

Editör

Doç. Dr. Neslihan YILMAZ ÇIRAKOĞLU

gece
kitaplığı

**Endodonti
Alanında
Uluslararası
Araştırmalar ve
Değerlendirmeler**

**Ekim
2025**

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı

Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2025

ISBN • 978-625-388-779-7

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Gece Kitaplığı / Gece Kitaplığı

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 0312 384 80 40

web: www.gecekitapligi.com

e-mail: gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 42488

ENDODONTİ
ALANINDA
ULUSLARARASI
ARAŞTIRMALAR VE
DEĞERLENDİRMELER

EDİTÖR

DOÇ. DR. NESLİHAN YILMAZ ÇIRAKOĞLU

CONTENTS

Bölüm 1

APIKAL PERİODONTİTİSİN PATOGENEZİ VE BİYOSERAMİK MATERYALLERİN PERİAPIKAL DOKU YANITI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

*Güzide ÇANKAYA, Abdurrahman Can ÖNALAN,
Eren ÇANKAYA, Hatice ERÖKSÜZ-1*

Bölüm 2

ENDODONTİK VE NON-ENDODONTİK PERİAPIKAL LEZYONLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Tolga MAVİGÖZ, Sadullah KAYA-29

Bölüm 3

ENDODONTİK TEDAVİ GÖRMÜŞ DİŞLERDE RESTORATİF YAKLAŞIMLAR

Şevval HAZAR, Sadullah KAYA, Merve YENİÇERİ ÖZATA-53

Bölüm 4

ENDODONTİDE MİKROBİLGİSAYARLI TOMOGRAFİNİN KULLANIM ALANLARI VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Ceren TURAN GÖKDUMAN, Esra ARILI ÖZTÜRK–75

Bölüm 1

APİKAL PERİODONTİTİSİN PATOGENEZİ VE BİYOSERAMİK MATERYALLERİN PERİAPİKAL DOKU YANITI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Güzide ÇANKAYA¹, Abdurrahman Can ÖNALAN²,

Eren ÇANKAYA³, Hatice ERÖKSÜZ⁴

1 Dr. Öğr. Üyesi, Bingöl Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Bingöl, TÜRKİYE, ORCID: 0000-0002-4699-6988

2 Dr. Öğr. Üyesi, Bingöl Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Bingöl, TÜRKİYE, ORCID: 0000-0002-6130-0088

3 Arş. Gör, Fırat Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Patoloji Anabilim Dalı, Elazığ, TÜRKİYE, ORCID: 0000-0003-3456-398X

4 Prof. Dr. Fırat Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Patoloji Anabilim Dalı, Elazığ, TÜRKİYE, ORCID: 0000-0002-8407-5792

1. GİRİŞ

Apikal periodontitis, dental pulpadaki inflamatuvar süreçlerin erken evrelerinden itibaren periapikal dokuları etkileyebilen ve hastalığın ilerlemesiyle birlikte pulpa nekrozu sonrasında daha belirgin hale gelen bir inflamatuvar hastalıktır. Bu süreçte kök kanal sisteminde yerleşen polimikrobiyal biyofilmler ile konak immün yanıtı arasındaki etkileşim, hastalığın patogeneğinde temel rol oynar (Graunaite et al., 2012; Nair, 2004; Siqueira & Rôças, 2007).

Enfekte kök kanallarında özellikle *Enterococcus faecalis*, *Fusobacterium nucleatum*, *Prevotella intermedia* ve *Porphyromonas endodontalis* gibi anaerobik mikroorganizmalar baskındır (Siqueira & Rôças, 2007). Bu mikroorganizmaların lipopolisakkarit (LPS), peptidoglikan ve proteaz gibi virülans faktörleri, Toll-like reseptör (TLR) aracılı sinyal yollarını aktive ederek NF- κ B ve NLRP3 inflammasomu üzerinden proinflamatuvar sitokin salınımını tetikler (Guo et al., 2024; Li et al., 2021). Bu süreç, TNF- α , IL-1 β ve IL-6 gibi mediyatörlerin artışıyla birlikte osteoklastik aktivasyonun uyarılmasına ve kemik rezorpsiyonunun başlamasına neden olur (Graunaite et al., 2012; Menezes et al., 2008).

Epidemiyolojik araştırmalar, apikal periodontitisin küresel ölçekte yaygın bir halk sağlığı sorunu olduğunu ortaya koymaktadır. Tibúrcio-Machado et al. (Tibúrcio-Machado et al., 2021), dünya genelinde endodontik tedavi görmüş dişlerin yaklaşık %39'unda radyografik olarak saptanabilir periapikal lezyonların persiste ettiğini bildirmiştir. Bu meta-analiz, yalnızca iki boyutlu periapikal radyografiler üzerinden yapılan değerlendirmeleri içermekte olup, CBCT tabanlı çalışmalar dahil edilmemiştir. Güncel bulgular, üç boyutlu görüntüleme tekniklerinin (CBCT) özellikle erken dönem ve kortikal kemik arkasında yer alan lezyonları çok daha yüksek duyarlılıkla tespit ettiğini göstermektedir (Petean et al., 2025; Wu et al., 2024). Dolayısıyla, apikal periodontitisin gerçek prevalansının konvansiyonel radyografik verilerden daha yüksek olduğu düşünülmektedir (Petean et al., 2025; Tibúrcio-Machado et al., 2021; Wu et al., 2024).

Apikal periodontitisin etiyopatogeneğinde yalnızca mikrobiyal enfeksiyon değil, aynı zamanda konak savunma mekanizmalarının düzensizliği ve persistan inflamasyon da belirleyici rol oynar (Graunaite et al., 2012; Menezes et al., 2008). Özellikle nötrofillerin oluşturduğu ekstrasellüler tuzak yapıları (NETs) ve makrofaj efferositozundaki bozukluklar, inflamasyonun çözülmesini engelleyerek lezyonun kronikleşmesine katkıda bulunur (Guo et al., 2024; Li et al., 2021). Ayrıca reaktif oksijen türleri (ROS) ve oksidatif stresin artışı, periapikal dokularda hücresel hasarı

ve doku yıkımını hızlandırır (Graunaite et al., 2012). Bu mekanizmalar, apikal periodontitisin yalnızca lokal bir enfeksiyon değil; konak immün yanıtı, hücrel ölüm ve rejenerasyon süreçlerinin etkileştiği kompleks bir immünopatolojik tablo olduğunu göstermektedir (Graunaite et al., 2012; Guo et al., 2024; Li et al., 2021; Menezes et al., 2008).

Kronik apikal lezyonların çözülmesinde immün regülasyonun önemi arttıkça, kullanılan endodontik dolgu materyallerinin de yalnızca sızdırmazlık sağlamakla kalmayıp biyolojik iyileşmeyi ve inflamasyon kontrolünü desteklemesi beklenmektedir (Camilleri, 2015; Mora et al., 2024). Bu doğrultuda geliştirilen biyoseramik esaslı materyaller, yüksek biyouyumlulukları, kalsiyum ve silikat iyonu salınımı, alkalik mikroçevre oluşturma kapasitesi ve rejeneratif yanıtı uyarma potansiyelleri sayesinde modern endodonti pratiğinde önemli bir yer kazanmıştır (Cervino et al., 2020; Mora et al., 2024; Wen et al., 2024).

Güncel çalışmalar, bu materyallerin fibroblastlar, periodontal ligament hücreleri ve makrofajlar üzerinde inflamatuvar yanıtı azalttığını, TNF- α , IL-1 β ve IL-6 ekspresyonunu baskıladığını, buna karşın RUNX2, osteokalsin (OCN) ve ALP gibi osteojenik genlerin ekspresyonunu artırdığını göstermektedir (López-García et al., 2019; Mora et al., 2024; Radwanski et al., 2024). Ayrıca M1/M2 makrofaj dengesini düzenleyerek inflamasyonun çözülmesini ve doku onarımını destekledikleri bildirilmektedir (Mora et al., 2024; Wen et al., 2024).

Bu kitap bölümü, apikal periodontitisin hücrel ve moleküler düzeydeki patogenezi, biyoseramik materyallerin immünomodülatör ve rejeneratif etkilerini ve histopatolojik ile görüntüleme temelli değerlendirme yöntemlerini güncel literatür ışığında kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Böylece, biyolojik temelli yaklaşımların endodontik tedavi başarısına katkısının vurgulanması ve gelecekteki klinik stratejiler için bilimsel bir zemin oluşturulması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Apikal periodontitis, Biyoseramik materyaller, inflamasyon, İmmün modülasyon, osteogenez

2. APİKAL PERİODONTİTİSİN PATOGENEZİ

Apikal periodontitisin patogenezi, mikrobiyal enfeksiyonun başlatıcı etkisi ile konak bağışıklık yanıtının dengesizleşmesi sonucunda şekillenen çok aşamalı bir süreçtir (Graunaite et al., 2012; Nair, 2004; Siqueira & Rôças, 2007). Pulpa dokusunun enfekte olmasıyla kök kanal sistemi, anaerob ve fakültatif anaerob bakterilerden oluşan karmaşık bir biyofilm ekosistemine dönüşür (Graunaite et al., 2012; Siqueira & Rôças, 2007). Bu mikroorganizmalar, virülans faktörleri aracılığıyla periapikal doku-

larda inflamatuvar yanıtı başlatır; doğuştan gelen bağışıklık hücrelerinin (nötrofiller, makrofajlar) aktivasyonu, adaptif immünite, sinyal yollarının düzenlenmesi, kemik rezorpsiyonu ve doku yıkımı ile sonuçlanan karmaşık bir olaylar zinciri gelişir (Graunaite et al., 2012; Menezes et al., 2008). Bu süreçte konak-mikrop etkileşiminin sürekliliği, periapikal dokularda granülom veya kist formasyonuna ilerleyen kronik inflamatuvar lezyonların gelişiminden sorumludur (Graunaite et al., 2012; Nair, 2004).

2.1. MİKROBİYAL EKOLOJİ VE ENFEKSİYONUN BAŞLANGICI

Apikal periodontitisin gelişiminde mikrobiyal ekosistem belirleyici bir role sahiptir. Pulpa nekrozu sonrasında kök kanal sistemi, anaerob ve fakültatif anaerob bakterilerin baskın olduğu karmaşık bir biyofilm ortamına dönüşür (Graunaite et al., 2012; Siqueira & Rôças, 2007). Bu biyofilmler, mikroorganizmalar arasındaki sinerjik ilişkiler ve metabolik dayanışma sayesinde, hem mekanik preparasyona hem de antimikrobiyal ajanlara karşı direnç geliştirir. Biyofilm içindeki mikrobiyal çeşitlilik, konak dokusuna farklı şekilde etki eden çok sayıda virülans faktörünün ortaya çıkmasına neden olur. Klinik ve moleküler analizlerde en sık izole edilen türler arasında *Enterococcus faecalis*, *Fusobacterium nucleatum*, *Prevotella intermedia*, *Porphyromonas endodontalis* ve *Streptococcus* türleri yer almaktadır (Ozdemir et al., 2024; Siqueira & Rôças, 2007). Bu mikroorganizmaların salgıladığı lipopolisakkarit (LPS), peptidoglikan ve lipoteikoik asit (LTA) gibi yapısal komponentler, konak hücrelerinde bulunan Toll-like reseptörler (TLR2, TLR4) aracılığıyla tanınır. Bu tanıma olayı, nükleer faktör kappa-B (NF- κ B) sinyal yolunu aktive eder ve IL-1 β , TNF- α , IL-6 gibi proinflamatuvar sitokinlerin salınımına yol açar (Guo et al., 2024; Li et al., 2021). Bu süreç, osteoklast farklılaşmasını uyarak alveoler kemik rezorpsiyonu ve periapikal doku yıkımı ile sonuçlanır (Nair, 2006).

Son dönem veriler, apikal periodontitisin yalnızca mikrobiyal invazyonla değil, aynı zamanda bakterilerin konak immün sistemini manipüle etme yetenekleriyle de şekillendiğini göstermektedir. Özellikle *E. faecalis*'in ürettiği ekstrasellüler veziküller (EV'ler), makrofajlar ve fibroblastlarda proinflamatuvar gen ekspresyonunu artırarak inflamasyonun kronikleşmesine katkıda bulunur (Ozdemir et al., 2024). Benzer şekilde, *E. faecalis* kaynaklı sinyallerin makrofaj necroptozunu uyardığı ve bu hücre ölüm yolunun tedaviye dirençli periapikal lezyonların oluşumuna aracılık ettiği bildirilmiştir (Dai et al., 2022). Bakteriye biyofilmin kronik inflamasyona dönüşmesinde, efferositoz ve nötrofil ekstrasellüler tuzakları (NET'ler) önemli patojenetik süreçler olarak tanımlanmıştır. Guan et al. (Guan et al., 2024), apoptotik hücrelerin temizlenmesinden sorumlu efferositoz mekanizmasının bozulmasının inflamasyonun çözülmesini

engellediğini ve periapikal dokularda persistan inflamasyonun devamını sağladığını bildirmiştir. Neto et al. (Guilherme Neto et al., 2023) ise apikal periodontitis dokularında biriken NET yapıların osteoklastik aktiviteyi artırarak kemik yıkımını hızlandırdığını ve lezyonun rezorptif karakterini güçlendirdiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, apikal periodontitisin mikrobiyal ekolojisi, yalnızca bakterilerin varlığıyla değil; biyofilm organizasyonu, virülans faktörlerinin etkileşimi, konak sinyalleşmesinin manipülasyonu ve hücresel temizlenme mekanizmalarının bozulması ile karakterizedir. Bu karmaşık mikrobiyal-konak etkileşimi, hastalığın persistan ve kronikleşen doğasının temel biyolojik temelini oluşturur (Graunaite et al., 2012; Nair, 2006).

2.2. DOĞUŞTAN GELEN BAĞIŞIKLIK VE İNFLAMATUVAR MEDİYATÖRLER

Apikal periodontitisin patogeneğinde doğuştan gelen bağışıklık sistemi ilk savunma hattını oluşturur. Mikroorganizmaların hücre duvar bileşenleri (LPS, LTA, peptidoglikan vb.), konak hücrelerinde bulunan Toll-like reseptörler (TLR2, TLR4) aracılığıyla tanınır (Li et al., 2021). Bu tanıma olayı, myeloid differentiation primary response 88 (MyD88) üzerinden NF- κ B ve MAPK sinyal yollarını aktive eder. Bu sinyaller sonucunda TNF- α , IL-1 β , IL-6 ve IL-8 gibi proinflamatuvar sitokinlerin ekspresyonu artar (Guo et al., 2024). Bu mediyatörler, vasküler permeabiliteyi artırarak immün hücrelerin enfekte bölgeye göçünü kolaylaştırır ve osteoklast öncüllerinin aktivasyonunu uyarır. İmmün hücrelerin bu bölgeye infiltrasyonu, inflamasyonun kontrolsüz ilerlemesi halinde doku yıkımına ve rezorptif süreçlerin başlamasına yol açar. Özellikle nötrofiller ve makrofajlar, enfekte dokuya erken dönemde ulaşarak reaktif oksijen türleri (ROS) ve lizozomal enzimler salgılar. Bu bileşenler patojenlerin yok edilmesinde etkili olsa da, aşırı ROS üretimi oksidatif stres aracılığıyla fibroblast ve osteoblast fonksiyonlarını baskılayarak doku hasarını derinleştirir (Hernández-Ríos et al., 2017; Shen & Silva, 2021). Makrofajlar, mikroorganizmalara karşı NOD-like reseptör (NLRP3) inflammasomu aracılığıyla da yanıt verir. NLRP3 kompleksinin aktive olmasıyla pro-kaspaz-1, aktif kaspaz-1'e dönüşür ve bu da IL-1 β ile IL-18'in olgunlaşmasını sağlar. Bu sitokinler, inflamatuvar yanıtın sürdürülmesinde ve osteoklast farklılaşmasının teşvik edilmesinde kritik rol oynar (Guo et al., 2024). Bu mekanizma, özellikle persistan apikal lezyonların patogeneğinde belirgindir; zira inflammasom aktivasyonu inflamasyonu çözmek yerine kendini sürdüren bir döngüye dönüştürebilir (Shen et al., 2023). İnflamatuvar mediyatörlerin aşırı üretimi, RANKL/OPG dengesinin bozulması yoluyla da kemik rezorpsiyonuna katkıda bulunur. RANKL (Receptor Activator of Nuclear Factor κ B Ligand), osteoklast progenitörlerinde bulunan RANK reseptörüne bağlanarak osteoklasto-

genез sürecini başlatır. Buna karşılık osteoprotegerin (OPG), RANKL'ye bağlanarak bu etkiyi nötrale eder. Apikal periodontitis lezyonlarında RANKL/OPG oranının artması, osteoklast aktivitesinin artışı ve alveoler kemik kaybı ile ilişkilendirilmiştir (Guo et al., 2024; Li et al., 2021).

Sonuç olarak, apikal periodontitisin erken fazında aktive olan doğuştan bağışıklık yanıtı, başlangıçta enfeksiyonun kontrol altına alınmasını amaçlarken, aşırı ve kronik uyarım durumunda periapikal doku yıkımına neden olur. Bu süreçte NF- κ B-NLRP3 inflammasom hattı ve RANKL/OPG dengesizliği, hastalığın ilerleyici ve yıkıcı karakterini belirleyen temel mekanizmalardır (Guo et al., 2024; Hernández-Ríos et al., 2017; Shen et al., 2023).

2.3. HÜCRESEL MEKANİZMALAR

Apikal periodontitisin ilerleyici doğası, yalnızca mikrobiyal varlığa değil, konak immün hücrelerinin periapikal dokulardaki davranışına da bağlıdır. Özellikle makrofajlar ve nötrofiller, inflamatuvar sürecin hem akut hem de kronik evrelerinde kilit rol oynar (Hernández-Ríos et al., 2017).

Makrofajlar, enfeksiyon bölgesine ulaştıktan sonra patojen tanıma reseptörleri (PRR) aracılığıyla mikroorganizmaları tanır ve sitokin, kemokin ve büyüme faktörleri salgılayarak inflamatuvar yanıtın düzenlenmesinde görev alır. M1 fenotipli makrofajlar, erken dönemde baskın olup IL-1 β , TNF- α ve IL-6 gibi proinflamatuvar sitokinleri salgılar; buna karşılık M2 fenotipli makrofajlar, inflamasyonun çözülmesi ve doku onarımında rol oynar. Ancak apikal periodontitisin kronikleşmesi durumunda bu denge bozulur; M1 aktivitesi uzun süre baskın kalır ve proinflamatuvar yanıt kalıcı hale gelir (Hernández-Ríos et al., 2017; Shen & Silva, 2021). Makrofajlar, inflamasyonun çözülme aşamasında efferositoz adı verilen süreçle apoptotik hücreleri temizleyerek doku homeostazının yeniden sağlanmasında görev yapar. Ancak Guan et al. (Guan et al., 2024), apikal periodontitis dokularında efferositozun belirgin şekilde azaldığını, bunun da persistan inflamasyonun sürmesine ve lezyonun kronik karakter kazanmasına neden olduğunu göstermiştir. Efferositozun bozulması, apoptotik hücre birikimi, makrofaj disfonksiyonu ve sitokin dengesizliği ile sonuçlanarak inflamasyonun çözülmesini engeller.

Apikal periodontitis dokularında inflamatuvar yanıtın önemli hücresel bileşenlerinden biri de nötrofillerdir. Bu hücreler, enfeksiyonun erken fazında mikroorganizmaları fagosite eder; ancak persistan stimülasyon durumunda nötrofil ekstrasellüler tuzakları (NETs) adı verilen yapıları oluştururlar. Neto et al. (Guilherme Neto et al., 2023), periapikal lezyonlarda aşırı NET birikiminin osteoklast aktivitesini artırdığını ve kemik

rezorpsiyonunu hızlandırdığını bildirmiştir. NET'ler DNA, histon ve granüler proteinlerden oluşan ağ benzeri yapılardır; patojenleri immobilize ederler ancak aynı zamanda çevre dokuda proteolitik hasar oluştururlar. Uzmanış NET oluşumu, osteoblast ve fibroblast aktivitesini baskılayarak rejeneratif süreci olumsuz etkiler (Shen et al., 2023).

Sonuç olarak, apikal periodontitisin hücresel düzeydeki ilerleyişinde makrofaj efferositozunun azalması ve NET birikiminin artması, inflamasyonun çözülmesini engelleyen iki temel mekanizmadır. Bu hücresel dengesizlik, osteoklastik kemik yıkımını artırır, rejeneratif süreçleri sınırlar ve lezyonun akut fazdan kronik inflamatuvar evreye geçişine zemin hazırlar (Guan et al., 2024; Guilherme Neto et al., 2023; Hernández-Ríos et al., 2017).

2.4. OKSİDATİF STRES VE İNFLAMMASOM AKTİVASYONU

Apikal periodontitisin patogeneğinde oksidatif stres, hem mikroorganizmalara karşı savunma hem de doku yıkımını tetikleyen çift yönlü bir mekanizma olarak görev yapar. Nötrofiller ve makrofajlar, patojenlerle karşılaştıklarında reaktif oksijen türleri (ROS) üretirler. ROS, kısa süreli olarak patojenlerin yok edilmesinde etkilidir; ancak kontrolsüz üretildiğinde lipid peroksidasyonu, protein oksidasyonu ve DNA hasarı aracılığıyla hücresel fonksiyonları bozar (Hernández-Ríos et al., 2017; Shen & Silva, 2021). Oksidatif stres, konak hücrelerinde NF- κ B ve MAPK yollarını aktive ederek proinflamatuvar gen ekspresyonunu artırır. Bu süreç, IL-1 β , TNF- α ve IL-6 gibi sitokinlerin salınımını güçlendirir ve inflamasyonun kendini besleyen bir döngüye dönüşmesine yol açar. Guo et al. (Guo et al., 2024), ROS birikiminin mitokondriyal disfonksiyonla ilişkili olduğunu ve bunun da inflamatuvar sinyallerin kalıcılığını artırdığını bildirmiştir. Böylece oksidatif stres, sadece hücresel hasarın bir sonucu değil, aynı zamanda inflamasyonun sürdürücü bir bileşeni haline gelir. ROS birikimi aynı zamanda NOD-like reseptör ailesi (NLRP3) inflammasomunun aktivasyonunu uyarır. Li et al. (Li et al., 2021), ROS artışının NLRP3 inflammasom kompleksinin oluşumunu tetiklediğini, bunun sonucunda pro-kaspaz-1'in aktif kaspaz-1'e dönüşerek IL-1 β ve IL-18 salınımını artırdığını belirtmiştir. Bu sitokinler, osteoklast aktivasyonunu destekleyerek kemik rezorpsiyonunu hızlandırır. Shen et al. (Shen et al., 2023) ise periapikal dokularda NLRP3 ve kaspaz-1 ekspresyonunun arttığını, bu artışın özellikle persistan lezyonlarda daha belirgin olduğunu göstermiştir.

