ceramic crowns. *Quintessence International*, 36(2).
- Fradeani, M., & Redemagni, M. (2002). An 11-year clinical evaluation of leucite-reinforced glass-ceramic crowns: a retrospective study. *QUINTESSENCE INTERNATIONAL-ENGLISH EDITION*-, 33(7), 503-510.
- Giordano, R., & McLaren, E. A. (2010). Ceramics overview: classification by microstructure and processing methods. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* (15488578), 31(9).

- Griggs, J. A. (2007). Recent advances in materials for all-ceramic restorations. *Dental Clinics of North America*, 51(3), 713-727.
- Guazzato, M., Albakry, M., Swain, M. V., & Ironside, J. (2002). Mechanical properties of In-Ceram Alumina and In-Ceram Zirconia. *International Journal of Prosthodontics*, 15(4).
- Guess, P. C., Schultheis, S., Bonfante, E. A., Coelho, P. G., Ferencz, J. L., & Silva, N. R. (2011). All-ceramic systems: laboratory and clinical performance. *Dental Clinics*, 55(2), 333-352.
- Heintze, S. D., & Rousson, V. (2010). Fracture rates of IPS Empress all-ceramic crowns--a systematic review. *International Journal of Prosthodontics*, 23(2).
- Kelly, J. R., & Benetti, P. (2011). Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Australian dental journal*, 56, 84-96.
- Kern, M., Sasse, M., & Wolfart, S. (2012). Ten-year outcome of three-unit fixed dental prostheses made from monolithic lithium disilicate ceramic. *The Journal of the American Dental Association*, 143(3), 234-240.
- Kokubo, Y., Tsumita, M., Sakurai, S., Suzuki, Y., Tokiniwa, Y., & Fukushima, S. (2011). Five-year clinical evaluation of In-Ceram crowns fabricated using GN-I (CAD/CAM) system. *Journal of Oral Rehabilitation*, 38(8), 601-607.
- Mackert, J. R., & Evans, A. (1991). Effect of cooling rate on leucite volume fraction in dental porcelains. *Journal of Dental Research*, 70(2), 137-139.

- Marquardt, P., & Strub, J. R. (2006). Survival rates of IPS empress 2 all-ceramic crowns and fixed partial dentures: results of a 5-year prospective clinical study. *Quintessence International*, 37(4).
- McLean, J. W. (2001). Evolution of dental ceramics in the twentieth century. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 85(1), 61-66.
- Molin, M. K., & Karlsson, S. L. (2008). Five-Year Clinical Prospective Evaluation of Zirconia-Based Denzir 3-Unit FPDs. *International Journal of Prosthodontics*, 21(3).
- Oh, S.-C., Dong, J.-K., Lüthy, H., & Schärer, P. (2000). Strength and microstructure of IPS Empress 2 glass-ceramic after different treatments. *International Journal of Prosthodontics*, 13(6).
- Ödman, P., & Andersson, B. (2001). Procera AllCeram crowns followed for 5 to 10.5 years: a prospective clinical study. *International Journal of Prosthodontics*, 14(6).
- Özkurt, Z., & Kazazoğlu, E. (2010). Clinical success of zirconia in dental applications. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry*, 19(1), 64-68.
- Peutzfeldt, A. (2001). Indirect resin and ceramic systems. *Operative dentistry*, 26, 153-176.
- Pjetursson, B. E., Sailer, I., Zwahlen, M., & Hämmerle, C. H. (2007). A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal–ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: single crowns. *Clinical Oral Implants Research*, 18, 73-85.

- Pröbster, L., & Diehl, J. (1992). Slip-casting alumina ceramics for crown and bridge restorations. *Quintessence International*, 23(1).
- Reich, S., & Schierz, O. (2013). Chair-side generated posterior lithium disilicate crowns after 4 years. *Clinical oral investigations*, 17, 1765-1772.
- Rinke, S., Gersdorff, N., Lange, K., & Roediger, M. (2013). Prospective evaluation of zirconia posterior fixed partial dentures: 7-year clinical results. *International Journal of Prosthodontics*, 26(2).
- Rosenblum, M. A., & Schulman, A. (1997). A review of all-ceramic restorations. *The Journal of the American Dental Association*, 128(3), 297-307.
- Sailer, I., Feher, A., Filser, F., Gauckler, L. J., Luthy, H., & Hammerle, C. H. F. (2007). Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *International Journal of Prosthodontics*, 20(4), 383.
- Sailer, I., Pjetursson, B. E., Zwahlen, M., & Hämmerle, C. H. (2007). A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal–ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: fixed dental prostheses. *Clinical Oral Implants Research*, 18, 86-96.
- Santos Jr, G. C., Santos Jr, M., Rizkalla, A. S., Madani, D. A., & El-Mowafy, O. (2013). Overview of CEREC CAD/CAM chairside system. *General Dentistry*, 61(1), 36-40; quiz 41.

- Santos, M., Mondelli, R. F. L., Navarro, M., Francischone, C. E., Rubo, J. H., & Santos Jr, G. (2013). Clinical evaluation of ceramic inlays and onlays fabricated with two systems: five-year follow-up. *Operative dentistry*, 38(1), 3-11.
- Sjögren, G., Molin, M., & Van Dijken, J. W. (2004). A 10-year prospective evaluation of CAD/CAM-manufactured (Cerec) ceramic inlays cemented with a chemically cured or dual-cured resin composite. *International Journal of Prosthodontics*, 17(2).
- Sorrentino, R., Galasso, L., Tetè, S., De Simone, G., & Zarone, F. (2012). Clinical evaluation of 209 all-ceramic single crowns cemented on natural and implant-supported abutments with different luting agents: a 6-year retrospective study. *Clinical implant dentistry and related research*, 14(2), 184-197.
- Sulaiman, F., Chai, J., & Wozniak, W. T. (1997). A comparison of the marginal fit of In-Ceram, IPS Empress, and Procera crowns. *International Journal of Prosthodontics*, 10(5).
- Valenti, M., & Valenti, A. (2009). Retrospective survival analysis of 261 lithium disilicate crowns in a private general practice. *Quintessence International*, 40(7).
- Wassermann, A., Kaiser, M., & Strub, J. R. (2006). Clinical long-term results of VITA In-Ceram Classic crowns and fixed partial dentures: A systematic literature review. *International Journal of Prosthodontics*, 19(4).

GÜNCEL DİŞ HEKİMLİĞİ: BİLİM, SİSTEMLER VE KLİNİK YÖNELİMLER