Oksidatif stres ve inflammasom aktivasyonu arasındaki bu bağlantı, apikal periodontitisin kronikleşme mekanizmasının merkezinde yer alır. NF- κ B-NLRP3 ekseninin sürekli uyarımı, inflamatuvar mediyatörlerin aşırı üretimine, osteoklastogenezin artmasına ve doku rejenerasyonunun baskılanmasına neden olur. Ayrıca Shen & Silva (Shen & Silva, 2021), uzun

sürelî oksidatif stresin fibroblast proliferasyonunu azalttığını ve periapikal dokularda kolajen sentezini baskıladığını bildirmiştir. Bu durum, iyileşmenin gecikmesine ve lezyonun kronik fazda stabil hale gelmesine yol açar.

Sonuç olarak, apikal periodontitisin ilerleyen evrelerinde oksidatif stres yalnızca enfeksiyonun yan ürünü değil, aynı zamanda inflamasyonu sürdüren bir patojenetik mekanizmadır. ROS–NLRP3–IL-1 β ekseninin aşırı aktivasyonu, kemik rezorpsiyonu, doku dejenerasyonu ve persistan inflamasyon döngüsünü pekiştirerek hastalığın rezolüsyonunu engeller (Guo et al., 2024; Li et al., 2021; Shen et al., 2023).

2.5. MİKRORNA VE İMMÜN REGÜLASYON

Apikal periodontitisin moleküler düzeydeki düzenlenmesinde, mikroRNA'lar (miRNA) konak immün yanıtının ince ayarında kilit rol oynar. MiRNA'lar, küçük ve kodlamayan RNA dizileridir; hedef genlerin post-transkripsiyonel düzeyde baskılanmasını sağlayarak sitokin ekspresyonunu, sinyal iletim yollarını ve hücre farklılaşmasını düzenler. Bu mekanizma, inflamasyonun başlatılması kadar rezolüsyonun sağlanmasında da etkilidir (Hernández-Ríos et al., 2017). Apikal periodontitis lezyonlarında en çok çalışılan miRNA'lar arasında miR-155, miR-146a, miR-21 ve miR-223 yer almaktadır. Bu moleküller, özellikle NF- κ B, MAPK ve NLRP3 inflammasom yollarını hedef alarak inflamatuvar sürecin şiddetini düzenler (Shen et al., 2023). miR-155, NF- κ B sinyal yolunun önemli bir düzenleyicisidir; makrofajlarda ve dendritik hücrelerde proinflamatuvar sitokinlerin (IL-6, TNF- α , IL-1 β) ekspresyonunu artırır. Uzun süreli aktivasyonu, inflamasyonun çözülmesini geciktirir ve kronik lezyonların oluşumuna katkıda bulunur. Buna karşılık miR-146a, inflamasyonun negatif geri besleme kontrolünü sağlar. IRAK1 ve TRAF6 gibi sinyal moleküllerini baskılayarak NF- κ B aktivasyonunu sınırlar ve proinflamatuvar yanıtı azaltır (Guo et al., 2024). miR-21, makrofaj polarizasyonunu etkileyerek M1'den M2 fenotipine geçişi kolaylaştırır; bu da inflamasyonun çözülmesi ve doku onarımının başlaması için gereklidir.

Ayrıca Shen et al. (Shen et al., 2023), apikal periodontitis dokularında miR-223 ekspresyonunun arttığını, bu artışın NLRP3 inflammasom aktivasyonunun kontrol edilmesinde rol oynadığını bildirmiştir. MiR-223, kaspaz-1 ve IL-1 β üretimini sınırlayarak inflamatuvar yanıtın aşırılaşmasını engeller. Bu bulgular, miRNA'ların konak yanıtı üzerinde çift yönlü düzenleyici etkilere sahip olduğunu göstermektedir: bazıları inflamasyonu güçlendirirken, diğerleri antiinflamatuvar dengeyi destekler.

Sonuç olarak, apikal periodontitisin immün regülasyonunda miRNA'lar hücre içi sinyal yollarının dengeleyicileri olarak görev yapar.

miR-155 ve miR-146a arasındaki karşıt işlev dengesi, hastalığın akut veya kronik faza ilerlemesini belirleyebilir. Bu nedenle miRNA'ların hem biyobelirteç hem de terapötik hedef olarak değerlendirilmesi, apikal periodontitisin moleküler temelli tedavi stratejilerinde gelecek vaat eden bir yaklaşım sunmaktadır (Guo et al., 2024; Hernández-Ríos et al., 2017; Shen et al., 2023).

2.6. KRONİKLEŞME DİNAMİKLERİ

Apikal periodontitisin akut inflamatuvar evresi, genellikle mikroorganizmalara karşı doğuştan gelen bağışıklık sisteminin hızlı yanıtı ile başlar. Ancak bu yanıtın çözülmemesi durumunda, süreç persistan inflamasyona ve kronik doku hasarına evrilir. Kronikleşmenin temelinde, konak savunma mekanizmalarının denge kaybı ve doku tamir süreçlerinin yetersizliği yer alır (Graunaite et al., 2012; Hernández-Ríos et al., 2017).

Kronik apikal lezyonlarda genellikle düşük dereceli fakat uzun süreli antijenik uyarım sürer. Bu durum, makrofajların M1 fenotipinde kalmasına, proinflamatuvar sitokin üretiminin devam etmesine ve T lenfosit alt gruplarının (özellikle Th1 ve Th17) baskın hale gelmesine yol açar. Bu hücreler tarafından salgılanan IFN- γ ve IL-17, osteoklastogenez ve kemik rezorpsiyonunu teşvik eder (Guo et al., 2024). Buna karşılık regülatör T hücrelerinin (Treg) fonksiyonunun azalması, inflamasyonun çözülmesini engeller ve doku yıkımı-rejenerasyon dengesi bozulur (Shen et al., 2023). Moleküler düzeyde, NF- κ B ve NLRP3 inflammasomu gibi sinyal yollarının sürekli uyarılması, sitokin-kemokin döngüsünün kendini pekiştiren bir hale gelmesine neden olur. Bu döngü, periapikal dokularda osteoklast aktivitesini artırarak alveoler kemik kaybını hızlandırır (Li et al., 2021). Ayrıca efferositozun azalması, apoptotik hücrelerin uzaklaştırılmamasına ve nekrotik doku birikimine yol açar (Guan et al., 2024). Bu birikim, immün hücrelerin sürekli olarak yeniden aktive olmasına neden olur ve inflamasyonun çözülmesini daha da geciktirir. Histopatolojik olarak, kronik apikal lezyonlar fibroblast proliferasyonu, kollajen birikimi ve epitel proliferasyonu gibi onarım girişimleri gösterse de, bu süreç kalıcı antijen varlığı ve oksidatif stres nedeniyle tamamlanamaz (Hernández-Ríos et al., 2017; Nair, 2006). Bu nedenle, doku rejenerasyonu ile inflamasyon arasında dengesiz bir denge oluşur; rejeneratif sinyaller (örneğin TGF- β , VEGF) aktif olsa bile, inflamatuvar ortam bu sinyallerin etkinliğini sınırlar. Neto et al. (Guilherme Neto et al., 2023), kronik lezyonlarda biriken NET yapıların osteoklastik aktiviteyi artırarak kemik rezorpsiyonunu derinleştirdiğini belirtmiştir. Ayrıca miRNA düzeyindeki regülasyon bozuklukları da bu süreçte etkilidir; örneğin miR-155'in aşırı ekspresyonu inflamasyonu sürdürürken, miR-146a'nın

baskılanması antiinflamatuvar dengeyi zayıflatır (Shen et al., 2023).

Sonuç olarak, apikal periodontitisin kronikleşme süreci, immün yanıtın kontrolsüz aktivasyonu, efferositoz bozukluğu, oksidatif stresin devamı ve regülatör sinyallerin baskılanması ile karakterizedir. Bu dinamik, persistan inflamasyonun biyolojik temelini oluşturur ve periapikal dokularda rejeneratif potansiyelin sınırlanmasına neden olur (Graunaite et al., 2012; Guo et al., 2024; Hernández-Ríos et al., 2017).

3. HİSTOPATOLOJİK VE MOLEKÜLER DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Apikal periodontitisin biyolojik mekanizmalarının anlaşılması ve kullanılan materyallerin doku yanıtı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, hem klasik histopatolojik incelemeler hem de modern moleküler biyoloji teknikleri ile mümkündür. Günümüzde araştırmacılar, lezyonun yalnızca hücresel kompozisyonunu değil, aynı zamanda inflamatuvar sinyal yollarını, osteoklastogenez mekanizmalarını ve rejeneratif potansiyeli de ayrıntılı biçimde incelemektedir (Baek et al., 2005; Nair, 2004). Bu yaklaşımlar, apikal periodontitisin patogeneğinde rol alan mikrobiyal, immün ve doku düzeyindeki değişimlerin bütüncül olarak anlaşılmasına olanak sağlar. Klasik histopatolojik yöntemler, periapikal dokularda inflamasyonun yayılımını, hücre infiltrasyonunun derecesini ve kemik rezorpsiyonu gibi morfolojik değişiklikleri ortaya koyarken; modern moleküler teknikler, sitokin ekspresyonu, sinyal yolu aktivasyonu ve gen düzeyindeki yanıtların aydınlatılmasında önemli katkılar sağlamaktadır (Hernández-Ríos et al., 2017; Shen et al., 2023).

Bu bölümde, apikal periodontitisin histopatolojik ve moleküler düzeyde değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler sistematik biçimde ele alınacak; inflamasyonun hücresel ve biyokimyasal yönlerinin nesnel ve kantitatif olarak nasıl analiz edildiği açıklanacaktır.

3.1. HİSTOPATOLOJİK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Apikal periodontitisin değerlendirilmesinde histopatolojik inceleme, periapikal dokularda inflamasyonun yayılımı, hücresel infiltrasyonun tipi, kemik rezorpsiyonu ve rejeneratif yanıtların belirlenmesi açısından temel bir yöntemdir (Nair, 2004). Histopatolojik analiz, hem deneysel modellerde hem de insan dokularında hastalığın ilerleyişini ve uygulanan materyal veya tedavilerin doku yanıtını **objektif olarak ortaya koyar**. Doku örnekleri genellikle %10 nötral formalin ile fiks edilir, dehidrasyon ve parafin blok hazırlama aşamalarının ardından mikrotom ile 3–5 µm kalınlığında kesitler alınır. Bu kesitler klasik olarak hematoksilin-eozin (H&E) ile boyanır. H&E boyası, genel doku morfolojisini ve inflamatu-

var hücre dağılımını göstermek için altın standart yöntemdir (Baek et al., 2005). H&E'ye ek olarak, Masson's trichrome boyası kolajen liflerin ve fibröz doku yanıtının değerlendirilmesinde; PAS (Periodic Acid-Schiff) boyası ise glikoprotein içeriğini ve bazal membran bütünlüğünü belirlemede kullanılır. Bu özel boyalar, lezyonun fibrotik, granümatöz veya kistik yapısının karakterizasyonunu kolaylaştırır. Histolojik incelemede inflamatuvar yanıtın tipi ve şiddeti, genellikle lenfosit, plazma hücresi, makrofaj ve nötrofil infiltrasyonuna göre sınıflandırılır. Akut fazda polimorfonükleer hücreler (PMN) baskın iken, kronik lezyonlarda lenfosit ve plazma hücresi yoğunluğu artar (Graunaitė et al., 2012). Hücresel dağılım, inflamasyonun süresini ve rejenerasyon potansiyelini gösteren önemli bir göstergedir. Ayrıca osteoklastik aktivite, kemik trabeküllerinin rezorpsiyonu, osteoblastik yeniden yapılanma ve anjiyogenez gibi bulgular da ayrıntılı biçimde değerlendirilir.

Apikal periodontitis dokularında gözlenen temel histopatolojik paternler, periapikal granülom, radiküler kist ve sklerotik fibrozis gibi farklı morfolojik alt tipleri içerir (Nair, 2004). Granümatöz lezyonlarda, fibroblastik proliferasyonla birlikte epiteloid makrofajlar, dev hücreler ve damar açısından zengin granülasyon dokusu gözlenir. Kistik lezyonlarda ise epitel proliferasyonu belirgindir ve inflamatuvar hücre infiltrasyonu genellikle periferik alanlarda yoğunlaşır. Bu morfolojik farklılıklar, lezyonun aktivasyon durumunu ve tedaviye yanıt potansiyelini değerlendirmede önem taşır (Hernández-Ríos et al., 2017; Shen et al., 2023).

Histopatolojik değerlendirme, günümüzde dijital analiz yazılımları (ör. ImageJ, QuPath) kullanılarak yarı kantitatif veya kantitatif skorlamalar ile desteklenmektedir. Bu analizlerde, inflamatuvar hücre yüzdesi, fibröz doku oranı, rezorpsiyon alanı ve damar yoğunluğu gibi parametreler ölçülerek istatistiksel olarak değerlendirilmektedir. Böylece elde edilen veriler, hem tedavi grupları arasındaki farkların nesnel biçimde karşılaştırılmasını hem de histolojik bulguların moleküler düzeydeki sonuçlarla ilişkilendirilmesini sağlar.

3.2. İMMÜNOHİSTOKİMYASAL ANALİZ YÖNTEMLERİ

Apikal periodontitisin histopatolojik yapısı, inflamatuvar yanıtın hücresel bileşenlerini ortaya koymak açısından önemlidir; ancak hastalığın moleküler aktivite düzeyinin değerlendirilmesi için daha ileri tekniklere ihtiyaç vardır. Bu amaçla, immünohistokimyasal (İHK) analizler, belirli proteinlerin doku içindeki ekspresyonunu görsel olarak belirlemeye olanak sağlayan temel yöntemlerden biridir. İmmünohistokimya, doku kesitlerinde belirli antijenlerin antikor aracılı tanımlanmasına dayanır. Genellikle %10 formalinle fikse edilmiş, parafine gömülmüş

dokulardan alınan 3–5 µm kalınlığındaki kesitler kullanılır. Antijen sunumu, ısı ile indüklenen epitope retrieval (HIER) veya enzimatik yöntemlerle gerçekleştirilir. Ardından primer antikor (örneğin anti-TNF- α , anti-IL-1 β , anti-NF- κ B, anti-RANKL, anti-OPG) uygulanır ve ikincil antikorlarla işaretlenmiş enzim (peroksidaz veya alkalın fosfataz) sistemi ile reaksiyon oluşturulur. Renk gelişimi için genellikle DAB (3,3'-diaminobenzidin) kullanılır. Bu süreç sonunda antijen varlığı, mikroskop altında kahverengi immünreaktivite olarak gözlenir (Shen et al., 2023). Apikal lezyonlarda immünohistokimyasal olarak sıklıkla incelenen belirteçler arasında proinflatuvar sitokinler (IL-1 β , TNF- α , IL-6), kemik metabolizmasıyla ilişkili faktörler (RANKL, OPG) ve anjiyogenez belirteçleri (VEGF) yer almaktadır (Guo et al., 2024; Hernández-Ríos et al., 2017). Bu belirteçlerin doku içi ekspresyon düzeyi, lezyonun aktivasyon durumu ve rezorptif potansiyeli hakkında bilgi verir. Örneğin, RANKL ekspresyonundaki artış ve OPG düzeyindeki azalma, osteoklastik aktivitenin artışıyla ilişkilidir. Benzer şekilde, NF- κ B ve NLRP3 inflammasom komponentlerinin pozitif boyanması, inflamasyonun moleküler düzeyde devam ettiğini gösterir (Li et al., 2021). İmmünohistokimyasal bulguların değerlendirilmesinde hem yarı kantitatif skorlama sistemleri hem de dijital görüntü analizi yöntemleri kullanılmaktadır. Yarı kantitatif değerlendirmelerde genellikle pozitif boyanma yoğunluğu (0–3 arası skor) veya pozitif hücre yüzdesi (%0–100) üzerinden puanlama yapılır. Kantitatif analizlerde ise ImageJ gibi programlar kullanılarak pozitif alan yüzdesi (%), optik yoğunluk veya hücre başına sinyal yoğunluğu ölçülür. Bu analizler, farklı tedavi grupları veya zaman noktaları arasındaki protein ekspresyon değişikliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılmasına olanak sağlar (Shen et al., 2023). İmmünohistokimyasal analizler, yalnızca inflamatuvar sürecin belirteçlerini değil, aynı zamanda rejeneratif potansiyelin göstergelerini de değerlendirmek için kullanılmaktadır. VEGF ve TGF- β 1 gibi faktörlerin artan ekspresyonu, doku onarımı ve anjiyogenez süreçlerinin aktive olduğunu gösterir. Böylece İHK analizleri, apikal periodontitisin yıkım ve onarım fazlarını aynı anda izleme olanağı sağlar (Hernández-Ríos et al., 2017).

Sonuç olarak, immünohistokimyasal yöntemler, apikal periodontitisin moleküler patogenezi destekleyen doğrudan protein düzeyi kanıtları sunar. Bu teknikler, klasik histopatolojik bulguların ötesine geçerek hastalığın biyokimyasal aktivasyon durumunu ve immün yanıt profilini birlikte değerlendirme olanağı sağlar (Guo et al., 2024; Li et al., 2021; Shen et al., 2023).

3.3. MOLEKÜLER ANALİZ YÖNTEMLERİ

Apikal periodontitisin biyolojik mekanizmalarının derinlemesine an-

laşılabilmesi için, histolojik ve immünohistokimyasal değerlendirmelere ek olarak moleküler analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu teknikler, inflamasyonun hücresel düzeydeki etkilerini gen, RNA ve protein ekspresyon profilleri üzerinden inceleyerek, hastalığın biyokimyasal imzasını ortaya koyar.

Moleküler düzeyde en yaygın kullanılan tekniklerden biri real-time kantitatif polimeraz zincir reaksiyonu (RT-qPCR)'dır. Bu yöntem, hedef genlerin mRNA düzeyindeki ekspresyon miktarını kantitatif olarak belirler. Apikal periodontitis modellerinde sıklıkla IL-1 β , TNF- α , IL-6, RANKL, OPG, NF- κ B p65 ve NLRP3 genlerinin ekspresyonu incelenmektedir (Li et al., 2021; Shen et al., 2023). RNA izolasyonu genellikle Trizol® veya sütun bazlı kitlerle yapılır, ardından cDNA sentezi gerçekleştirilir ve gen ekspresyonu $2^{-\Delta\Delta Ct}$ yöntemi ile normalize edilerek değerlendirilir. Elde edilen veriler, inflamatuvar yanıtın şiddetini ve osteoklastik aktiviteye yönelik genetik eğilimi yansıtır.

Protein düzeyinde ise Western blot ve ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) yöntemleri kullanılmaktadır. Western blot, spesifik proteinlerin (örneğin NF- κ B p65, NLRP3, caspase-1, IL-1 β , IL-6) ekspresyon düzeyini tespit eder ve moleküler ağırlıklarına göre ayırarak yarı kantitatif değerlendirme sağlar. ELISA ise serum, hücre süpernatantı veya doku homojenatlarında sitokinlerin kantitatif ölçümü için kullanılır (Guo et al., 2024). Bu teknikler, apikal lezyonların immünolojik aktivitesini belirlemede güvenilir biyokimyasal göstergeler sunar. Son yıllarda, apikal periodontitisin post-transkripsiyonel regülasyon düzeyinde anlaşılması amacıyla mikroRNA (miRNA) analizleri önem kazanmıştır. miR-155, miR-146a, miR-21 ve miR-223 gibi immün regülatör miRNA'ların ekspresyon düzeyleri RT-qPCR tabanlı sistemlerle belirlenmektedir (Shen et al., 2023). Bu analizler, inflamasyonun çözülme veya kronikleşme sürecinde miRNA'ların dengeleyici rollerini ortaya koyar. Örneğin, miR-155'in artışı, NF- κ B aktivasyonunun sürmesine neden olurken, miR-146a'nın artışı inflamatuvar yanıtın baskılanmasına katkı sağlar.

Moleküler değerlendirmelerde Western blot ve qPCR verilerinin korelasyonu, inflamatuvar yanıtın farklı düzeylerde doğrulanması açısından önemlidir. Örneğin, gen düzeyinde saptanan NLRP3 ve caspase-1 artışı, protein düzeyinde de teyit edilirse inflammasom aktivasyonunun varlığı desteklenmiş olur (Li et al., 2021). Benzer şekilde, RANKL/OPG oranındaki değişim, hem mRNA hem protein düzeyinde incelenerek osteoklastik aktivitenin histolojik bulgularla korelasyonu kurulabilir (Hernández-Ríos et al., 2017).

Ayrıca, son yıllarda çoklu biyobelirteç analizi için Luminex® ve mul-

tiplex ELISA sistemleri de kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, birden fazla sitokinin (IL-1 β , IL-6, IL-8, TNF- α , TGF- β 1) aynı örnekten eş zamanlı olarak ölçülmesini sağlar. Böylece periapikal inflamasyonun immünolojik profili çok boyutlu olarak değerlendirilebilir (Graunaite et al., 2012).

Sonuç olarak, moleküler analiz yöntemleri apikal periodontitisin gen-protein etkileşimlerini anlamada vazgeçilmezdir. RT-qPCR, Western blot, ELISA ve miRNA analizleri, hastalığın progresyonu ile rejeneratif süreçler arasındaki biyolojik dengeyi açıklamada temel araçlar olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar, hem deneysel modellerde hem de klinik örneklerde moleküler patogenezin doğrulanmasına ve yeni tedavi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Guo et al., 2024; Li et al., 2021; Shen et al., 2023).

3.4. GÖRÜNTÜLEME VE KANTİTATİF ANALİZ TEKNİKLERİ

Apikal periodontitisin değerlendirilmesinde yalnızca histolojik ve moleküler yöntemler değil, aynı zamanda gelişmiş görüntüleme ve kantitatif analiz teknikleri de büyük önem taşımaktadır. Bu yöntemler, lezyonun morfolojik özelliklerinin üç boyutlu olarak incelenmesine, doku hacmi ve yoğunluğundaki değişimlerin nesnel biçimde ölçülmesine olanak sağlar. Günümüzde hem deneysel hayvan modellerinde hem de klinik örneklerde kullanılan bu teknikler, tedavi sonrası rejeneratif sürecin değerlendirilmesinde vazgeçilmez hale gelmiştir (Baek et al., 2005; Graunaite et al., 2012).

Mikro-Bilgisayarlı Tomografi (Micro-CT)

Micro-CT, apikal lezyonların üç boyutlu morfolojik ve yapısal özelliklerini yüksek çözünürlükle incelemeye olanak tanıyan non-destrüktif bir görüntüleme yöntemidir. Bu teknik, histolojik kesit almadan mineralize dokuların hacmini, rezorpsiyon alanlarını ve kemik yoğunluğunu sayısal olarak ölçmeyi mümkün kılar. Elde edilen görüntüler genellikle 0.5–1 μ m voksel çözünürlükte kaydedilir ve threshold tabanlı segmentasyon yöntemleriyle analiz edilir. Bu sayede lezyon hacmi (mm^3), kemik mineral yoğunluğu (BMD) ve rezorpsiyon yüzdesi (%) gibi parametreler kantitatif olarak belirlenir (Shen et al., 2023).

Micro-CT analizi, rejeneratif endodontik tedaviler veya deneysel inflamasyon modellerinde tedavi grupları arasındaki kemik iyileşme farklarını istatistiksel olarak karşılaştırma imkânı sunar. Örneğin, Baek ve ark. (Baek et al., 2005), MTA uygulamasını takiben yapılan apikal rezorpsiyon modellerinde osteogenez ve sementogenez oranlarının micro-CT analizleriyle anlamlı düzeyde arttığını göstermiştir. Böylece bu yöntem, hem morfolojik hem de fonksiyonel olarak doku rejenerasyonunu değer-

lendiren güvenilir bir araç olarak kabul edilir.

Histomorfometrik Analiz

Histomorfometri, mikroskopik görüntülerin dijitalleştirilmesi yoluyla doku bileşenlerinin kantitatif olarak ölçülmesi esasına dayanır. Bu analizde, histolojik kesitlerde belirli parametreler — rneğin inflamatuvar hücre yüzdesi, fibrozis alanı, osteoid matriks oranı veya vaskülarizasyon düzeyi — yazılım destekli olarak belirlenir.

ImageJ, QuPath ve Zen Blue gibi açık kaynaklı veya lisanslı programlar, renk eşikleme (“color thresholding”) veya alan ölçüm modülleri aracılığıyla yarı otomatik analiz yapılmasına olanak sağlar (Guo et al., 2024). Bu yöntem, araştırmalarda gözlemci bağımlılığını azaltır ve verilerin tekrarlanabilirliğini artırır.

Histomorfometrik analizler, özellikle immünohistokimyasal boyamalarda pozitif boyanma yüzdesi (%), optik yoğunluk (OD) veya reaktivite skoru gibi kantitatif parametrelerin hesaplanmasında kullanılır. Bu sayısal veriler, moleküler analiz sonuçları (r. RT-qPCR, Western blot) ile ilişkilendirilerek inflamasyonun biyolojik yönünün bütüncül biçimde yorumlanmasını sağlar (Hernndez-Ros et al., 2017).

Dijital Patoloji ve 3B (3 Boyutlu) Görselleştirme

Dijital patoloji sistemleri, yüksek znrlkl tarayıcılarla alınan doku kesitlerinin üç boyutlu yeniden yapılandırılması ve otomatik hücre tanıma algoritmaları ile analiz edilmesini sağlar. Bu yöntem, granülom ve kist duvar kalınlığı, epitel proliferasyonu veya kemik trabeklerinin yönelimi gibi morfolojik parametrelerin kantitatif olarak değerlendirilmesinde kullanılır.

Ayrıca 3B görselleştirme teknikleriyle histolojik kesitlerden elde edilen veriler, micro-CT sonuçlarıyla entegre edilerek doku rejenerasyonunun mekansal dağılımı detaylı biçimde analiz edilebilir (Graunaite et al., 2012).

İstatistiksel Değerlendirme ve Korelasyon Analizleri

Kantitatif verilerin analizinde genellikle tek yönlü ANOVA, Kruskal–Wallis veya Mann–Whitney U testleri kullanılır. Bu istatistiksel yaklaşımlar, gruplar arası farkların anlamlılığını belirlemenin yanı sıra histolojik ve moleküler bulgular arasındaki korelasyonu da incelemeye olanak verir. Örneğin, RANKL/OPG oranındaki artışın, micro-CT’de gözlenen kemik rezorpsiyonu ile paralellik göstermesi, osteoklastik aktivitenin moleküler düzeyde doğrulandığını gösterir (Guo et al., 2024; Shen et al., 2023).

3.5. KLİNİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALARDA YÖNTEM SEÇİMİ

Deneyssel hayvan modelleri, apikal periodontitisin patogenezi anlamak ve biyoseramik materyallerin biyolojik etkilerini değerlendirmek açısından vazgeçilmezdir. Bu modeller, inflamatuvar sürecin hücresel ve moleküler düzeyde kontrollü biçimde incelenmesine olanak tanır. En sık kullanılan hayvan modeli Sprague–Dawley sıçanlarıdır; bu modelde apikal lezyon gelişimi, histopatolojik değişiklikler ve immün yanıt dinamikleri yüksek benzerlik göstermektedir. Çoğu deneyssel çalışmada hem histopatolojik hem de moleküler analizler bir arada uygulanarak inflamasyonun, kemik rezorpsiyonunun ve rejeneratif yanıtın objektif değerlendirilmesi sağlanır (Petean et al., 2025; Wu et al., 2024).

Klinik araştırmalarda ise konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) ile radyografik takip yapılmakta; lezyon hacmi, kortikal bütünlük ve iyileşme oranları üç boyutlu olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca serum ve doku örneklerinde sitokin düzeyleri (IL-1 β , TNF- α , IL-6) ölçülerek inflamatuvar aktivite izlenmekte, bazı olgularda ise biyopsi örnekleriyle histopatolojik doğrulama gerçekleştirilmektedir (Wu et al., 2024).

Bu bütüncül yaklaşım, biyoseramik materyallerin yalnızca mekanik sızdırmazlık sağlayan dolgu materyalleri değil, aynı zamanda rejeneratif süreçleri yönlendiren biyolojik aktif bileşenler olduğunu ortaya koymaktadır. Deneyssel ve klinik düzeyde elde edilen bulgular, bu materyallerin inflamasyonun çözülmesi, osteogenez ve sementogenez süreçlerini desteklediğini göstermektedir (Dong & Xu, 2023).

Görüntüleme ve kantitatif analiz teknikleriyle desteklenen bu deneyssel ve klinik bulgular, apikal periodontitisin yalnızca patolojik bir süreç olmadığını; aynı zamanda biyomateriyal etkileşimiyle şekillenen dinamik bir iyileşme modeli olduğunu ortaya koymuştur. Histopatolojik, moleküler ve üç boyutlu görüntüleme verilerinden elde edilen kanıtlar, endodontik tedavide kullanılan materyallerin periapikal doku yanıtının kalitesini doğrudan etkilediğini göstermektedir. Bu kapsamda, biyoseramik esaslı materyaller yüksek biyouyumlulukları, kalsiyum silikat içeriği, hidroksiapatit oluşumunu teşvik eden yapıları ve rejeneratif mikroçevre oluşturma potansiyelleriyle ön plana çıkmıştır.

Bir sonraki bölümde bu materyallerin kimyasal bileşimi, biyolojik davranışları ve apikal periodontitis patolojisi üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenecektir.

4. BİYOSERAMİK MATERYALLER VE APİKAL PERİODONTİTİS PATOLOJİSİ

Son on yılda endodontik tedavide kullanılan biyoseramik materyaller, yalnızca kök kanal dolgusunun sızdırmazlığını sağlamakla kalmamış; aynı zamanda periapikal dokularda iyileşme ve rejeneratif süreçleri destekleme potansiyeli nedeniyle önemli bir paradigma değişikliği yaratmıştır (Camilleri, 2015). Bu materyaller, özellikle kalsiyum silikat bazlı yapıları sayesinde yüksek biyouyumluluk, hidroksiapatit oluşumu, alkalın ortam sağlama ve osteojenik hücreleri uyarma gibi biyolojik avantajlar sunmaktadır. Bu özellikler, apikal periodontitisin temel patogenezinde rol alan inflamasyon, kemik rezorpsiyonu ve rejenerasyon süreçlerine doğrudan etki edebilmektedir (Mahajan et al., 2023).

4.1. Biyoseramik Materyallerin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Biyoseramik materyaller esas olarak kalsiyum silikat, kalsiyum alüminat ve zirkonyum oksit içerir. Sertleşme sırasında kalsiyum hidroksit salarak alkalın bir pH (~12) oluştururlar; bu yüksek pH değeri, kök kanal sisteminde kalan bakterilerin çoğuna karşı bakterisidal etki gösterir ve endotoksinlerin biyolojik aktivitesini azaltır (Camilleri, 2015). Ayrıca kalsiyum iyonu salınımı, dentin yüzeyinde hidroksiapatit kristallerinin oluşumunu tetikler ve dentin ile kimyasal bağlanmayı güçlendirir (Baek et al., 2005; Vaiani et al., 2023). Mineral Trioksit Agregat (MTA), klinikte kullanılan ilk biyoseramik materyaldir. Ancak uzun sertleşme süresi ve renk değişimi gibi dezavantajlar yeni formülasyonların geliştirilmesini teşvik etmiştir.

Biodentine, sertleşme süresi kısaltılmış ve mekanik dayanıklılığı artırılmış ikinci nesil materyal olarak öne çıkarken; TotalFill BC Sealer ve EndoSequence BC Sealer, yüksek akışkanlıkları ve dentin tübüllerine penetrasyon kabiliyetleri ile dikkat çekmektedir. BioRoot RCS, düşük çözünürlük ve yüksek biyolojik aktivitesi nedeniyle son yıllarda yoğun olarak araştırılmaktadır (Cervino et al., 2020).

4.2. Biyouyumluluk ve Hücresel Yanıt

Biyoseramik materyallerin biyouyumluluğu, epoksi reçine veya çinko oksit-eugenol esaslı sealer'lara kıyasla belirgin şekilde yüksektir. Hücre kültürü çalışmalarında MTA ve Biodentine'in, fibroblast, periodontal ligament hücresi (hPDLSC) ve osteoblast benzeri hücrelerde düşük sitotoksositeye sahip olduğu; hücre canlılığını, proliferasyonu ve mineralizasyonu desteklediği bildirilmiştir (Cervino et al., 2020). TotalFill BC Sealer, periodontal ligament kök hücrelerinde RUNX2 ve osteokalsin (OCN) ekspresyonunu artırarak osteojenik farklılaşmayı teşvik etmek-

tedir (Mora et al., 2024).

Radwanski ve ark. (Radwanski et al., 2024), TotalFill BC ve BioRoot RCS'nin fibroblastlarda düşük sitotoksikite gösterdiğini ve genotoksik etki oluşturmadığını rapor etmiştir. Bu bulgu, biyoseramiklerin hücre proliferasyonu, doku bütünlüğü ve iyileşme sürecini destekleyici potansiyelini vurgulamaktadır.

4.3. İmmün Modülasyon ve İnflamasyonun Kontrolü

Apikal periodontitisin patogeneğinde en önemli mekanizmalardan biri kronik inflamasyonun devamlılığıdır. Geleneksel materyaller çevre dokularda inflamatuvar yanıtı artırabilirken, biyoseramikler bu süreci modüle etme potansiyeline sahiptir.

MTA ve Biodentine'in, makrofaj polarizasyonunu M1'den M2 fenotipine kaydırarak doku onarımını desteklediği; TNF- α , IL-1 β ve IL-6 gibi proinflamatuvar sitokinlerin ekspresyonunu azalttığı, buna karşın antiinflamatuvar mediyatörleri artırdığı gösterilmiştir (Mora et al., 2024; Wen et al., 2024). López-García ve ark. (López-García et al., 2019), BioRoot RCS'nin periodontal ligament hücrelerinde IL-6 ve TNF- α düzeylerini baskıladığını, aynı zamanda VEGF ve anjiyogenez belirteçlerini artırarak iyileşme sürecine katkı sağladığını bildirmiştir. Bu özellik, özellikle peristan apikal periodontitis lezyonlarında kronik inflamasyonun çözülmesi için biyoseramikleri avantajlı kılmaktadır.

4.4. Rejeneratif Potansiyel ve Kemik Doku Yanıtı

Biyoseramiklerin en önemli biyolojik etkilerinden biri rejeneratif süreçleri destekleyebilme kapasiteleridir. Sertleşme sonrası yüzeyde oluşan hidroksiapatit tabakası, sementoblastların ve osteoblastların tutunmasını kolaylaştırarak yeni sement ve kemik oluşumunu teşvik eder (Baek et al., 2005). Hayvan modellerinde, MTA ve Biodentine ile tedavi edilen periapikal bölgelerde osteoblast aktivitesi, düzenli trabeküler yapı ve yeni sement formasyonu gözlenmiştir. Micro-CT analizleri, bu materyallerin periapikal kemik yoğunluğunu anlamlı düzeyde artırdığını göstermektedir (Mora et al., 2024). Bani-Younes ve ark. (Bani-Younes et al., 2025) ise biyoseramik sealer kullanılan klinik olgularda, radyografik olarak iyileşme oranlarının daha yüksek ve postoperatif ağrı insidansının daha düşük olduğunu bildirmiştir.

4.5. Klinik Çalışmalar ve Tedavi Başarısı

Klinik veriler, biyoseramik materyallerin endodontik tedavi sonrası periapikal iyileşmede belirgin biyolojik avantaj sağladığını göstermektedir. Bani-Younes ve ark. (Bani-Younes et al., 2025), biyoseramik seal-

er kullanılan dişlerde dört yıllık takipte periapikal iyileşme oranlarının epoksi bazlı sealer grubuna göre anlamlı derecede yüksek olduğunu rapor etmiştir. Mora ve ark. (Mora et al., 2024), TotalFill BC ve BioRoot RCS'nin inflamatuvar yanıtı azalttığını ve rejeneratif süreçleri hızlandığını vurgulamıştır. López-García ve ark. (López-García et al., 2019) ise, biyoseramiklerin persistan lezyonlarda bile inflamasyonu baskılayabildiğini ve CBCT analizlerinde lezyon hacminin daha hızlı azaldığını göstermiştir.

Bu bulgular, biyoseramiklerin yalnızca dolgu materyali değil, aynı zamanda immün modülatör ve rejeneratif ajanlar olarak da klinik değere sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

4.6. Gelecek Perspektifler

Biyoseramik materyallerin gelecekteki gelişim alanları, yalnızca pasif dolgu ve sızdırmazlık sağlamakla sınırlı kalmayıp, biyolojik olarak aktif terapötik ajanlar geliştirilmesine odaklanmaktadır (Montoya et al., 2021). Bu kapsamda:

Kontrollü antibakteriyel ajan salan biyoseramikler: Gümüş nanopartiküller, klorheksidin veya doğal antimikrobiyaller (ör. propolis, flavonoidler) ile persistent enfeksiyonların önlenmesi amaçlanmaktadır.

Büyüme faktörleri ile zenginleştirilmiş biyoseramikler: BMP-2, VEGF veya TGF- β gibi faktörlerin salınımı sementogenez ve osteogenez süreçlerini destekler (Camilleri, 2015).

İmmün modülasyon hedefli tasarımlar: NLRP3 inflammasomu, NF- κ B ve RANKL/OPG eksenini hedefleyen ilaç yüklü biyoseramikler geliştirilerek kronik inflamasyon baskılanabilir (Guo et al., 2024; Li et al., 2021).

3B baskı teknolojisi ile kişiselleştirilmiş biyoseramik implantlar: Kök rezeksiyonu sonrası defektlerin bireysel anatomilere göre doldurulmasına olanak sağlar.

Biyoaktif yüzey modifikasyonları: Sementoblast ve osteoblast tutunmasını artıracak nano-yapılı yüzeyler veya peptid kaplamaları ile biyoseramiklerin rejeneratif etkisi güçlendirilebilir.

Klinik açıdan, CBCT ve micro-CT gibi ileri görüntüleme yöntemleriyle biyoseramik materyallerin doku iyileşmesine katkısı kantitatif olarak izlenmektedir. Ayrıca rejeneratif endodontik prosedürlerle kombine biyoseramik kullanımı üzerine yapılan çalışmalar, gelecekte bu materyallerin aktif biyolojik tedavi ajanı olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Nakayama et al., 2025; Wei et al., 2022).

5. KLİNİK UYGULAMALAR VE GELECEK ARAŞTIRMA ALANLARI

Biyoseramik materyallerin endodontide klinik kullanımı son yıllarda dikkat çekici biçimde artmıştır. Bu materyaller, yüksek biyouyumluluk, antimikrobiyal etki ve rejeneratif potansiyel gibi üstün biyolojik özellikleri sayesinde, apikal periodontitis tedavisinde hem konvansiyonel kök kanal tedavisinde hem de cerrahi ve rejeneratif endodontik uygulamalarda önemli avantajlar sağlamaktadır (Bani-Younes et al., 2025; Mora et al., 2024).

Son dönem literatürü, biyoseramiklerin yalnızca mekanik sızdırmazlık sağlayan materyaller değil; aynı zamanda konak immün yanıtını düzenleyebilen, rejenerasyonu hızlandıran biyolojik aktif ajanlar olarak da değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur.

Bu bölümde biyoseramik materyallerin klinik kullanımı, cerrahi endodontik uygulamalardaki rolleri, rejeneratif endodontik prosedürlerdeki potansiyeli, hasta temelli değişkenlerin tedavi başarısına etkisi ve geleceğe yönelik araştırma alanları **ayrıntılı biçimde ele alınacaktır.**

5.1. KÖK KANAL TEDAVİSİNDE BİYOSERAMİK SEALER KULLANIMI

Primer kök kanal tedavisinde biyoseramik sealer'lar, özellikle tek kon tekniği ve sıcak vertikal kondensasyon yöntemleriyle birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyoseramikler, dentin tübüllerine derin penetrasyon yeteneği ve hidroksiapatit tabakasıyla kimyasal bağ oluşturma kapasitesi sayesinde apikal sızıntıyı minimize eder, uzun dönemli sızdırmazlığı artırır ve kök kanal sisteminde kalıcı biyostabilite sağlar (López-García et al., 2019). Ayrıca yüksek pH ve kalsiyum iyonu salınımı yoluyla rezidüel mikroorganizmalar üzerinde antimikrobiyal etki gösterir, endotoksinlerin biyolojik aktivitesini azaltır ve rejeneratif iyileşme için uygun mikroçevre oluşturur (Camilleri, 2015). Klinik prospektif çalışmalarda TotalFill BC Sealer ve BioRoot RCS kullanılan olgularda radyografik iyileşme oranlarının %90'ın üzerinde olduğu; epoksi bazlı sealer'lara kıyasla postoperatif ağrı insidansının anlamlı derecede düşük olduğu rapor edilmiştir (Bani-Younes et al., 2025). Ayrıca persistent apikal periodontitis olgularında dahi biyoseramiklerin inflamatuvar mikroçevreyi modüle ederek CBCT görüntülerinde lezyon hacmini belirgin biçimde azalttığı bildirilmiştir (López-García et al., 2019). Biyoseramik sealer'ların hidrofobik olmaması, kanal içi nemden etkilenmeden sertleşebilmesi ve yüksek radyoopasiteye sahip olması, klinik manipülasyonu kolaylaştırmakta ve operatör güvenliğini artırmaktadır (Camilleri, 2015).

5.2. CERRAHİ ENDODONTİK GİRİŞİMLERDE BİYOSERAMİKLER

Apikal rezeksiyon ve retrograd dolgu işlemlerinde uzun yıllar boyunca MTA altın standart materyal olarak kabul edilmiştir. Ancak uzun sertleşme süresi, manipülasyon zorluğu ve renk değişimi gibi dezavantajlar, yeni nesil biyoseramik puttillerin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Biodentine ve EndoSequence Root Repair Material, yüksek biyolojik aktivite, hızlı sertleşme ve kolay uygulama avantajlarıyla öne çıkmaktadır (Camilleri, 2015). Histolojik çalışmalar, MTA ile yapılan rezeksiyonlarda minimal inflamasyon, yeni sement oluşumu ve artmış osteoblast aktivitesi gösterirken; Biodentine ve benzeri modern biyoseramiklerin de sementogenez ve osteogenez süreçlerini desteklediğini ortaya koymuştur (López-García et al., 2019; Marković et al., 2023). Klinik takip çalışmaları, biyoseramik retrograd materyallerin uzun dönem cerrahi başarı oranlarını %90'ın üzerinde bildirmektedir (Abusrewil et al., 2018).

5.3. REJENERATİF ENDODONTİK YAKLAŞIMLARDA KULLANIM

Rejeneratif endodontik prosedürlerde biyoseramikler, özellikle apikal bariyer oluşturma ve pulpa-dentin kompleksinin yeniden yapılandırılmasına yardımcı biyoplatform olarak kullanılmaktadır.

TotalFill BC ve Biodentine, kök kanal rejenerasyonunda biyouyumlu apikal tıkaç materyali olarak tercih edilmekte; bu sayede kök gelişimi desteklenmekte ve biyolojik kapatma sağlanmaktadır (Llena et al., 2022; Mora et al., 2024). Bu materyallerin yüksek kalsiyum salınımı, kök hücre göçünü ve farklılaşmasını teşvik ederken, dentin duvarlarında mineralizasyonu artırmaktadır. Son yıllarda büyüme faktörleri (BMP-2, VEGF) ve kök hücre temelli tedavilerle kombine biyoseramik materyaller geliştirilmiştir; bu yaklaşımlar, kök kanal rejenerasyonunun biyolojik başarısını artırmayı hedeflemektedir (Camilleri, 2015). Bununla birlikte, bu kombinasyonlar hâlen deneysel düzeydedir ve klinik geçerlilik kazanması için geniş ölçekli prospektif çalışmalara ihtiyaç vardır.

5.4. HASTA TEMELLİ DEĞİŞKENLERİN TEDAVİ BAŞARISINA ETKİSİ

Biyoseramik materyallerin başarısı yalnızca materyalin özelliklerine değil, hastaya ait sistemik ve lokal faktörlere de bağlıdır. Diabetes mellitus, bağışıklık yetmezliği, ileri yaş ve sigara kullanımı gibi durumlar periapikal iyileşmeyi olumsuz etkileyebilir (Holland et al., 2017). Bu olgular da biyoseramiklerin yüksek biyouyumluluk ve inflamasyon baskılayıcı nitelikleri avantaj sağlasa da, optimal rejeneratif yanıt için sistemik du-

rumun stabilize edilmesi kritik önemdedir. Lokal faktörler arasında kök kanal anatomisinin karmaşıklığı, yan kanallar ve tedavi sırasında yetersiz dezenfeksiyon olasılığı öne çıkar. Bu nedenle biyoseramiklerin etkinliğini artırmak amacıyla gelişmiş irrigasyon ve aktivasyon protokollerinin uygulanması önerilmektedir (Holland et al., 2017). Böylece rezidüel biyofilm yükü azaltılarak biyoseramiklerin kimyasal bağlanma ve rejeneratif mikroçevre oluşturma potansiyeli desteklenir.

5.5. GÖRÜNTÜLEME VE TAKİPTE YENİ YAKLAŞIMLAR

CBCT ve micro-CT, biyoseramiklerin periapikal iyileşmeye katkısını kantitatif olarak değerlendirmede yaygınlaşmaktadır. CBCT, tedavi öncesi ve sonrası lezyon hacmi ve kemik yoğunluğunu karşılaştırmaya olanak tanır. Bani-Younes ve ark. (Baek et al., 2005), biyoseramik sealer kullanılan olgularda CBCT ile 12 ve 24 aylık takiplerde lezyon hacminde belirgin azalma saptandığını bildirmiştir. Deneysel modellerde kullanılan micro-CT; kemik trabekül yapısı, mineral yoğunluğu ve rezorpsiyon alanları gibi parametreleri yüksek doğrulukla ölçerek biyoseramik materyallerin rejeneratif etkisini kantitatif olarak doğrular (Baek et al., 2005). Bu sayede laboratuvar bulguları ile klinik sonuçlar arasında güçlü bir bağlantı kurulabilmektedir (Baek et al., 2005; Bani-Younes et al., 2025).

5.6. GELECEK ARAŞTIRMA ALANLARI

Gelecek çalışmaların odağı, biyoseramiklerin mekanik sızdırmazlığın ötesine geçerek aktif biyolojik ajanlar hâline gelmesidir. Akıllı biyomateriyaller: Gümüş nanopartiküller, antimikrobiyal peptidler ve doğal biyolojik ajanların (propolis, flavonoidler) biyoseramiklere entegre edilmesi; persistan enfeksiyonların önlenmesine yönelik umut vaat etmektedir (Camilleri, 2015). İmmün modülasyon: NLRP3 inflammasomu, NF- κ B ve RANKL/OPG eksenlerini hedefleyen ilaç yüklü biyoseramikler ile kronik inflamatuvar mikroçevrenin kontrolü amaçlanmaktadır (Guo et al., 2024; Li et al., 2021).

Büyüme faktörleri ve kök hücre destekli yaklaşımlar: BMP-2, VEGF, TGF- β ile zenginleştirilmiş biyoseramikler; pulpa kök hücrelerinin migrasyon ve farklılaşmasını uyarak gerçek doku rejenerasyonunu hızlandırabilir (Camilleri, 2015).

3B baskı teknolojisi: Hasta anatomisine uygun, kişiselleştirilmiş biyoseramik implant/dolgu materyalleri ile apikal cerrahi sonrası kemik defektlerinin onarımında yeni olanaklar (Nakayama et al., 2025; Wei et al., 2022).

Uzun dönem klinik kohortlar: Kısa-orta vadeli başarı oranları

güçlüdür; ancak 5–10 yıllık takip verilerine ve farklı sistemik durum gruplarına ihtiyaç devam etmektedir (Bani-Younes et al., 2025). Bu doğrultuda biyoseramikler, yalnızca pasif dolgu değil; immün yanıtı düzenleyen, rejenerasyonu destekleyen ve antimikrobiyal etki sağlayan aktif terapötik ajanlar olarak klinik pratikte daha geniş yer bulacaktır.

6. SONUÇ VE GENEL DEĞERLENDİRME

Apikal periodontitis, pulpa nekrozu sonrası kök kanal sistemi içerisinde yerleşen polimikrobiyal biyofilmler ve konak immün yanıtı arasındaki karmaşık etkileşim sonucunda gelişen; kronik inflamasyon ve kemik rezorpsiyonu ile karakterize bir hastalıktır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, bu patolojinin yalnızca lokal bir enfeksiyon süreci olmadığını, aynı zamanda doğuştan gelen bağışıklık, adaptif immün yanıt ve kemik metabolizması gibi sistemik mekanizmaları da içerdiğini ortaya koymuştur (Graunaitė et al., 2012; Nair, 2004). Patogeneizde TLR4/NF- κ B, NLRP3 inflammasomu ve RANKL/OPG sinyal yollarının; ayrıca Th17 hücreleri ve proinflamatuvar sitokinlerin hastalığın kronikleşmesinde temel rol oynadığı belirlenmiştir (Li et al., 2021; Menezes et al., 2008). Bu moleküler mekanizmaların anlaşılması, apikal periodontitis tedavisinde biyolojik hedefli materyal ve stratejilerin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Modern histopatolojik ve moleküler tekniklerin kullanımı, bu süreçlerin detaylı şekilde incelenmesine olanak sağlamaktadır. Hematoksilen-eozin (HE) ve özel histokimyasal boyalarla yapılan incelemeler doku yapısını tanımlarken; immünohistokimya aracılığıyla TNF- α , IL-1 β , RANKL, OPG, VEGF ve RUNX2 gibi belirteçler üzerinden inflamasyon ve rejenerasyon süreçleri değerlendirilmektedir (Baek et al., 2005; Guo et al., 2024). Ayrıca qPCR, Western blot ve mikroRNA analizleri, gen ve protein düzeyindeki değişimleri belirleyerek patogeneizdeki moleküler dinamikleri aydınlatmaktadır. Micro-CT ve CBCT gibi ileri görüntüleme yöntemleri ise kemik yıkımı ve rejenerasyonun kantitatif olarak izlenmesini mümkün kılar (Bani-Younes et al., 2025). Biyoseramik esaslı materyallerin endodontide kullanımı, apikal periodontitis tedavisinde biyolojik bir dönüm noktası oluşturmuştur. Kalsiyum silikat bazlı yapıları sayesinde bu materyaller, yüksek biyouyumluluk, kalsiyum iyonu salınımı, alkalın ortam oluşturma ve hidroksiapatit tabakası geliştirme özellikleriyle hem sızdırmazlığı artırmakta hem de rejeneratif iyileşmeye katkı sağlamaktadır (Camilleri, 2015; Mora et al., 2024). Biyoseramiklerin makrofaj polarizasyonunu (M1/M2) düzenlediği, proinflamatuvar sitokin ekspresyonunu azalttığı ve osteoblastik aktiviteyi uyardığı kanıtlanmıştır (Mora et al., 2024). Klinik çalışmalar, biyoseramik sealer'ların epoksi bazlı sealer'lara göre eşdeğer ya da daha yüksek uzun dönem başarı oranları sağladığını ve postoperatif ağrı insidansını azalttığını göstermektedir (Bani-Younes et al., 2025).

Cerrahi endodontik girişimlerde, MTA'nın yerini giderek Biodentine ve yeni nesil biyoseramik puttiler almaktadır. Bu materyaller, kısa sertleşme süresi, yüksek manipülasyon kolaylığı ve biyolojik aktivite avantajlarıyla klinik uygulamayı kolaylaştırmaktadır (Camilleri, 2015). Ayrıca rejeneratif endodontik prosedürlerde biyoseramiklerin apikal bariyer oluşturma ve pulpa-kök rejenerasyonunu destekleme potansiyelleri, endodontik tedavide rejeneratif paradigmanın gelişimine önemli katkı sağlamıştır (Mora et al., 2024). Bununla birlikte, diabetes mellitus, sigara kullanımı ve immünsüpresyon gibi sistemik faktörler periapikal iyileşmeyi olumsuz etkileyebilir. Bu hasta gruplarında biyoseramiklerin avantajlı özelliklerinin sürdürülmesi için uzun dönemli klinik kohort çalışmaları gereklidir (Holland et al., 2017).

Geleceğe yönelik araştırmaların, biyoseramiklerin yalnızca mekanik sızdırmazlık sağlayan materyallerden, biyolojik olarak aktif tedavi ajanlarına evrilmesi yönünde ilerleyeceği öngörülmektedir. Bu kapsamda immün modülatör ajanlarla zenginleştirilmiş, antimikrobiyal etkili, büyüme faktörleri veya kök hücrelerle kombine edilen ve 3B baskı teknolojisiyle kişiselleştirilen biyoseramikler, endodontik tedavide yeni bir dönemi temsil etmektedir (Bani-Younes et al., 2025; Camilleri, 2015; Li et al., 2021).

Sonuç olarak, apikal periodontitisin tedavisi artık yalnızca enfekte dokunun uzaklaştırılmasına ve mekanik dolguya dayanmaz.

Biyoseramik materyallerin immünomodülatör ve rejeneratif potansiyeli, hem biyolojik iyileşmeyi hızlandırmakta hem de klinik başarı oranlarını artırmaktadır. Bu nedenle endodontik tedavi planlamasında biyoseramiklerin rasyonel ve kanıta dayalı kullanımı, günümüz klinisyenleri için kritik bir strateji hâline gelmiştir. Gelecekte yapılacak translasyonel araştırmalar, bu materyallerin moleküler hedeflerle bütünleştirilmesi ve hasta bazlı kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımları ile apikal periodontitis yönetiminde yeni bir çağın kapısını aralayacaktır.

References

- Abusrewil, S. M., McLean, W., & Scott, J. A. (2018). The use of Bioceramics as root-end filling materials in periradicular surgery: A literature review. *Saudi Dent J*, 30(4), 273-282. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2018.07.004>
- Baek, S. H., Plenk, H., Jr., & Kim, S. (2005). Periapical tissue responses and cementum regeneration with amalgam, SuperEBA, and MTA as root-end filling materials. *J Endod*, 31(6), 444-449. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000148145.81366.a5>
- Bani-Younes, H. A., Methqal, K. A., Madarati, A. A., & Daud, A. (2025). Clinical and radiographic outcome of a bioceramic sealer compared to a resin-based sealer: a retrospective study. *Scientific Reports*, 15(1), 16680. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85411-6>
- Camilleri, J. J. E. T. (2015). Mineral trioxide aggregate: present and future developments. 32, 31-46.
- Cervino, G., Laino, L., D'Amico, C., Russo, D., Nucci, L., Amoroso, G.,...Fiorillo, L. (2020). Mineral Trioxide Aggregate Applications in Endodontics: A Review. *Eur J Dent*, 14(4), 683-691. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1713073>
- Dai, X., Ma, R., Jiang, W., Deng, Z., Chen, L., Liang, Y.,...Zhao, W. (2022). Enterococcus faecalis-Induced Macrophage Necroptosis Promotes Refractory Apical Periodontitis. *Microbiol Spectr*, 10(4), e0104522. <https://doi.org/10.1128/spectrum.01045-22>
- Dong, X., & Xu, X. (2023). Bioceramics in Endodontics: Updates and Future Perspectives. *Bioengineering (Basel)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030354>
- Graunaite, I., Lodiene, G., & Maciulskiene, V. (2012). Pathogenesis of apical periodontitis: a literature review. *J Oral Maxillofac Res*, 2(4), e1. <https://doi.org/10.5037/jomr.2011.2401>
- Guan, X., Wang, Y., Li, W., Mu, W., Tang, Y., Wang, M.,...Hou, T. (2024). The Role of Macrophage Efferocytosis in the Pathogenesis of Apical Periodontitis. *Int J Mol Sci*, 25(7). <https://doi.org/10.3390/ijms25073854>
- Guilherme Neto, J. L., Rodrigues Venturini, L. G., Schneider, A. H., Taira, T. M., Duffles Rodrigues, L. F., Veras, F. P.,...Fukada, S. Y. (2023). Neutrophil Extracellular Traps Aggravate Apical Periodontitis by Stimulating Osteoclast Formation. *J Endod*, 49(11), 1514-1521. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2023.07.027>
- Guo, Q., Jin, Y., Chen, X., Ye, X., Shen, X., Lin, M.,...Zhang, J. (2024). NF- κ B in biology and targeted therapy: new insights and translational implications. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 9(1), 53. <https://doi.org/10.1038/s41392-024-01757-9>
- Hernández-Ríos, P., Pussinen, P. J., Vernal, R., & Hernández, M. (2017). Oxidative Stress in the Local and Systemic Events of Apical Periodontitis. *Front Physiol*, 8, 869. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00869>
- Holland, R., Gomes, J. E. F., Cintra, L. T. A., Queiroz Í, O. A., & Estrela, C. (2017). Factors affecting the periapical healing process of endodontically

- treated teeth. *J Appl Oral Sci*, 25(5), 465-476. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2016-0464>
- Li, Y., Ling, J., & Jiang, Q. (2021). Inflammasomes in Alveolar Bone Loss. *Front Immunol*, 12, 691013. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.691013>
- Llena, C., Iglesias-Díaz, M., Ciscar-Muñoz, P., Bataller-Martínez, A. B., Melo, M., & Sanz, J. L. (2022). Tooth Bleaching of Discolorations Caused by Hydraulic Cements in Regenerative Endodontic Treatment: A 3-Year In Vitro Study. *Materials (Basel)*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/ma15217845>
- López-García, S., Pecci-Lloret, M. R., Guerrero-Gironés, J., Pecci-Lloret, M. P., Lozano, A., Llena, C.,...Forner, L. (2019). Comparative Cytocompatibility and Mineralization Potential of Bio-C Sealer and TotalFill BC Sealer. *Materials (Basel)*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/ma12193087>
- Mahajan, D., Manocha, D., Patel, P., Saraiya, M. B., & Chaniyara, K. (2023). A Systematic Review on Comparison of Periapical Healing and Post-Operative Pain between Bioceramic and Epoxy Resin Based Sealers. *J Pharm Bioallied Sci*, 15(Suppl 2), S862-s866. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_145_23
- Marković, L., Ivanišević, A., Matijević, J., Chan, R. S. M., Tsoi, J. K. H., Šnjarić, D., & Gjorgievska, E. (2023). Micro-CT analysis and leakage of bioceramic retrofillings after ultrasonic and Er:YAG laser cavity preparations: an in vitro study. *Lasers Med Sci*, 38(1), 145. <https://doi.org/10.1007/s10103-023-03809-y>
- Menezes, R., Garlet, T. P., Letra, A., Bramante, C. M., Campanelli, A. P., Figueira Rde, C.,...Garlet, G. P. (2008). Differential patterns of receptor activator of nuclear factor kappa B ligand/osteoprotegerin expression in human periapical granulomas: possible association with progressive or stable nature of the lesions. *J Endod*, 34(8), 932-938. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.05.002>
- Montoya, C., Du, Y., Gianforcaro, A. L., Orrego, S., Yang, M., & Lelkes, P. I. (2021). On the road to smart biomaterials for bone research: definitions, concepts, advances, and outlook. *Bone Research*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.1038/s41413-020-00131-z>
- Mora, A., García-Bernal, D., Rodríguez-Lozano, F. J., Sanz, J. L., Forner, L., Ghilotti, J.,...López-García, S. (2024). Biocompatibility, bioactivity and immunomodulatory properties of three calcium silicate-based sealers: an in vitro study on hPDLSCs. *Clin Oral Investig*, 28(8), 416. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05812-1>
- Nair, P. N. (2004). Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Crit Rev Oral Biol Med*, 15(6), 348-381. <https://doi.org/10.1177/154411130401500604>
- Nair, P. N. (2006). On the causes of persistent apical periodontitis: a review. *Int Endod J*, 39(4), 249-281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01099.x>
- Nakayama, M., Kataoka, Y., Kitamura, N., Watanabe, C., Kujiraoka, S., Yamaguchi, K.,...Munakata, M. (2025). Comparative Evaluation of the Bone Regenerative Potential of a Novel Calcium Silicate-Modified

- Calcium Carbonate Graft Material: Histological and Micro-Computed Tomography Assessment Using a Rat Calvarial Defect Model. *J Funct Biomater*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/jfb16090337>
- Ozdemir, B., Ersahan, S., Ozcelik, F., Hepsenoglu, Y. E., Sirin, D. A., & Topbas, C. (2024). Relationship of MMP-9 with the clinical course of apical periodontitis and the main bacterial species in the oral microbiota. *Odontology*, 112(3), 976-987. <https://doi.org/10.1007/s10266-023-00895-w>
- Petean, I. B. F., Gaêta-Araujo, H., Mazzi-Chaves, J. F., Silva-Sousa, A. C., Lopes-Olhê, F. C., de Paula-Silva, F. W. G., & de Sousa-Neto, M. D. (2025). Clinical and imaging aspects associated with persistent apical periodontitis: subsidies for the treatment decision-making process. *Clin Oral Investig*, 29(1), 71. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-06132-0>
- Radwanski, M., Pietrzycka, K., Eyüboğlu, T. F., Özcan, M., & Lukomska-Szymanska, M. (2024). Clinical outcome of non-surgical root canal treatment using different sealers and techniques of obturation in 237 patients: A retrospective study. *Clin Oral Investig*, 28(9), 479. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05871-4>
- Shen, Z., Letra, A., & Silva, R. M. (2023). MicroRNAs Markedly Expressed in Apical Periodontitis Cooperatively Regulate Cytokines and Growth Factors Promoting an Anti-inflammatory Response. *J Endod*, 49(3), 286-293. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joen.2022.12.013>
- Shen, Z., & Silva, R. M. (2021). MicroRNAs: emerging players in apical periodontitis. *J Appl Oral Sci*, 29, e20201058. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2020-1058>
- Siqueira, J. F., Jr., & Rôças, I. N. (2007). Bacterial pathogenesis and mediators in apical periodontitis. *Braz Dent J*, 18(4), 267-280. <https://doi.org/10.1590/s0103-64402007000400001>
- Tibúrcio-Machado, C. S., Michelon, C., Zanatta, F. B., Gomes, M. S., Marin, J. A., & Bier, C. A. (2021). The global prevalence of apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J*, 54(5), 712-735. <https://doi.org/10.1111/iej.13467>
- Vaiani, L., Boccaccio, A., Uva, A. E., Palumbo, G., Piccininni, A., Guglielmi, P.,...Ballini, A. (2023). Ceramic Materials for Biomedical Applications: An Overview on Properties and Fabrication Processes. *J Funct Biomater*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/jfb14030146>
- Wei, H., Cui, J., Lin, K., Xie, J., & Wang, X. (2022). Recent advances in smart stimuli-responsive biomaterials for bone therapeutics and regeneration. *Bone Research*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.1038/s41413-021-00180-y>
- Wen, Y. H., Lin, Y. X., Zhou, L., Lin, C., & Zhang, L. (2024). The immune landscape in apical periodontitis: From mechanism to therapy. *Int Endod J*, 57(11), 1526-1545. <https://doi.org/10.1111/iej.14125>
- Wu, Z., Duan, S., Li, M., Zhang, A., Yang, H., Luo, J.,...Hu, T. (2024). Autophagy regulates bone loss via the RANKL/RANK/OPG axis in an experimental rat apical periodontitis model. *Int Endod J*, 57(9), 1315-1325. <https://doi.org/10.1111/iej.14103>

Bölüm 2

ENDODONTİK VE NON-ENDODONTİK PERİAPİKAL LEZYONLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Tolga Mavigöz¹, Sadullah Kaya²

1 Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Diyarbakır, Türkiye

ORCID: 0009-0003-1771-4130

2 Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Diyarbakır, Türkiye

ORCID: 0000-0002-4644-0058

Periapikal Lezyonlar

Periapikal lezyonlar, çağdaş diş hekimliği pratiğinde en sık karşılaşılan patolojik durumlar arasındadır. Bu patolojilerin çoğu endodontik kaynaklıdır ve pulpa ile periapikal dokuları etkileyen lokalize enfeksiyon veya travmadan kaynaklanır (Boonkasemsanti et al., 2025). Bu lezyonlar, mikroorganizmaların yayılmasını sınırlayan ve çevre dokulara geçişlerini engelleyen bariyerler olup genellikle enfekte bir dişin periapikal bölgesinde gelişen, biyofilmle ilişkili olan apikal periodontitisin bir ifadesidir (Kakehashi et al., 1965). Bu durum, kök kanal sistemini enfekte eden ve periodonsiyuma ulaşan bakteriler ve diğer mikroorganizmalar ile konak savunması arasındaki dinamik etkileşimin bir sonucudur (Siqueira Jr et al., 2020).

Pulpa odasında meydana gelen ciddi yaralanma, inflamatuvar yanıtın gelişmesine neden olur ve tedavi edilmediğinde pulpa nekrozu ile sonuçlanabilir (Zaleckiene et al., 2014). İnflamatuvar hücrelerin etkileşimi, sayısız biyokimyasal mediatör ve sitokinler ile kemokinler arasındaki bağlantı, süreçte önemli rol oynar ve farklı bakteri profilleri ile ilişkilidir (Márton & Kiss, 2014). Bu durumda kemik rezorbe olur ve ardından granülomatöz doku ve yoğun bir polimorfonükleer lökosit (PMN) duvarı ile yer değiştirir (Nair, 1987). Bunun sonucunda değişik boyutlarda periapikal lezyonlar oluşur (Márton & Kiss, 2014).

Periapikal radyolüsensi olarak görünen, alveoler kemiğin önemli bir kısmını rezorbe eden birçok agresif, inflamatuvar, benign veya malign hastalık olabilir ve bu lezyonların klinik ve radyografik olarak birbirine çok benzemesi nedeniyle ayırıcı tanı yapmak bazen oldukça güç hale gelir (Pitt Ford & Patel, 2004).

Histopatolojik incelemede, endodontik periapikal lezyonların tanıları periapikal granülom, radiküler kist (ayrıca periapikal kist veya apikal periodontal kist olarak da adlandırılır), periapikal apse ve periapikal skarı kapsar (Peters & Lau, 2003). Kondensing osteitis, kronik olarak iltihaplanmış pulpa dokusu ve buna bağlı gelişen kronik apikal periodontitis sonucu ortaya çıkan, kendine özgü radyografik görünümüne sahip bir diğer durumdur (Çalışkan, 2004).

Periapikal bölgelerde, inflamatuvar endodontik kökenli lezyonları taklit eden birçok patoloji bildirilmiştir (Yamamoto-Silva et al., 2017). Bunlar, periapikal radyolüsent lezyonların diğer grubu olan non-endodontik periapikal lezyonlar olup endodontik periapikal lezyonlara göre daha az yaygındır (Huang et al., 2017).

Endodontik periapikal lezyonların klinik ayırıcı tanısı, periapikal bölgelerdeki bazı endodontik olmayan lezyonlara benzerliklerinden dolayı karmaşık olabilir (Vieira et al., 2020). Başlangıçtaki radyografik tanı ve klinik muayene, daha iyi prognoz için erken müdahaleye olanak sağlar. Klinik, histolojik ve radyografik bulgular arasındaki ilişki, doğru tanı koymada ve etkili tedavi sağlamada değerli bilgiler sunabilir (İsmail et al., 2020).

Periapikal Lezyonların Sınıflandırılması

Endodontik Lezyonlar

Başlangıçtaki inflamatuvar evre akut apikal periodontitis olup, radyografide periodontal ligament boşluğunda genişleme ile perküsyon ve palpasyonda ağrı şeklinde görülür (Sullivan et al., 2016). Böyle bir reaksiyona travma, endodontik enstrümantasyon prosedürleri veya irritanlar neden olabilir. Daha önce sağlıklı olan periapikal bölgede meydana gelir ve genellikle kısa sürelidir (Nair, 1997). Hastalığın hızlı seyri, ani şişlik ve ağrı, sıcaklık artışı, eritem gibi klasik inflamasyon bulgularına yol açarak dentoalveolar apselerin akut fazını karakterize etmektedir (Bjørndal et al., 2018). Tedavi uygulanmazsa veya kök kanal sisteminin apikal kısmında irritanların varlığı devam ederse başlangıçtaki akut inflamasyon kademeli olarak kronik inflamatuvar yanıtı dönüşür (Nair, 1997). Kronik evrede (radiküler kist veya periapikal granülom) genellikle asemptomatik seyreden radyolüsensi izlenmekte olup mikroorganizmalar kanal içerisinde sınırlı kalarak ‘durağanlık’ veya ‘denge’ durumunu yansıtır (Sullivan et al., 2016).

Periapikal Granülom

Apikal bölgede gelişen kronik veya subakut enflamasyonlu granülasyon dokusu kitleleridir. Gerçek anlamda granulomatöz değildir (Neville et al., 2015). Çalışmalar, periapikal granülomun endodontik kökenli en sık görülen periapikal lezyon olduğunu göstermektedir. Klinik tanısı genellikle periapikal radyolüsensinin radyografik görünümüne veya periodontal ligament boşluğunun kalınlaşmasına dayanır. Lamina dura kaybı gerçekleşir (Abbott, 2004). Histolojik olarak tanısı bağ dokusu, kan damarları ve inflamatuvar hücrelerin varlığı ile konur (Neville et al., 2015).

Periapikal Kist (Radiküler Kist)

Radiküler kist, inflamatuvar kökenlidir ve enfekte nekrotik pulpa içeren dişin apikal bölgesinde Malassez epitel artıklarının proliferasyonu sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Bu nedenle, radiküler kist apikal periodontitisin bir ürünüdür ve histolojik olarak cep (pocket) kistleri ve gerçek kistler (true cysts) olarak sınıflandırılabilir (Lin et al., 2009). Cep kistlerinde, kist boşluğu apikalde kök kanalına açılırken; gerçek kistlerde kist boşluğu tamamen epitel ile çevrilidir (Nair, 1998). Radiküler kistler daha sık olarak maksillanın anterior bölgesi ve mandibulanın premolar bölgesinde görülür (Hjorting-Hansen et al., 1969).

Periapikal kistlerin periapikal granülomun doğrudan bir sekeli olduğuna inanılmaktadır ancak her granülom kiste dönüşmez. (Zaleckiene et al., 2014)

Periapikal Apse

Periapikal apse, bir dişin kök ucunda, alveolar kemik içinde lokalize irin birikimi olarak tanımlanır (Gutmann et al., 2009). Lezyon, genellikle enfeksiyonun etkilenen dişin periapeksine yayılması sonucunda bakteri kolonizasyonu ile başlar (Shu et al., 2000). Bu bakteriler periapikal dokulara girdikten sonra akut inflamatuvar reaksiyon ve irin oluşumu başlatır ve bu da periapikal apsenin gelişmesine yol açar (Nair, 2004). Periapikal apseler, başlangıç tipi, ağrı şiddeti, şişlik ve irin veya sinüs oluşumu gibi kriterlere göre akut ve kronik periapikal apse olarak sınıflandırılmıştır (Endodontists, 2003).

Periapikal apseler, çevresel kortikalizasyonun değişken derecesi ile periapikal granülomlar ve periapikal kistlere benzer özellikler gösterir; bu da onları birbirinden ayırt etmeyi zorlaştırır (Camps et al., 2004). CBCT incelemelerinde görülen kortikal erozyon veya perforasyon ve ödem varlığı, apseleri ayırt etmek için yardımcı olabilir; ancak periapikal apselerin erken evrelerinde bu özellikler genellikle görülmez (White & Pharoah, 2014).

Periapikal Skar

Periapikal skar, endodontik veya cerrahi tedavi sonrası iyileşme sürecinde oluşan bir fibrotik dokudur. Klinik olarak, periapikal skar genellikle asemptomatiktir. Radyografik olarak, periapikal skar dişin kök ucunda uzun süreli, iyi sınırlı periapikal radyolüensi olarak görünür (Lee et al., 2021).

Endodontik Lezyonların Tanısı

Güvenilir bir in vivo lezyon karakterizasyonu (apikal granülom veya radiküler kist) için, özellikle periapikal lezyonların ≥ 5 mm olduğu vakalarda invaziv olmayan bir tanı yönteminin tedaviye bağlı riskleri, maliyeti azaltmak ve hasta konforunu artırmak açısından büyük klinik önemi bulunmaktadır. Önceki tanısal yaklaşımlar (periapikal radyografi, kontrastlı röntgen, Papanicolaou smeari, elektroforez ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi) güvenilir bulunmamıştır (Juerchott et al., 2018). Bu nedenle, cerrahi biyopsi ve histopatolojik değerlendirme, periapikal lezyonların tanısını doğrulamak için altın standart olarak kalmıştır (Kruse et al., 2015).

Kharat ve ark. kök kanal tedavisi uygulanmış ve apikal cerrahi geçirmiş 60 dişin periapikalindeki radyolusent lezyonlarının histolojik özelliklerini incelemiş, histolojik bulgular ile lezyonun radyografik boyutu ve lamina dura varlığı arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. 2–9,9 mm çapındaki lezyonların %45’ini granülom, %6’sını kist olarak; 10–20 mm çapındaki lezyonların %23,33’ünü granülom, %13,33’ünü kist olarak tanımlamışlardır. Büyük boyutlu lezyonların çoğunluğunun kist olduğunu gözlemlemişlerdir. Radyografik görüntülerdeki lamina dura varlığının lezyonun histolojik türünü belirlemede güvenilir bir gösterge olmadığını, kesin tanı için histolojik inceleme gerekli olduğunu, sadece radyografik değerlendirmenin yetersiz olduğu sonucuna varmışlardır (Kharat et al., 2020).

Manyetik rezonans görüntüleme (MRI), radyasyon içermeyen ve üstün yumuşak doku kontrastı sağlayan bir görüntüleme yöntemidir. Yüksek manyetik alan gücü, özel coil sistemleri ve optimal sekans teknikleri yüksek kaliteli görüntüler sağlamış ve dental MRI’ye olan ilgiyi artırmıştır. MRI, yalnızca periapikal lezyonların karakterizasyonu için kullanılmamış, aynı zamanda apikal periodontitis, periapikal kistler/granülomlar ve kondensing osteitis arasında ayırıcı tanıda geçerli ve güvenilir non-invaziv bir araç olabileceği anlaşılmıştır (Karamifar et al., 2020). Juerchott ve ark. 2018’de Dental MRI kullanılarak periapikal granülomlar ve kistlerin ayrımını yaptıkları çalışmalarında kistler ile granülomlar arasında belirgin fark sağlayan 6 MRI kriteri tespit edilmiştir. Dental MRI’nin radyasyonsuz bir görüntüleme yöntemi olarak tedavi stratejilerini iyileştirebileceği ve gereksiz cerrahi müdahalelerin önüne geçebileceği sonucuna varmışlardır (Juerchott et al., 2018).

Bir kist ile granülomu, yoğunluk farkı kullanılarak BT taraması ile ayırt etmek mümkündür (Trope et al., 1989). Granülomlar genellikle solid yumuşak dokudan oluşurken, kistler yarı-sıvı ve kistik alan içerir. Bu

nedenle, bu lezyonların doğru tanısı için radyografideki en az yoğunluklu alan ölçülmelidir. Gri değerinin ölçülmesi, yumuşak doku ile sıvı veya boş alanları ayırt etmeyi mümkün kılar (Camps et al., 2004).

De Rosa ve ark. 2020’de periapikal granülomlar ve radiküler kistler arasındaki ayrımı konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) görüntüleri üzerinden doku analizi yöntemiyle yapmayı amaçladıkları çalışmalarında kullandıkları yöntemin histolojik biyopsiye alternatif veya tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılabileceğini ve klinik uygulamalarda tanı doğruluğunu artırabileceğini tespit etmişlerdir (De Rosa et al., 2020).

Ultrasonografi, ultrason dalgalarının yansımaya dayanır ve endodontik periradiküler lezyonları değerlendirmek için kullanılabilir (Cotti et al., 2002). Vücuttaki farklı dokular, farklı akustik özellikleri nedeniyle ultrason dalgalarını farklı yansıtır. Kemik tam yansıma gösterir; bu nedenle bu teknik yalnızca kemik pencereleri veya kemik yapısının değiştiği alanlarda uygulanabilir (Auer & Van Velthoven, 1990). Ultrasonografinin, periapikal lezyonların tanı ve takibinde konvansiyonel radyografi ile güvenilir bir teknik olarak kullanılabileceği öne sürülmüştür. Ayrıca, lezyon boyutu, içeriği ve vaskülarizasyonu hakkında bilgi sağlayabilir ve bu da maksiller kemikteki endodontik lezyonların ayırıcı tanısında yardımcı olabilir (Cotti et al., 2002).

Non-Endodontik Lezyonlar

Periapikal bölgede bulunan lezyonların çoğu pulpa nekrozundan kaynaklansa da bazı durumlarda komşu dişlerin pulpası ile ilişkisiz olarak periapikal bölgede görülebilir (Tavares et al., 2017). Endodontik olmayan periapikal lezyonlar, klinik olarak endodontik periapikal lezyonlar olarak teşhis edilen vakaların %10,03’ünü oluşturmaktadır. Non-endodontik periapikal lezyonların histopatolojik incelemeleri, yabancı cisim reaksiyonundan kistlere, fibro-osseöz lezyonlardan benign tümörlere ve primer veya metastatik malign tümörlere kadar çeşitli lezyonları ortaya koymuştur (Kosanwat et al., 2021). Bu lezyonlar için özel tedavi protokolleri uygulanır ve bu nedenle diş hekimlerinin periapikal hastalıkların ayırıcı tanısında endodontik olmayan lezyonları dikkate alması oldukça önemlidir. Bu yaklaşımla yanlış tanı konma ve yanlış tedavi riski azalmış olur (Guimarães et al., 2021).

Non-Endodontik Lezyonların Sınıflandırılması

Odontojenik Keratokist

Odontojenik keratokist, çene kemiği içinde dental laminanın artıklarından köken alan gelişimsel bir kisttir (Speight & Takata, 2018). Çene kistlerinin çoğundan farklı olarak, çok yüksek nüks oranına ve malign transformasyon eğilimine sahiptir (Moura et al., 2016). Çene kemiğinin herhangi bir bölgesinde ortaya çıkabilir, ancak en sık mandibulada, özellikle angulus ve ramusa doğru yayılma eğilimindedir (Stoelinga, 2001). Tanısı genellikle radyolojik olarak konulur. Radyografilerde, belirgin sınırlı, yuvarlak ya da skallop kenarlara sahip, iyi sınırlı radyolusent alanlar izlenir; bu alanlar multiloküler veya uniloküler şekilde görülebilir (Barnes, 2005).

Etkilenen dişler çoğunlukla vitaldir ancak periapikal bölgede, pulpa duyarlılık testlerine yanıt vermeyen dişlerle birlikte ortaya çıktığında, sıklıkla radiküler kist, lateral periodontal kist ve dentigeröz kist gibi diğer endodontik lezyonlarla yanlış tanı alabilir (Prashanth et al., 2020).

Prashanth ve ark. “Odontojenik Keratokist, Endodontik Bir Bilmece mi?” isimli vaka raporunda 8 ay süren diş hassasiyeti ve alt ön çenede şişlik şikayetleriyle başvuran 29 yaşındaki erkek hastanın intraoral muayenesinde, 31, 32 ve 41 numaralı dişlerde perküsyon hassasiyeti ve 33-42 bölgeleri arasında difüz şişlik gözlemlemişlerdir. Radyografik inceleme, periapikal lezyonun alveolar kemik üzerinde belirgin bir yıkım yaptığını ve dişlerin pulpa duyarlılık testlerine yanıt vermediğini ortaya koymuştur. Bu nedenle geçici tanı olarak radiküler kist konmuş ve endodontik tedavi ve ardından retrograd dolgu içeren periapikal cerrahi ile tedavi edilmiştir. Ancak histopatolojik inceleme ile klinik ve radyografik bulgularla uyumlu olarak odontojenik keratokist olduğu ortaya çıkmıştır. Bu vaka, odontojenik keratokistin endodontik lezyonlarla karışabileceğini ve doğru tanı için histopatolojik değerlendirmenin önemini vurgulamaktadır (Prashanth et al., 2020).



Resim 1. Preoperatif radyografi (Prashanth et al., 2020)

Khanna ve ark. “Tanısal bir ikilem – Endodontik lezyon mu yoksa keratistik odontojenik tümör (KCOT) mü?” isimli olgu sunumunda maksiller kanin bölgesinde periapikal lezyon sanılarak yanlışlıkla tedavi edilen bir keratistik odontojenik tümör (KCOT) vakasını anlatmışlardır. 31 yaşında erkek bir hasta, sol maksiller kanin bölgesinde 4 aydır devam eden ağrı ve şişlik şikayetiyle başvurmuştur. İlk muayenede, 22 ve 23 numaralı dişlerin çevresinde bir sinüs yolu saptanmıştır. Dişler stabil olup, periodontal cep derinliği normal sınırlarda (<3 mm) bulunmuştur. Hasta, 4 ay önce özel bir klinikte 22 numaralı dişe kanal tedavisi başlandığını, ancak ağrının geçmediğini ve 23 numaralı dişe de kanal tedavisi yapıldığını ancak semptomlarının devam ettiğini belirtmiştir. Radyografik incelemede, 22 ve 23 numaralı dişlerin köklerinde, alveolar kret ile apikal arasında yaklaşık 1,5 cm uzunluğunda, uniloküler, iyi sınırlı radyolüsent bir lezyon görülmüştür. Klinik ve radyografik bulgulara dayanarak, başlangıçta radiküler kist tanısı konulmuş ve kanal tedavisi uygulanmıştır. Ancak semptomlar devam ettiğinden, cerrahi müdahale önerilmiş ve lezyon histopatolojik inceleme için gönderilmiştir. Sonuçlar, odontojenik keratokist tanısını doğrulamıştır. Odontojenik keratokist, endodontik lezyonlarla benzerlik gösteren, ancak daha agresif ve yüksek nüks oranına sahip bir tümördür. Bu vaka, klinik ve radyografik benzerlikler nedeniyle yanlış tanı konulabileceğini ve histopatolojik incelemenin önemini vurgulamaktadır (Khanna et al., 2011).



Resim 2. Preoperatif radyografi (Khanna et al., 2011)

Ameloblastom

Ameloblastom, çenede en sık görülen benign odontojenik tümörlerden biridir (Ghai, 2022). Ameloblastom en sık 30–60 yaş aralığında görülür ve erkeklerde daha sık görülür. En sık görüldüğü yer mandibuladır (Larsson & Almerén, 1978). Ameloblastom tanısı için görüntüleme (çoğunlukla BT) ve biyopsi gereklidir. BT genellikle iyi sınırlı, uniloküler veya

multiloküler radyolusent ekspansif lezyonları gösterir ve kortikal yıkım veya yumuşak doku yayılımını değerlendirmede faydalıdır. Radyolojik bulgular patognomonik olmadığından, ameloblastom tanısı biyopsi ile kesinleştirilir (McClary et al., 2016).



Resim 3. Preoperatif radyografi (Gajdhar & Gajdhar, 2019)



Resim 4. Panoramik görüntü (Gajdhar & Gajdhar, 2019)

Gajdhar ve ark. “Ameloblastomaların periapikal lezyonlarla karıştırılması” isimli vaka raporunda periapikal lezyon izlenimi veren bir ameloblastoma olgusundan bahsetmişlerdir. Hasta ilgili bölgede ağrı ve hassasiyet şikâyetleriyle diş hekimine başvurmuş ve yapılan radyografik incelemede, diş kökünün apeksinde belirgin bir radyolusensi gözlenmiştir. Bu görünüm, en sık rastlanan periapikal granülom ya da radiküler kist ile uyumlu olduğu için ilk tanı endodontik kaynaklı lezyon şeklinde konmuştur. Ancak hasta endodontik tedavi sonrası bekle-

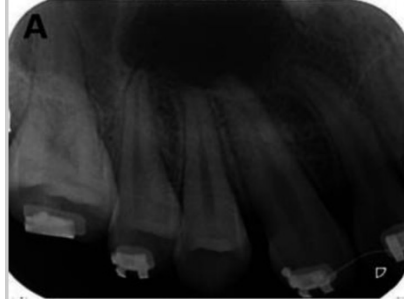
nen iyileşmeyi göstermeyince ve lezyonun hacmi artmaya devam edince cerrahi müdahale yapılmıştır. Eksizyonla alınan dokunun histopatolojik incelemesinde, epitel hücrelerinin ameloblastik düzenlenme gösterdiği, yani tipik ameloblastoma özellikleri taşıdığı ortaya konmuştur (Gajdhar & Gajdhar, 2019).

Dentigeröz Kist

Dentigeröz kist, dişin sürmemiş ya da gömülü kuronunu çevreleyen, kuron ile mine-sement sınırı ile bağlantılı gelişimsel bir odontojenik kisttir (Speight & Tekkesin, 2025). Dentigeröz kistler, sıklık sırasına göre maksiller kaninler, mandibular birinci premolarlar, mandibular üçüncü molarlar, maksiller üçüncü molarlar, mandibular kaninler, maksiller ikinci premolarlar ve mandibular ikinci premolarlarla ilişkili bulunmuştur (Aldelaimi et al., 2024). Dentigeröz kist genellikle asemptomatiktir ve bu nedenle yıllarca teşhis edilmeyebilir. Çoğunlukla tesadüfen radyolojik olarak saptanır. Ayrıca akut inflamasyon, enfeksiyon veya şişlik geliştiğinde de fark edilebilir. Radyografide genellikle iyi sınırlı, uniloküler, simetrik, radyolüsent bir alan olarak görünür (Gaurkar et al., 2022).

Kosanwat ve ark. yaptıkları restospektif çalışmada en sık görülen non-endodontik lezyonun dentigeröz kist (%32,5) olduğu sonucuna varmışlardır (Kosanwat et al., 2021).

Çalışmada dentigeröz kist tanısı alan tüm lezyonlar, gömülü dişlerle ilişkili iyi sınırlı uniloküler radyolüsent alanlar göstermekte ve bu lezyonlar sıklıkla komşu sürmüş dişin kök ucu ile de ilişkilendirilmiştir. Bir vakada, sağ üst lateral keserden ikinci premolara kadar apikal bölgelerle ilişkili, iyi sınırlı radyolüsent bir lezyon görülmektedir; bu durum endodontik lezyon olarak yanlış tanı konmasına yol açmıştır. Hastanın panoramik radyografide, lezyonun tamamı görülmektedir ve gömülü bir süpernümerer diş ile ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır ve lezyon, sağ maksiller sinüs ve nazal kavitenin tabanını yukarıya doğru kaldırmıştır (Kosanwat et al., 2021).



Resim 5. Preoperatif görüntü (Kosanwat et al., 2021)

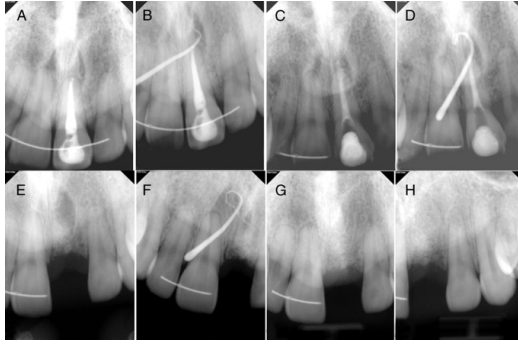


Resim 6. Panoramik görüntüde görünen süpernümerer diş ve sinüs sınırının yukarı çıkması (Kosanwat et al., 2021))

Nasopalatin Kanal Kisti

Nazopalatin kanal kistleri, aynı zamanda insisiv kanal kisti olarak da bilinir ve çene kemiklerinin en sık görülen non-odontojenik kistidir (Escoda Francolí et al., 2008). Asemptomatik kalabilir, rutin görüntüleme incelemeleriyle saptanabilir ve endodontik kökenli bir periapikal lezyonu taklit edebilir (Suter, Büttner, et al., 2011). Anterior maksillada genişir ve periapikal radyografilerde anterior nazal spina veya nazal septumun süperpozisyonu nedeniyle kalp şeklinde bir görünüme sahiptir. Maksiller oklüzal radyografilerde ise asemptomatik nazopalatin kanal kisti, üst santral kesiciler arasında veya orta hattın yakınında yuvarlak ya da oval radyolusent bir alan olarak görünebilir (Vasconcelos et al., 1999). Çoğu vakada, ilgili dişler pulpa duyarlılık testine pozitif yanıt vermiştir (Suter, Sendi, et al., 2011). Pulpa canlılık testine olumlu yanıt, lezyonun endodontik kökenli olmadığını düşündürmelidir; ancak şüpheli dişte daha önce endodontik tedavi uygulanmışsa, ayırıcı tanı karmaşık hale gelir. Bu tür durumlarda, konvansiyonel radyografiler belirsiz periapikal patolojiyi tanımlamak için yeterince doğru veya hassas olmayabilir (Bender, 1982).

Hilfer ve ark. “Nasopalatin Kanal Kistinin Yanlış Tanısı” isimli vaka raporunda 20 yaşındaki hastanın ön damakta orta hatta zaman zaman ağrı olmadan hafif şişlik ve akıntı şikayetiyle diş hekimine başvurduğunu, 8 yıl önce de 21’e travma aldığını ve kanal tedavisi yapıp splint kullandığını belirtmiştir. Çekilen periapikal radyograflar, dişler 11 ve 21 ile ilişkili 8×11 mm boyutunda büyük bir apikal radyolüsent alan göstermiştir; palatinalde bulunan fistül yoluna güta perka yerleştirilmiş ve daha önce tedavi edilen 21’in apikalinde izlenmiştir. Hekim, kanal tedavisinin başarısız olduğunu düşünerek retreatment yapmıştır. Akıntı devam etmiş, palatinaldeki fistül yolu kapanmamış ve lezyon boyutunda herhangi bir azalma gözlenmemiştir. Hekim, hastanın travma öyküsüne dayanarak kök kırığı tanısı koymuş ve 21’i çekmiştir. Ancak semptomlar düzelmemiş ve hasta endodonti uzmanına yönlendirilmiştir. CBCT çekilmiş ve çekim alanında, nasopalatin kanalına yakın $9 \times 6 \times 6,5$ mm boyutunda büyük bir palatal defekt göstermiştir. Tam kalınlıklı mukoperiostal palatal flep kaldırıldığında, 11 ve 21’in apikalleri arasında orta hatta 12×15 mm boyutunda, iyi sınırlı kistik bir lezyon gözlenmiştir. Cerrahi olarak enükle edilen lezyon histolojik incelemeye gönderildiğinde nasopalatin kanal kisti olduğu ortaya çıkmıştır (Hilfer et al., 2013).



Resim 7. Preoperatif radyografi ve fistüle güta perka yerleştirilmesi (Hilfer et al., 2013)

Malign Tümörler

Malign endodontik olmayan periapikal lezyonlar, az sayıda vakanın bildirildiği nadir lezyonlardır. Bu lezyonların az görülme sıklığı ve az araştırılması nedeniyle, ciddi tanı hataları gözlenmektedir (Schuch et al., 2021).

Adenoid Kistik Karsinom

Adenoid kistik karsinom, üç büyük tükürük bezi, oral minör tükürük bezleri, lakrimal bezler, meme ve prostat ile paranazal sinüsler, larinks ve trakeadaki salgı dokuları gibi sekretuvar bezlerden köken alan nadir bir malign tümördür (Giannini et al., 2006). Perinöral invazyon, geç dönemde ortaya çıkan uzak metastazlar ve yüksek nüks oranı ile karakterizedir ve bu durum, mortalite ve morbidite oranları üzerinde önemli etkiye sahiptir. Genellikle ileri evrede teşhis edilir ve bu tanı esas olarak histolojik inceleme ile tam bir klinik-radyolojik değerlendirme sonucu konur (Shome et al., 2022).

Jeong ve ark. yayınladıkları vaka raporunda 57 yaşındaki temporo-mandibuler bozukluk ve diş ağrısı şikayeti olan bir hastaya bir endodontist tarafından 42-31 numaralı dişlerine kanal tedavisi uygulandığını, bu tedavilere rağmen hastanın kulaklarına yayılan sürekli bir ağrı yaşamaya devam ettiğini anlatmışlardır. Hastanın yüzünde veya ağız içinde belirgin şişlik ya da parestezi gözlenmemiş, ancak yutma güçlüğü ve trismus bildirilmiştir. 42'den 32'ye kadar uzanan büyük bir periapikal radyolusent lezyon tespit edilmiş ve 42, 41 ve 31 numaralı dişlerin apikal bölgelerinde kök rezorpsiyonları gözlenlenmiştir. Bu dişler için ilk tanı daha önce semptomatik apikal periodontitis olarak konmuştur. Kök ucu cerrahi yapılarak biyopsi alınmış ve biyopsi sonuçları lezyonun bir karsinom olduğunu göstermiştir. Hasta derhal bir kanser merkezine sevk edilmiş ve burada adenoid kistik karsinom tanısı kesin olarak konmuştur. Malignite şüphesi olan vakalarda zamanında tedavi için kesin tanıyı koymak amacıyla hızlı biyopsi yapılması kritik öneme sahip olduğu anlaşılmıştır (Jeong et al., 2025).

Mukoepidermoid Karsinom

Mukoepidermoid karsinom, malign epitelyal bir tümördür. Nadir durumlarda, odontojenik kistin epitelyal astarından ve/veya ektopik tükürük bezlerinin epitel artıkları aracılığıyla intraosseöz olarak ortaya çıkabilir (Umeda et al., 2003). Her yaşta rapor edilmekle birlikte, en sık 4. ve 5. dekatlarda görülmektedir (Simon et al., 2003). Çeşitli radyolojik paternler bildirilmiş olup bunlar kesin tanıda yetersiz veya sınırlı fayda sağlamaktadır; bu nedenle kesin tanı için biyopsi çok önemlidir. Mukoepidermoid karsinom iyi sınırlı, uniloküler veya multiloküler, osteolitik bir radyolusensi olarak tanımlanmaktadır (Waldron & Koh, 1990).

Trattner ve ark. yayınladıkları vaka raporunda 65 yaşında bir erkek hastanın ara sıra uyuşukluk şikayeti ile kliniğe başvurduğunu, intraoral

muayenesinde anterior maksillada en az 3 haftadır sinüs yolunun bulunduğu ve hastaya geçmişte kanal tedavisi yapıldığını bildirmişlerdir. Ekstraoral muayene bulguları normal olan hastada 12'nin apikaline bitişik bukkal alveolar mukozada, küçük (1,5 cm) ve fluktuan bir vestibüler şişlik gözlemlenmiştir. Pulpa vitalite testleri uygulanan 13 ve 11 soğuğa yanıt vermiş ve perküsyona ya da palpasyona karşı hassas olmadığı anlaşılmıştır. Radyografilerde 12'nin endodontik olarak tedavi edildiği görülmüş, periodontal ligament boşluğu genişlemiş ve diş #7 apikalinde küçük bir düşük radyolüsent alan görülmüştür. Tanısı "önceden tedavi edilmiş, semptomatik apikal periodontitis" olarak belirlenmiş ve hastaya endodontik mikrocerrahi, kök ucu rezeksiyonu anlatılmış ve randevu verilmiştir. Ancak tam kat intrasulküler insizyon sonunda lezyonun tamamen yumuşak dokuda bulunduğu ve kemik dokusuna invazyon göstermediği anlaşılmış, lezyonun endodontik kökenli olmadığı değerlendirilmiştir. Malignite şüphesi nedeniyle, histopatolojik inceleme için gönderilmiş ve mukoepidermoid karsinom olduğu ortaya çıkmıştır (Trattner et al., 2018).

Metastatik Tiroid Papiller Karsinomu

Kötü huylu tümörlerin çene kemiği bölgesine uzak metastazı nadirdir ve çene kemiğinde görülen tüm malign tümörlerin yaklaşık %1'ini oluşturur. Birincil odaklar çoğunlukla akciğer, meme ve prostat olup, tiroit kaynaklı olanlar yaklaşık %6'sını oluşturur (Hirshberg et al., 2008). Bu tümör çoğunlukla mandibulanın premolar-molar bölgesi ile angulus-ramus bölgesinde görülür (Nikitakis et al., 2012).

Kosanwat ve ark. yayınladıkları retrospektif çalışmada bir metastatik papiller tiroid karsinomu vakası saptanmıştır. Lezyon, iki dişin apikaliyle ilişkili, asemptomatik, iyi sınırlı ve uniloküler bir radyolüsent olarak gözlenmiştir. Bu radyografik özelliklere dayanarak, diş hekimi lezyonu endodontik periapikal lezyon olarak teşhis etmiştir. Ancak hasta, bir ayda iki kilogramlık kilo kaybı ve boyunda büyümüş lenf düğümleri olduğunu bildirmiştir ve lezyonun karsinom olduğu anlaşılmıştır (Kosanwat et al., 2021).

Non-Endodontik Lezyonların Tanısı

Endodontik ve non-endodontik periapikal lezyonların ayırt edilmesi son derece önemlidir. Yanlış tanı, gereksiz endodontik tedaviye, lezyonun iyileşmemesine ve belirtilerin devamına yol açabilir. Tesis ve arkadaşları, periapikal kistik lezyonların klinik tanısının histolojik bulgularla doğ-

ruluğunu belirlemiş ve non-endodontik lezyonların yalnızca %41,7'sinin klinik olarak doğru tanı aldığını saptamıştır (Tsisis et al., 2020). Bu nedenle klinisyenlerin, endodontik olmayan nedenlerden kaynaklanabilecek periapikal lezyonları tanımaları ve doğru tanı ile uygun tedavi uygulamaları gerekmektedir (Modi et al., 2022).

Diş hekimleri periapikal radyolusent lezyonların her zaman pulpa nekrozunun sonucu olmadığını farkında olmalıdır. Klinik açıdan önemli olan nokta, bazı endodontik olmayan periapikal lezyonların tedavi yöntemleri ve prognozlarının endodontik lezyonlardan farklı olmasıdır (38). Endodontik tedavideki başarısızlık, endodontik olmayan periapikal lezyonlarla ilişkili olabilir (Nobuhara & Del Rio, 1993).

Periapikal bölgede, endodontik kökenli lezyonları taklit edebilen geniş bir benign odontojenik ve nonodontojenik kist ve tümör yelpazesi bulunduğundan, klinisyenlerin bu lezyonların görülme sıklığını, radyografik ve tanısal özelliklerini anlaması doğru tanı koymak açısından hayati önem taşır (Modi et al., 2022).

Kosanwat ve ark. endodontik periapikal lezyonlar olarak teşhis edilen ama aslında endodontik olmayan periapikal lezyonlar hakkında yaptıkları restospektif çalışmasında “endodontik” diye tanı konulup, biyopsi sonrası “endodontik olmayan” vakaların sıklığını ve özelliklerini incelemişler, 1566 vakanın 157'sinin endodontik olmadığını bulmuş ve 18 farklı tanı koymuşlardır. En sık görülenler dentigeröz kist (%32,5), odontojenik keratokist (OKC) (%19,7), nazopalatin kanal kisti (%11,5) ve ameloblastoma (%9,6)'dır. Ayrıca 3 tane malign tümör (adenoid kistik karsinom, mukoepidermoid karsinom, metastatik tiroid karsinomu) saptamışlardır (Kosanwat et al., 2021).

Tanı için histopatolojik incelemenin yanında ek yöntemler de önemlidir. Anında CBCT, CT, ultrasonografi ve MRI gibi görüntüleme yöntemleri tanıya yardımcı olur (Patil et al., 2021).

Non-endodontik lezyonların tanısı sırasında, kuronun sağlam olması, travma öyküsünün olmaması, dişin pulpa duyarlılık testlerine yanıt vermesi, lamina dura'nın devamlılığı ve lezyonun anormal büyüklüğü gibi göstergeler dikkate alınmalıdır. Ayrıca bazı spesifik lokalizasyona sahip lezyonlar, tanıyı kolaylaştırır (Modi et al., 2022).

Pulpa canlılık testlerinin sonuçları ayırıcı tanıda kullanılan en önemli faktörlerden biridir. Canlı pulpayla ilişkili kök uçlarında görülen lezyonlar non-endodontik kökenli kabul edilir (Pontes et al., 2014). Ancak pulpa, ilgisiz bir süreç nedeniyle nekrotik hale gelmişse, kanal tedavisi görmüşse veya pulpa testleri belirsizse tanı zorlaşır (Ricucci et al., 2020).

Bununla ilgili, Ricucci ve ark. komşu dişleri etkileyen ve non-endodontik bir patolojiyle karıştırılmasına neden olan olağandışı büyüme gösteren büyük periradiküler bir kisti anlattıkları vaka raporunda mandibulada premolarların apikalleriyle büyük ölçüde ilişkili olan ve iki premoların soğuk testine pozitif yanıt vermesi nedeniyle non-endodontik olduğu düşünülen büyük bir osteolitik lezyon vakasını bildirmişlerdir. Büyük lezyonun endodontik kökenli olmadığı düşünüldüğü için enükleasyon ve biyopsi amacıyla cerrahi planlanmış ancak lezyon histolojik olarak birinci molardan kaynaklanan ve premolar bölgeye atipik şekilde yayılan inflamatuvar periradiküler kist olarak teşhis edilmiştir (Ricucci et al., 2020).

Anatomik yapılar (maksiller sinüs, mental foramen) ve mandibula-daki kalın kortikal kemik, radyografik yorumlamayı zorlaştırabilir. Bu nedenle, sınırlı alan CBCT kullanımı, endodontide odontojenik olmayan patolojilerin veya spesifik olmayan semptomları olan hastaların tanısında önerilmektedir (Patel et al., 2019).

SONUÇ

Endodontik ve non-endodontik periapikal lezyonların ayırıcı tanısının yapılması, diş hekimliği pratiğinde en zor konulardan biridir. Bu lezyonların klinik görünümü ve radyografik özellikleri birbirine benze-yebildiğinden yanlış tanı riski artmakta, hastalar yanlış ve gereksiz tedaviye yönlendirilebilmekte veya gerçek patoloji tedavisiz kalabilmektedir. Tek başına klinik testler ve rutin radyografik incelemeler, bir lezyonun endodontik mi yoksa non-endodontik mi olduğunu kesin olarak belirle-mekte yetersiz kalabilir. Pulpa vitalite testleri, ağrı ve şişlik gibi semptomlar, hem endodontik hem de non-endodontik lezyonlarda görülebilir ve bu durum yanlış tanıya yol açabilir. Bu nedenle, tanı sürecinde multidisipliner bir yaklaşım benimsenmeli, hastanın öyküsü detaylı şekilde alınmalı ve gerekirse ileri görüntüleme yöntemleri (CBCT, ultrasonografi, BT veya MR) kullanılmalıdır. Kesin tanı histopatolojik inceleme ile doğrulanmalıdır; bu adım, tedavi planlamasında kritik öneme sahiptir. Periapikal lezyonların her zaman pulpal nekroz sonucunda gelişen inflamatuvar süreçlerden ibaret olmadığı ve bazı vakalarda lokal veya sistemik ciddi komplikasyonlara yol açabilecek patolojik durumlara sahip olabileceği unutulmamalıdır. Endodontik tedaviye yanıt vermeyen periapikal lezyonlarda, hastanın yaşı, lezyonun lokalizasyonu, dişin vitalitesi ve radyografik özellikleri detaylı şekilde incelenmeli ve gerektiğinde ileri tanısal yöntemler uygulanmalıdır. Non-endodontik lezyonların erken evrede tanısının konulması, hem gereksiz endodontik müdahalelerin önlenmesi-

ni hem de lezyonun prognozunun iyileştirilmesini sağlar. Her periapikal lezyon bağımsız ve dikkatle değerlendirilmesi gereken bir klinik durum olarak ele alınmalıdır. Bu yaklaşım, yalnızca yanlış tedavi uygulamalarını önlemekle kalmaz, aynı zamanda hastaların yaşam kalitesini artırır, kötü prognoz riskini azaltır ve periapikal patolojilerin yönetiminde uzun vadeli başarı sağlar.

KAYNAKÇA

- Abbott, P. V. (2004). Classification, diagnosis and clinical manifestations of apical periodontitis. *Endodontic Topics*, 8(1), 36-54.
- Aldelaimi, A. A., Enezei, H. H., Berum, H. E. R., Abdulkaream, S. M., Mohammed, K. A., & Aldelaimi, T. N. (2024). Management of a dentigerous cyst; a ten-year clinicopathological study. *BMC oral health*, 24(1), 831.
- Auer, L., & Van Velthoven, V. (1990). Intraoperative ultrasound (US) imaging. Comparison of pathomorphological findings in US and CT. *Acta neurochirurgica*, 104(3), 84-95.
- Barnes, L. (2005). *Pathology and genetics of head and neck tumours* (Vol. 9). IARC.
- Bender, I. (1982). Factors influencing the radiographic appearance of bony lesions. *Journal of Endodontics*, 8(4), 161-170.
- Bjørndal, L., Kirkevang, L.-L., & Whitworth, J. (2018). *Textbook of endodontology*. John Wiley & Sons.
- Boonkasemsanti, W., Padungkarn, C., Tewtipsakul, S., & Phattarataratip, E. (2025). Periapical lesions: Assessment of clinical diagnostic accuracy and prevalence of nonendodontic lesions mimicking endodontic pathoses. *International Endodontic Journal*.
- Camps, J., Pommel, L., & Bukiet, F. (2004). Evaluation of periapical lesion healing by correction of gray values. *Journal of Endodontics*, 30(11), 762-766.
- Cotti, E., Campisi, G., Garau, V., & Puddu, G. (2002). A new technique for the study of periapical bone lesions: ultrasound real time imaging. *International Endodontic Journal*, 35(2), 148-152.
- Çalışkan, M. (2004). Prognosis of large cyst-like periapical lesions following nonsurgical root canal treatment: a clinical review. *International Endodontic Journal*, 37(6), 408-416.
- De Rosa, C. S., Bergamini, M. L., Palmieri, M., de Santana Sarmento, D. J., de Carvalho, M. O., Ricardo, A. L. F., Hasseus, B., Jonasson, P., Braz-Silva, P. H., & Costa, A. L. F. (2020). Differentiation of periapical granuloma from radicular cyst using cone beam computed tomography images texture analysis. *Heliyon*, 6(10).
- Endodontists, A. A. o. (2003). *Glossary of endodontic terms*. American Association of Endodontists.
- Escoda Francolí, J., Almendros-Marqués, N., Berini Aytés, L., & Gay Escoda, C. (2008). Nasopalatine duct cyst: report of 22 cases and review of the literature. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 2008, vol. 13, num. 7, p. 438-443.
- Gajdhar, S. K., & Gajdhar, S. (2019). Ameloblastoma Mimicking The Periapical Lesion: A Case Report. *Annals of Dental Specialty*, 7(4-2019), 1-3.
- Gaurkar, S. S., Deshmukh, P. T., Singh, C. V., Khan, F. Q., & Deshmukh, P. (2022). A rare presentation of Dentigerous Cyst. *Cureus*, 14(6).
- Ghai, S. (2022). Ameloblastoma: an updated narrative review of an enigmatic

tumor. *Cureus*, 14(8).

- Giannini, P. J., Shetty, K. V., Horan, S. L., Reid, W. D., & Litchmore, L. L. (2006). Adenoid cystic carcinoma of the buccal vestibule: A case report and review of the literature. *Oral oncology*, 42(10), 1029-1032.
- Guimarães, G. G., da Cruz Perez, D. E., Netto, J. d. N. S., da Costa, A. C. O., da Silva Leonel, A. C. L., de Castro, J. F. L., & Pires, F. R. (2021). Nonendodontic periapical lesions: a retrospective descriptive study in a Brazilian population. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 26(4), e502.
- Gutmann, J. L., Baumgartner, J. C., Gluskin, A. H., Hartwell, G. R., & Walton, R. E. (2009). Identify and define all diagnostic terms for periapical/periradicular health and disease states. *Journal of Endodontics*, 35(12), 1658-1674.
- Hilfer, P. B., Bergeron, B. E., Ozgul, E. S., & Wong, D. K. (2013). Misdiagnosis of a nasopalatine duct cyst: a case report. *Journal of Endodontics*, 39(9), 1185-1188.
- Hirshberg, A., Shnaiderman-Shapiro, A., Kaplan, I., & Berger, R. (2008). Metastatic tumours to the oral cavity—pathogenesis and analysis of 673 cases. *Oral oncology*, 44(8), 743-752.
- Hjørtting-Hansen, E., Andreasen, J., & Robinson, L. (1969). A study of odontogenic cysts, with special reference to location of keratocysts. *British Journal of Oral Surgery*, 7(1), 15-23.
- Huang, H.-Y., Chen, Y.-K., Ko, E. C.-C., Chuang, F.-H., Chen, P.-H., Chen, C.-Y., & Wang, W.-C. (2017). Retrospective analysis of nonendodontic periapical lesions misdiagnosed as endodontic apical periodontitis lesions in a population of Taiwanese patients. *Clinical Oral Investigations*, 21(6), 2077-2082.
- Ismail, P. M. S., Apoorva, K., Manasa, N., Krishna, R. R., Bhowmick, S., & Jain, S. (2020). Clinical, radiographic, and histological findings of chronic inflammatory periapical lesions—A clinical study. *Journal of family medicine and primary care*, 9(1), 235-238.
- Jeong, J. W., Varghese, I. A., Won, Y. K., Vigneswaran, N., & Kirkpatrick, T. (2025). Intraosseous Adenoid Cystic Carcinoma Mimicking Endodontic Periapical Lesion Along With Orofacial Pain: A Case Report. *Australian Endodontic Journal*.
- Juerchott, A., Pfefferle, T., Flechtenmacher, C., Mente, J., Bendszus, M., Heiland, S., & Hilgenfeld, T. (2018). Differentiation of periapical granulomas and cysts by using dental MRI: a pilot study. *International journal of oral science*, 10(2), 17.
- Kakehashi, S., Stanley, H., & Fitzgerald, R. (1965). The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*, 20(3), 340-349.
- Karamifar, K., Tondari, A., & Saghiri, M. A. (2020). Endodontic periapical lesion: an overview on the etiology, diagnosis and current treatment modalities.

European endodontic journal, 5(2), 54.

- Khanna, R., Khanna, R., Binjoo, N., Gupta, H., Dharams, A., & Kumar, P. (2011). A diagnostic dilemma-endodontic lesion or keratocystic odontogenic tumor (KCOT): A case report. *Journal of Medical Laboratory and Diagnosis*, 2(5), 44-50.
- Kharat, N., Waghmare, P., Sarkar, M., Nawal, S., Sahu, T., & Dheeraj, M. (2020). Assessment of constant periapical lesions and their connection with endodontic failures after apical microsurgery. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 12(Suppl 1), S233-S237.
- Kosanwat, T., Poomsawat, S., & Kitisubkanchana, J. (2021). Non-endodontic periapical lesions clinically diagnosed as endodontic periapical lesions: A retrospective study over 15 years. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 13(6), e586.
- Kruse, C., Spin-Neto, R., Wenzel, A., & Kirkevang, L. L. (2015). Cone beam computed tomography and periapical lesions: a systematic review analysing studies on diagnostic efficacy by a hierarchical model. *International Endodontic Journal*, 48(9), 815-828.
- Larsson, Å., & Almerén, H. (1978). Ameloblastoma of the Jaws: An Analysis of a Consecutive Series of all Cases Reported to the Swedish Cancer Registry during 1958–1971. *Acta Pathologica Microbiologica Scandinavica Section A Pathology*, 86(1-6), 337-349.
- Lee, Y.-P., Hwang, M.-J., Wu, Y.-C., Lang, M.-J., Wu, Y.-H., & Chiang, C.-P. (2021). Clinicopathological study of periapical scars. *Journal of Dental Sciences*, 16(4), 1140-1145.
- Lin, L. M., Ricucci, D., Lin, J., & Rosenberg, P. A. (2009). Nonsurgical root canal therapy of large cyst-like inflammatory periapical lesions and inflammatory apical cysts. *Journal of Endodontics*, 35(5), 607-615.
- Márton, I. J., & Kiss, C. (2014). Overlapping protective and destructive regulatory pathways in apical periodontitis. *Journal of Endodontics*, 40(2), 155-163.
- McClary, A. C., West, R. B., McClary, A. C., Pollack, J. R., Fischbein, N. J., Holsinger, C. F., Sunwoo, J., Colevas, A. D., & Sirjani, D. (2016). Ameloblastoma: a clinical review and trends in management. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 273(7), 1649-1661.
- Modi, K., Padmapriya, R., Elango, S., Khandelwal, P., Arul, B., & Natanasabapathy, V. (2022). Nonmalignant nonendodontic lesions mimicking periapical lesions of endodontic origin: A systematic review. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 25(3), 214-225.
- Moura, B. D. S., Cavalcante, M. A., & Hespanhol, W. (2016). Keratocystic odontogenic tumor. *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões*, 43(6), 466-471.
- Nair. (1998). New perspectives on radicular cysts: do they heal? *International Endodontic Journal*, 31(3), 155-160.
- Nair, P. R. (1987). Light and electron microscopic studies of root canal flora and periapical lesions. *Journal of Endodontics*, 13(1), 29-39.

- Nair, P. R. (1997). Apical periodontitis: a dynamic encounter between root canal infection and host response. *Periodontology 2000*, 13(1), 121-148.
- Nair, P. R. (2004). Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 15(6), 348-381.
- Neville, B. W., Damm, D. D., Allen, C. M., & Chi, A. C. (2015). *Oral and maxillofacial pathology*. Elsevier Health Sciences.
- Nikitakis, N. G., Polymeri, A., Polymeris, A., & Sklavounou, A. (2012). Metastatic papillary thyroid carcinoma to the maxilla: case report and literature review. *Head and neck pathology*, 6(2), 216-223.
- Nobuhara, W. K., & Del Rio, C. E. (1993). Incidence of periradicular pathoses in endodontic treatment failures. *Journal of Endodontics*, 19(6), 315-318.
- Patel, S., Brown, J., Semper, M., Abella, F., & Mannocci, F. (2019). European Society of Endodontology position statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics: European Society of Endodontology (ESE) developed by. *International Endodontic Journal*, 52(12), 1675-1678.
- Patil, S., Alkahtani, A., Bhandi, S., Mashyakhy, M., Alvarez, M., Alroomy, R., Hendi, A., Varadarajan, S., Reda, R., & Raj, A. T. (2021). Ultrasound imaging versus radiographs in differentiating periapical lesions: a systematic review. *Diagnostics*, 11(7), 1208.
- Peters, E., & Lau, M. (2003). Histopathologic examination to confirm diagnosis of periapical lesions: a review. *Journal-Canadian Dental Association*, 69(9), 598-600.
- Pitt Ford, T. R., & Patel, S. (2004). Technical equipment for assessment of dental pulp status. *Endodontic Topics*, 7(1), 2-13.
- Pontes, F. S. C., Fonseca, F. P., de Jesus, A. S., Alves, A. C. G., Araújo, L. M., do Nascimento, L. S., & Pontes, H. A. R. (2014). Nonendodontic lesions misdiagnosed as apical periodontitis lesions: series of case reports and review of literature. *Journal of Endodontics*, 40(1), 16-27.
- Prashanth, B., Vidhya, M. S., Karale, R., & Kumar, G. V. (2020). Is odontogenic keratocyst an endodontic enigma? A rare case report of management of odontogenic keratocyst in anterior mandible. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology*, 24(Suppl 1), S7-S10.
- Ricucci, D., Amantea, M., Girone, C., & Siqueira Jr, J. F. (2020). Atypically grown large periradicular cyst affecting adjacent teeth and leading to confounding diagnosis of non-endodontic pathology. *Australian Endodontic Journal*, 46(2), 272-281.
- Schuch, L. F., Vieira, C. C., & Vasconcelos, A. C. U. (2021). Malignant lesions mimicking endodontic pathoses lesion: a systematic review. *Journal of Endodontics*, 47(2), 178-188.
- Shome, S., Mallick, A., Kundu, S., & Gayen, S. (2022). Gnathic variant of primary adenoid cystic carcinoma: A unique case report. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, 18(1), 286-290.
- Shu, M., Wong, L., Miller, J., & Sissons, C. (2000). Development of multi-species consortia biofilms of oral bacteria as an enamel and root

caries model system. *Archives of oral biology*, 45(1), 27-40.

- Simon, D., Somanathan, T., Ramdas, K., & Pandey, M. (2003). Central Mucoepidermoid carcinoma of mandible—A case report and review of the literature. *World journal of surgical oncology*, 1(1), 1.
- Siqueira Jr, J. F., Antunes, H. S., Pérez, A. R., Alves, F. R., Mdala, I., Silva, E. J., Belladonna, F. G., & Rôças, I. N. (2020). The apical root canal system of teeth with posttreatment apical periodontitis: correlating microbiologic, tomographic, and histopathologic findings. *Journal of Endodontics*, 46(9), 1195-1203.
- Speight, P. M., & Takata, T. (2018). New tumour entities in the 4th edition of the World Health Organization Classification of Head and Neck tumours: odontogenic and maxillofacial bone tumours. *Virchows Archiv*, 472(3), 331-339.
- Speight, P. M., & Tekkesin, M. S. (2025). Classification and Pathogenesis of Odontogenic and Nonodontogenic Jaw Cysts. *Pathological Basis of Oral and Maxillofacial Diseases*, 567-584.
- Stoelinga, P. J. (2001). Long-term follow-up on keratocysts treated according to a defined protocol. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 30(1), 14-25.
- Sullivan, M., Gallagher, G., & Noonan, V. (2016). The root of the problem: Occurrence of typical and atypical periapical pathoses. *The Journal of the American Dental Association*, 147(8), 646-649.
- Suter, V. G., Büttner, M., Altermatt, H. J., Reichart, P. A., & Bornstein, M. M. (2011). Expansive nasopalatine duct cysts with nasal involvement mimicking apical lesions of endodontic origin: a report of two cases. *Journal of Endodontics*, 37(9), 1320-1326.
- Suter, V. G., Sendi, P., Reichart, P. A., & Bornstein, M. M. (2011). The nasopalatine duct cyst: an analysis of the relation between clinical symptoms, cyst dimensions, and involvement of neighboring anatomical structures using cone beam computed tomography. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 69(10), 2595-2603.
- Tavares, D.-P., Rodrigues, J.-T., Armada, L., & Pires, F.-R. (2017). Clinical and radiological analysis of a series of periapical cysts and periapical granulomas diagnosed in a Brazilian population. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 9(1), e129.
- Trattner, B. A., Barak, Y., & Tordik, P. A. (2018). Mucoepidermoid carcinoma mimicking a lesion of endodontic origin. *Journal of Endodontics*, 44(8), 1303-1307.
- Trope, M., Pettigrew, J., Petras, J., Barnett, F., & Tronstad, L. (1989). Differentiation of radicular cyst and granulomas using computerized tomography. *Dental Traumatology*, 5(2), 69-72.
- Tsisis, I., Krepel, G., Koren, T., Rosen, E., & Kfir, A. (2020). Accuracy for diagnosis of periapical cystic lesions. *Scientific reports*, 10(1), 14155.
- Umeda, M., Yokoo, S., Shibuya, Y., Komori, T., & Obayashi, C. (2003). Central

- poorly differentiated adenocarcinoma of the maxilla: Report of a case. *KOBE JOURNAL OF MEDICAL SCIENCES*, 49(1/2), 45-49.
- Vasconcelos, R., de Aguiar, M. F., Castro, W., de Araújo, V. C., & Mesquita, R. (1999). Retrospective analysis of 31 cases of nasopalatine duct cyst. *Oral diseases*, 5(4), 325-328.
- Vieira, C. C., Pappen, F. G., Kirschnick, L. B., Cademartori, M. G., Nóbrega, K. H. S., do Couto, A. M., Schuch, L. F., Melo, L. A., Dos Santos, J. N., & de Aguiar, M. C. F. (2020). A retrospective Brazilian multicenter study of biopsies at the periapical area: identification of cases of nonendodontic periapical lesions. *Journal of Endodontics*, 46(4), 490-495.
- Waldron, C. A., & Koh, M. L. (1990). Central mucoepidermoid carcinoma of the jaws: report of four cases with analysis of the literature and discussion of the relationship to mucoepidermoid, sialodontogenic, and glandular odontogenic cysts. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 48(8), 871-877.
- White, S. C., & Pharoah, M. J. (2014). *Oral radiology-E-Book: Principles and interpretation*. Elsevier Health Sciences.
- Yamamoto-Silva, F. P., Silva, B. S. d. F., Batista, A. C., MENDONÇA, E. F. d., Pinto-Junior, D. d. S., & Estrela, C. (2017). Chondroblastic osteosarcoma mimicking periapical abscess. *Journal of Applied Oral Science*, 25(4), 455-461.
- Zaleckiene, V., Peculiene, V., Brukiene, V., & Drukteinis, S. (2014). Traumatic dental injuries: etiology, prevalence and possible outcomes. *Stomatologija*, 16(1), 7-14.

Bölüm 3

ENDODONTİK TEDAVİ GÖRMÜŞ DİŞLERDE RESTORATİF YAKLAŞIMLAR

Şevval Hazar¹, Sadullah Kaya¹ Merve Yeniçeri Özata¹

1Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Diyarbakır,
Türkiye

GİRİŞ

Endodontik tedavinin birincil amacı, kök kanal sistemindeki mikro-organizmaların elimine edilmesi yoluyla periodontal dokuların iyileşmesini sağlamak ve post- endodontik restorasyonlarla birlikte dişin normal fonksiyonu ile oklüzyonunu geri kazandırmaktır (Trope et al., 2002; Varlan et al., 2009). Bununla birlikte, tedavi amacına yönelik bu girişimler diş dokusunda birtakım değişiklikleri de beraberinde getirmektedir. Kök kanal tedavisi sırasında kullanılan kanal içi medikamentler ve irri-ganlar ile kalsiyum hidroksidin uzun süreli kullanımı, dentinin fiziksel özelliklerini değiştirir, bununla birlikte dentin sıvısının kaybı dentinin kırılmaya yatkın hale gelmesine neden olur (Ratnakar et al., 2014). Dişin kırılabilirliği ile ilgili bir başka görüş ise kanal tedavisi uygulanan dişlerde kollajen azalması nedeniyle dentin elastikiyetinin düştüğü ve bunun diş kırılmaya yatkın hâle getirdiği şeklindedir (Eliyas et al., 2015). Bazı araştırmacılar ise diş yapısındaki zayıflamayı kanal dolumu sırasında uygulanan kuvvetlere bağlamıştır (Pitts et al., 1983). Bununla birlikte güncel çalışmalar dişlerin zayıflamasında esas etkenin, marjinal sırtların, tüberküllerin kaybı ile giriş kavitesi hazırlıkları sırasında meydana gelen diş dokusu kaybı olduğunu ortaya koymaktadır (Sedgley & Messer, 1982). Nitekim yakın zamanda gerçekleştirilen bir çalışmada, endodontik oklüzal kavite hazırlığının dişlerin tüberkül dayanıklılığını %20, me-zial-oklüzal-distal (MOD) kavite hazırlığının ise %63 oranında azalttığı bildirilmiştir (Reeh et al., 1989). Kanal tedavili dişler pulpanın kaybı nedeniyle artan yükü algılamada daha az uyumlu olurlar ve gelen çiğneme kuvvetlerine yanıt kaydetmesi için vital bir dişe göre 2,5 kat daha fazla yük gerekmektedir. Bu nedenle, çiğneme kuvvetlerinin neden olduğu sert doku hasarına karşı korunmaları vital dişlere göre daha düşüktür (Muthiah et al., 2023). Dişlerdeki bu yapısal değişiklikler ve diş dokusu kayıpları göz önüne alındığında, dişin stabilitesini artırarak fraktür riskini azaltacak ve uzun dönem sağ kalımını destekleyecek restorasyonlara ihtiyac vardır (Abumelha et al., 2018).

Kök kanal tedavili bir dişte koronal restorasyonun kalitesi, dişin uzun vadeli prognozu için kritik öneme sahiptir (Sedgley & Messer, 1982). Çünkü koronal mikro sızıntı, endodontik başarısızlığın başlıca nedenlerinden biri olarak kabul edilir (Sharma et al., 2020). Başarılı bir koronal restorasyon, bakteriyel mikro sızıntıyı minimize ederek diş kaybı riskini azaltabilecekken uzun vadede, yetersiz bir koronal restorasyon mikro-sızıntıya ve nihayetinde kök kanal tedavisinin başarısızlığına yol açabilir (Güllü et al., 2025; Saunders & Saunders, 1994). Heling ve ark. yaptıkları bir çalışmada iyi bir endodontik tedavi ile yetersiz bir restorasyon kombi-

nasyonunda başarı oranının yalnızca %18,1 olduğunu belirtmiş (Heling et al., 2002). Apikal iyileşme açısından, yeterli kök kanal tedavisi ile başarılı bir koronal restorasyonların birlikte uygulandığında başarı oranlarının %91,4'e kadar ulaştığı gösterilmiştir (Ray & Trope, 1995). Epidemiyolojik bir çalışmada yetersiz restorasyonların kök kanal tedavili dişlerde apikal periodontitis gelişimi için en önemli risk faktörlerinden biri olduğu bildirilmiştir (Kirkevang et al., 2007). Benzer şekilde, yeterli restoratif tedavi ile yeterli kök kanal tedavisinin birlikte yapılmasının apikal periodontitis iyileşme olasılığını artırdığı sonucuna varılmıştır (Gillen et al., 2011). Tedavi edilen dişlerde sadece kök dolgusu yetersiz ise apikal periodontitis görülme sıklığı %39,2 iken hem kök dolgusu hem restorasyonun yetersiz olduğu durumlarda apikal periodontitis gelişme sıklığı %60 olarak ölçülmüştür (Dawson et al., 2016). Fuss ve ark. Endodontik tedavili dişlerin %11'inin uygunsuz restorasyonlar nedeniyle çekildiği bildirilmiş dişlerin çekilmesinin en yaygın nedeni, büyük ölçüde restorasyonlar ile ilişkilendirilmiştir (Fuss et al., 1999). Bu yüzden, endodontik tedavi görmüş bir dişin doğru ve etkin bir şekilde restore edilmesi tedavinin sürdürülebilir başarısı için oldukça önemli bir işlemdir (Ng et al., 2006). Dişler, uygun bir restorasyon seçimi için sistematik bir tedavi planına göre ele alınmalıdır. Uygun restorasyon seçimi için kalan diş dokusu, restoratif malzemenin fiziksel özellikleri gibi önemli faktörler dikkate alınmalıdır (Varlan et al., 2009).

Restorasyon Seçenekleri:

Direkt Restorasyonlar

Direkt restorasyonlar, iyi klinik performansları, uzun dönem sağ kalım oranları ve düşük maliyetleri nedeniyle, günümüzde tedavi seçenekleri arasında hala en uygun restoratif seçenek olarak kabul edilmektedirler (Van de Sande et al., 2016).

Amalgam:

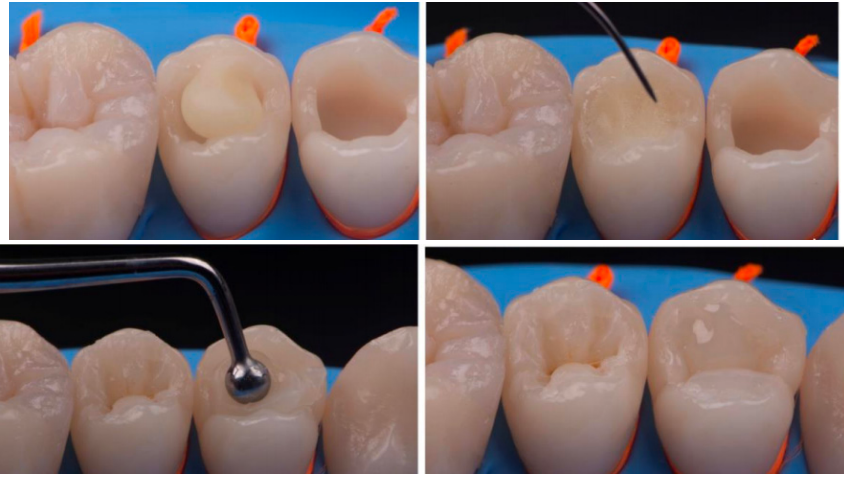


Resim 1. Amalgam restorasyon (Santos et al., 2023)

Amalgamlar diş hekimliğinde kullanılan çok yönlü restoratif materyallerden biridir (Bharte et al., 2010). Diş hekimleri tarafından kullanılan tüm restoratif materyallerin yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır çünkü ekonomik açıdan bu restorasyonlara yeterli bir alternatif hala bulunamamaktadır. Amalgamlar sertleşme sırasında meydana gelen kimyasal genişleme sonucu artan kenar sızdırmazlığı sağlar ve bu sayede post-operatif hassasiyetin azalmasına katkıda bulunurlar (Peroz et al., 2005). Ayrıca bu restorasyonların oklüzal yük taşıyan bölgelerde uzun dönem performansı da oldukça güvenilir kabul edilir. Amalgamlar düşük teknik hassasiyet gerektirmesi ve düşük maliyetli olması gibi avantajlarla da sıkça tercih edilmektedir (Bharte et al., 2010). Ancak estetik nedenler göz önüne alındığında diş rengiyle uyumlu olmadığından tercih edilmezler. Bununla birlikte amalgamların diş dokusuna adeviz özelliğinin olmaması, cıva içeriğine sahip olması ve oral dokularda galvanik akıma yol açabilmeleri gibi kullanımını sınırlayan önemli faktörleri de mevcuttur (Peroz et al., 2005). Manhart ve ark. posterior restorasyonların uzun dönem performansına dair yapılan bir derlemede kompozit ve amalgam ile restore edilen dişlerin beş yıllık başarı oranının benzer olduğunu rapor

etmiştir. Çalışmalar beş yılı aştığında ise amalgamların genellikle daha yüksek bir sağ kalım oranına sahip olduğu görülmüş (Manhart et al., 2004). Hommez ve ark. kompozit ile restore edilen dişlerde amalgam ile restore edilenlere göre daha fazla apikal periodontitis gelişimi tespit etmiş (Hommez et al., 2002). Ancak Stassen ve ark. amalgam ile kompozit arasında periapikal durum açısından anlamlı bir fark bulunmadığını belirtmiş (Stassen et al., 2006).

Kompozit:



Resim 2. Kompozit restorasyon (Pizzolotto & Moraes 2022)

Kompozitler doğal diş rengini taklit etme yeteneği, adeziv bağlanma özellikleri ve indirekt materyallere göre düşük maliyetli olmaları nedeniyle sıkça kullanılmaktadır (Demarco et al., 2011). Kompozit restorasyonlar, adeziv özellikleri sayesinde diş sert dokularına güçlü bir şekilde bağlanabilir; bu durum yalnızca çürük bölgesinin temizlenmesini ve sağlıklı diş dokusunun mümkün olduğunca korunmasına katkıda bulunur (Demarco et al., 2017). Sistemik derlemeler, kompozit restorasyonların iyi bir klinik performansa sahip olduğunu ve ağız içerisinde uzun yıllar sağ kalım ömrüne sahip olduğunu göstermiş yıllık başarısızlık oranlarının sadece %1 ile %4 arasında değiştiğini bildirmiştir (Demarco et al., 2011)

Bununla birlikte kompozitlerdeki polimerizasyon büzülmesi su emilimi ve mikro sızıntısı gibi özellikleri dezavantajları arasında gösterilmektedir. Buna bağlı olarak kompozitlerin zamanla mekanik özelliklerini kaybetme eğiliminde olabilecekleri belirtilmiştir (Güllü et al., 2025). Kavite boyutunun artması, dişin oklüzyondaki konumuna bağlı olarak

maruz kaldığı mekanik yüklerin artması ve endodontik tedavi varlığı, restorasyonların klinik ömrünü olumsuz etkileyebilecek faktörlerdir (Demarco et al., 2017). Kısa ve uzun dönem klinik çalışmalar kompozit restorasyonlarda gözlenen başarısızlıkların başlıca nedenlerinden birinin restorasyon kırıkları olduğunu ortaya koymuştur; bu kırıklar, kavite boyutu ve kompozit hacminin artmasıyla ilişkilendirilmektedir (Demarco et al., 2011). Bernardo ve ark. tarafından yürütülen yedi yıllık klinik takip çalışmasında, iki farklı materyalin posterior restoratif tedavideki performansı karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, sekonder çürüğün hem kompozit hem de amalgam restorasyonlarının değiştirilmesindeki başlıca neden olduğunu göstermiş ve kompozitlerde sekonder çürük riskinin 3,5 kat daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Bernardo et al., 2007). Amalgam restorasyonlarda materyal genleşmesi, kenar sızdırmazlığını artırarak olumlu bir etki sağlarken, kompozitlerde ortaya çıkan mikro sızıntılar restorasyonlar için olumsuz bir etkiye sahiptir (Güllü et al., 2025; Shah et al., 2021). Mjor ve ark. farklı uygulamalarla restore edilen dişleri incelemiş ve amalgamın ortalama değiştirilme süresini 15 yıl, kompozitin ise 8 yıl olarak rapor etmiştir (Mjor et al., 1998).

İndirekt Restorasyonlar:

Adeziv teknolojilerindeki ilerlemeler ve estetik beklentilerdeki artış, indirekt restorasyonların kullanım endikasyonlarını artırmıştır (Morimoto et al., 2016). Yapılan çalışmalar indirekt restorasyonların direkt restorasyonlara göre daha yüksek klinik başarı oranlarına sahip olduğunu belirtir. Kanal tedavisinden sonra dişlerin 5 ila 10 yıl süreyle takip edildiği bazı çalışmalar, indirekt restorasyon yapılan dişlerin direkt restorasyona göre daha iyi hayatta kalma oranına sahip olduğunu göstermektedir (Ng et al., 2010). İndirekt ve direkt restorasyonların karşılaştırıldığı bir çalışmada kanal tedavisinin yenilenme gereksinimi indirekt restorasyon yapılan dişlerde %1,2 iken direkt restorasyon yapılan dişlerde %2,4 olarak görülmüştür. Ayrıca çekim oranı, indirekt restorasyon yapılan dişlerde %5 iken direkt restorasyon yapılan dişlerde %9,5 oranıyla daha yüksek bulunmuştur (Dawson et al., 2017). Kanal tedavisi sonrası direkt restorasyon yapılan dişlerin %30,3'ünün 6 ay içinde en az 1 ek direkt restorasyona gereksinim duyduğu, %8,3'ünün ise 5 yıllık takip süresince indirekt restorasyonla değiştirildiği belirtilmiştir (Dawson et al., 2017).

Bununla birlikte Isaac ve ark. yaptıkları çalışmada endodontik te-

davi sonrasında daimi indirekt restorasyonun **erken dönemde (4 ay içinde)** yapılan dişlerde, geç dönemde uygulananlara kıyasla çekim oranının 3 kat daha düşük olduğu belirtilmektedir (Pratt et al., 2016).

Onley:



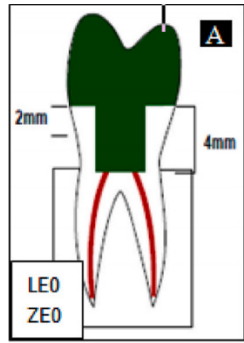
Resim 3. Onley restorasyon (Veneziani, 2017)

Adeziv sistemlerindeki gelişmeler, rezin kompozitlerin kullanımındaki problemler, ve estetik taleplerin artması, diş rengindeki **onley restorasyonlarının** endikasyonlarını artırır (Morimoto et al., 2016). Bu restorasyonlar kalan diş dokusunu önemli ölçüde etkileyen geleneksel kuron uygulamalarından kaçınmayı amaçlayan konservatif bir seçenek olarak öne çıkar (Edelhoff & Sorensen, 2022). İndirekt onley restorasyonların, özellikle büyük defektli posterior dişlerin fonksiyonları üzerinde direkt restorasyonlara göre daha fazla kontrol sağladığı belirtilmektedir (Banks, 1990). Bu restorasyonlar özellikle sert doku kaybının fazla olduğu dişlerin restorasyonunda zayıflamış diş dokusunu güçlendirmekte ve korunmasına olanak sağlamaktadır (Douglas, 1985). Bununla birlikte bu resto-

rasyonlar daha kapsamlı diş preparasyonu gerektirmesiyle uygulama zorluğuna sahiptir ve direkt restorasyon seçenekleriyle kıyaslandığında hala maliyetli olarak kabul edilmektedir (Morimoto et al., 2016). Bunun yanı sıra bu tür restorasyonlar porselenin kırılabilirliği, siman yetersizliği ve uyumsuzluk gibi sorunlarla karşılaşma riski de barındırmaktadır (Banks, 1990).

Onley restorasyonlar, endodontik tedavi görmüş dişlerde güçlü adeziv bağlantı sayesinde peri-servikal dentinin korunmasına katkı sağlar ve restore edilen dişlerin kırılma direncini doğal dişlere yakın hale getirir (Pashley et al., 2011). Onleyler üzerinde yapılan orta vadeli çalışmalar incelendiğinde, 2-5 yıl süresince sağ kalım oranının %91-100 arasında değiştiği görülmektedir. Daha uzun süreli çalışmalar (5 yıldan uzun) ise genellikle daha düşük sağ kalım oranları bildirmekte ve %71-98,5 aralığında seyretmektedir. Bununla birlikte, devital dişlerde sağ kalım oranlarının vital dişlere kıyasla daha düşük olduğu, ancak yine de klinik performanslarının kabul edilebilir seviyede olduğu belirtilmiştir (Abduo & Sambrook, 2018).

Endokuron:



Resim 4. Endokuron şematik görüntüsü (Al Fodeh et al., 2023)

Endokuron pulpa odasından destek alan bir kuron restorasyonudur (Bindl & Mörmann, 1999). Post destekli kuronlara göre daha az invazivlerdir ve minimal invaziv diş hekimliği uygulamalarının ilerlemesiyle beraber daha popüler hale gelmişlerdir (Güllü et al., 2025). Endokuronlar pulpa odasını da içerdikleri için adeziv bağlanma yüzeyleri daha büyüktür. Daha geniş bağlanma yüzeyi nedeniyle diğer restorasyonlara göre daha iyi bağlanma ve tutuculuk gösterirler bu sayede diş daha uzun

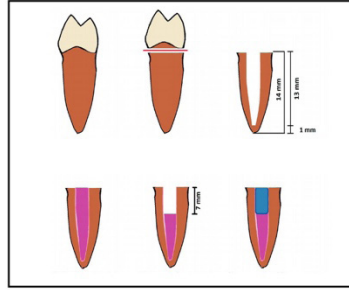
kullanım ömrü sağlayabilirler (Irmaleny et al., 2019). Endokuron koronal restorasyon içinde uygun stres dağılımı sağlar, monoblok yapıları sayesinde stresi daha iyi karşılar ve oklüzal basınçların eşit iletimini destekler. Geleneksel prosedürlerle karşılaştırıldığında, endokronların daha iyi estetik ve fonksiyonel sonuçlar sunmasının yanı sıra kısa sürede tamamlanabilmesi de başlıca avantajları arasında yer almaktadır (Gulec & Ulusoy, 2017).

Bununla birlikte endokuronların klinik performansları molarlarda premolarlara göre daha yüksek bulunmuştur. Premolardaki başarısızlığın başlıca nedeni bağlanmadaki kohezyonel kopmalar olarak görülür (Bindly et al., 2005). Endokuronların premolarlar üzerindeki başarısını arttırmaya yönelik çalışmalarda farklı endokuron kalınlıklarının (1.0 mm, 2.0 mm ve 3.0 mm) premolarlar üzerindeki klinik performansları karşılaştırılmış endokuron kalınlığı arttıkça dentinde stres artarken siman deformasyonun azaldığı görülmüştür.

Farklı elastik modülüne sahip materyallerin karşılaştırıldığı bir çalışmada ise daha yüksek elastik modüllü materyallerin dentin stresini artırırken siman deformasyonunu azalttığı; daha düşük elastik modüllü materyallerin ise tam tersi etki gösterdiği görülmüştür (Zhu et al., 2017).

Junxin ve ark. endodontik tedavi sonrası uygulanan farklı restorasyon türlerinin 2 yıllık takipleriyle yapılan başarı oranlarının değerlendirildiği bir çalışmada, diş kaybı riski açısından kompozit ve endokuron restorasyonlar arasında anlamlı fark bulunmamış, 6 Altı aylık periodontal değerlendirmede ise cep derinliği, plak indeksi ve gingival indeks incelenmiş, her iki restorasyon grubu arasında yine istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

Buna karşın 2 yıl sonunda yüzey özelliklerine ve marjinal bütünlüğüne bakıldığında endokuronlarda olumsuz etki gözlenmemiş ve hasta geri bildirimlerine bakıldığında endokuronların daha üstün estetik sonuçlar sunduğu belirtilmiş (Güllü et al., 2025).

Post - Kor:

Resim 5. Post-kor şematik görüntüsü (Qamar et al., 2022)

Endodontik tedavi görmüş dişlerin, geniş yapısal defektleri nedeniyle sabit protetik tedavisi planlanırken retansiyon amaçlı post-kor restorasyonlara ihtiyaç duyabilir (Tokasvul et al., 2006). Koronal yapının büyük ölçüde kaybedildiği veya dişin koronal yapısının %50'sinden fazlasının eksik olduğu durumlarda, post-kor uygulaması önerilir (Christensen, 1996). Post yuvası, kor materyalinin retansiyonunu sağlar ve oklüzal stresleri kalan destek dokulara dağıtır. Literatür post-kor uygulanacak dişlerde 1,5–2 mm çevresel ferrül tasarımı, restorasyonun uzun dönem başarısı için kritik öneme sahip olduğunu ve restorasyonu anlamlı ölçüde güçlendirdiğini ortaya koymaktadır (Zicari et al., 2013). Ferrule, dişin kökü veya kronu etrafında oluşturulan, kalan diş dokusu üzerine yerleştirilen tam kuronun dokuları sarmasıyla orataya çıkan koruyucu, destekleyici etkidir (Ng et al., 2006). Ferrule etkisi, endodontik tedavi görmüş dişleri; fonksiyonel kuvvetlere, konik postların oluşturduğu kama etkisine karşı ve post yerleştirme sırasında uygulanan lateral kuvvetlere karşı güçlendirir (Ng et al., 2006).

Kanal içi postlarla restore edilen endodontik tedavili dişlerin uzun dönem başarısı, kalan koronal yapı miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Literatür, minimum 1,5–2 mm koronal yapı mevcut olduğunda post ile restore edilen dişlerin daha iyi performans gösterdiğini belirtmektedir (Zicari et al., 2013). Libman ve ark. yaptığı çalışmada döküm post-kor uygulanan dişlerde 1.5 mm eksternal duvar yüksekliğinin restorasyonun dayanıklılığını; prefabrike post uygulanan dişlerde ise 2.0 mm eksternal duvar yüksekliğinin kırılma direncini artırdığını rapor etmişler (Libman & Nicholls, 1995).

Postlar, prefabrike veya özel döküm yöntemleriyle üretilebilir.

Döküm Post-kor

Döküm post-korlar yüksek kuron harabiyeti olan dişlerde koronal yapıyı desteklemek için tercih edilen restoratif yöntemdir ve uzun yıllar altın standart olarak kabul edilmişlerdir. Döküm post-kor tekniğinin temel avantajı, post alanına yakın uyum sağlaması ve kanala pasif oturması sayesinde kök içerisindeki kuvvetlerin eşit şekilde dağılımını sağlamasıdır. Döküm post ile restore edilen dişlerde görülen başarısızlık türleri, postun yerinden çıkmasından, kök kırıklarına kadar değişkenlik göstermektedir. Bu restorasyona sahip dişlerde en sık çekim nedeni, kök kırıkları olarak bildirilmiş olup. Döküm post-kor ile restore edilen dişlerde, tamir edilemez başarısızlıkların daha yüksek oranda olduğu da rapor edilmiştir (Shamseddine & Chaaban, 2016).

Maroulakos ve ark, çalışmalarında post türünün dişlerin kırılma direncini etkileyen önemli bir faktör olduğunu vurgulamış ve döküm postların fiber postlara kıyasla daha yüksek kırılma direncine sahip olduğunu göstermiştir (Maroulakos et al., 2015). Ancak Maria ve ark, çalışmasında post tipinin diş sağ kalımı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını ve diş sağ kalımı açısından esas belirleyici faktörün diş tipi olduğunu belirtmiştir. Post uygulamasının posterior dişlerde basınç kuvvetlerine karşı etkili olmasına rağmen, anterior dişlerin non-aksiyel kesme kuvvetlerine daha fazla maruz kalmasından dolayı daha yüksek başarısızlık riski taşıdığı belirtilmiştir (Bruhnke et al., 2022). Bununla birlikte, anterior dişlerde başarı oranı kıyaslandığında ise, döküm postların fiber postlara göre anterior dişlerde kırılma direncinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Maroulakos et al., 2015).

Prefabrike Postlar

Döküm post-korların uzun yıllar kullanılmasının ardından daha basit prosedürler ve estetik beklentiler, önce metalden yapılan daha sonra da fiber ile güçlendirilmiş prefabrike postların gelişimini beraberinde getirmiştir (Pinto et al., 2019). Prefabrike postların doğrudan simante edilebilmesi ve tek seansta uygulanabilmesi önemli bir avantajlar olarak görülmüş ve kullanım sıklığının artmasını sağlamıştır (Ng et al., 2006). Prefabrik postlar metalden, seramik veya fiber malzemelerden üretilir.

Metalik Postlar

Metal postlar kırılmaya karşı dayanıklı olmaları nedeniyle başarılı post materyalleri olarak gösterilmekte ve güvenilir bir restoratif seçenek olarak kullanılmaktadır (Gomez et al., 2010). Ancak metalik postların, dentinle karşılaştırıldığında oldukça farklı bir elastik modülüne sahip olmaları nedeniyle stres dağılımında yetersiz kaldıkları; bu durumun kök dentininde stres birikimine yol açarak dişlerde dikey kök kırıklarına neden olabileceği bildirilmiştir (Sirimai et al., 1999).

Fiber Postlar

Laboratuvar çalışmaları fiber postların mekanik ve fiziksel özellikler açısından elverişli performans gösterdiğini ortaya koymaktadır (Barfeie et al., 2015). İn vivo ve in vitro çalışmalar fiber postların, dentine yakın elastik modüllüne sahip olduğu gösterilmiş bu sayede stres dağılımını iyileştirmeye yardımcı olduğu belirtilmiştir (Monticelli et al., 2004). Bununla birlikte klinik literatürlerde fiber postlu dişlerde simantasyonda başarısızlık ve kök kırığı veya post kırığı meydana gelmesi gibi başarısızlık nedenleri rapor edilmiştir. Yapılan 19 çalışmanın 16'sında en sık görülen başarısızlık nedeni simantasyonlarla ilişkilendirilmiştir (Barfeie et al., 2015).

Mevcut kanıtlar, metal ve fiber postların kısa dönem sağ kalım olasılığı açısından arasında bir fark bulunmadığını göstermektedir (Barfeie et al., 2015). Yapılan bir diğer çalışmada döküm post, fiber post, metal post, postsuz sadece kompozit kor, uygulanan dişlerin kırılma dayanımları ölçülmüş ve kontrollü yükleme ile oluşturulan kırıkların tipleri incelenmiştir. Post içeren gruplar arasında kırılma dayanıklılığı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken sadece kompozit kor uygulanan dişlerde kırılma dayanıklılığı değerleri, anlamlı derecede düşük bulunmuş. Oluşturulan kırık tipleri incelendiğinde ise yalnızca prefabrike metal post, uygulanan grupta %50 oranında onarılamaz kırıklar gözlenmiştir (Pinto et al., 2019).

Tam Kuron:



Resim 6. Tam kuron restorasyon (Moura et al., 2023)

Tam kuron restorasyonlar uzun yıllardır kalan diş dokusunun restore edilmesi, estetiğin sağlanması ve oklüzyon ile fonksiyonun geri kazandırılması amacıyla kullanılmaktadır (Abusteit et al., 2022). Önceki çalışmalar, özellikle koronal diş kaybının büyük olduğu durumlarda, kuron yerleştirmenin en yaygın koronal restorasyon yöntemi olduğunu göstermiştir (Abumelha et al., 2018).

Klinik çalışmalar da endodontik tedavi görmüş dişlerin, kalan diş dokusunu korumak için ekstrakoronal retansiyona dayalı tam kuronlarla restore edilmesi gerektiğini önermektedir (Zhu et al., 2017). Bu restorasyonların klinik performansları genellikle tatmin edici düzeyde olup genel olarak, endodontik tedavi sonrası kuron ile restore edilen dişlerde fraktür oranı, anlamlı derecede daha düşük bulunmuş (Abusteit et al., 2022; Dammaschke et al., 2023).

Endodontik tedavi sonrası farklı restorasyon tiplerinin uzun dönem sağ kalımı incelenen bir başka çalışmada ise kuron ile restore edilen dişlerin, kompozit veya amalgam ile restore edilen dişlere kıyasla çekilme riskinin 2,29 kat daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar, kuronlu dişlerin uzun dönem sağ kalım oranlarının daha yüksek olduğunu desteklemektedir (Pratt et al., 2016).

Farklı kuron tiplerinin etkilerini incelediği bir çalışmada kuron tipinin kırılma direnci üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Dişlerdeki kırılma direnci kuron tipinden ziyade post varlığından etkilenmiştir (Ng et al., 2006). Post-core uygulanan ve sonrasında kuron ile restore edilen dişlerin kırılma direncinde artış gözlemlenirken, post varlığının restore edilebilir kırık oranını artırdığı da saptanmıştır. Buna karşın kuron restorasyonunun post kullanımına bakılmaksızın kökün kırılma direncini anlamlı ölçüde artırdığı da bildirilmektedir (Sornkul & Stannard, 1992).

Abumelha ve ark., başarılı bir endodontik tedavi sonrasında farklı restorasyon türleriyle restore edilen dişlerde iyileşme oranlarını incelemiş; kuronlanan dişlerde %65,21, amalgam restorasyonlu dişlerde %48,7 ve kompozit restorasyonlu dişlerde %36 oranında iyileşme bildirmiştir. Bu bulgular, post-endodontik tedavilerde kuron restorasyonu yapılan vakaların çoğunda daha yüksek oranda iyileşme sağlandığını göstermektedir (Abumelha et al., 2018). Bununla birlikte koronal restorasyon kalitesi yeterli olduğu sürece, kuronlarla restore edilen kök kanal tedavili dişler ile kompozit veya amalgamla restore edilenler arasında periapikal durum açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır. Yeterli ve yetersiz restorasyonlar birlikte değerlendirildiğinde ise apikal periodontitis görülme sıklığının kompozit ve kuron ile restore edilen dişlerde göre amalgamda daha düşük olduğu bulunmuştur (Dawson et al., 2016).

SONUÇ

Endodontik tedavi sonrası restoratif yaklaşımlar, tedavinin uzun dönem başarısını belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Kök kanal tedavisi uygulanmış dişler, pulpa dokusunun kaybına bağlı olarak biyomekanik açıdan zayıflamakta, dentin kırılgenliğinde artış ve koronal dokuda kayıp söz konusu olmaktadır. Bu nedenle restoratif seçimi yapılırken mevcut koronal diş dokusu miktarı temel kriterleri oluşturmaktadır. Yeterli doku miktarının korunduğu vakalarda kompozit rezin restorasyonların adeziv sistemler aracılığıyla sağladıkları mikromekanik

bağlantı sayesinde etkin bir sızdırmazlık, tatmin edici estetik ve fonksiyonel dayanıklılık sağladığı; buna karşın polimerizasyon büzülmesine bağlı mikro sızıntı riskinin göz ardı edilmemesi gerektiği bilinmektedir. Geleneksel olarak kullanılan amalgam restorasyonlar, yüksek basma dayanımları ve kolay uygulanabilirlikleri ile belirli bir başarıya sahip olmakla birlikte adeziv özellik göstermemeleri, marjinal sızıntıya yatkınlıkları ve estetik açıdan yetersizlikleri nedeniyle günümüzde sınırlı kullanıma sahiptir. Daha geniş doku kaybı durumlarında onley restorasyonlar, özellikle oklüzal yüzeylerin büyük oranda kaybedildiği dişlerde fonksiyonel yükleri homojen dağıtma ve marjinal adaptasyonu iyileştirme potansiyelleriyle önemli bir seçenek oluşturmaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda endokuron restorasyonlar da post hazırlığına gerek kalmadan pulpa odasını retatif bir alan olarak kullanmaları sayesinde daha minimal invaziv bir alternatif olarak öne çıkmış, kök kanal dentininin gereksiz preparasyondan korunmasına ve fonksiyonel dayanıklılığın artırılmasına katkıda bulunmuştur. Ancak koronal doku kaybının ileri düzeyde olduğu ve kalan duvar sayısının minimal olduğu vakalarda tam kuronlar en güvenilir restoratif yaklaşım olarak değerlendirilmektedir; bu tür durumlarda çoğunlukla post-core desteğine ihtiyaç duyulmakta, özellikle fiber postlar dentine yakın elastik modülleri sayesinde stres dağılımında avantaj sağlayarak kök kırığı riskini azaltmaktadır. Sonuç olarak, endodontik tedavi sonrası restorasyon seçimi amalgamdan kompozite, onleyden endokurona ve tam kurona kadar uzanan geniş bir spektrum içerisinde değerlendirilmekte olup, her olguya özgü biyomekanik, fonksiyonel ve estetik gereksinimlerin bütüncül analizi ile karar verilmesi, hem dişin uzun dönem korunması hem de tedavinin klinik başarısı açısından temel öneme sahiptir.



KAYNAKÇA:

- Abusteit, O. E., Hosney, S., ElSheshtawy, A. S., & Ordinola Zapata, R. (2022). Outcome of endodontic treatment through existing full coverage restorations: An endodontic practice case series. *Journal of Endodontics*, 48(3), 388–395.
- Abumelha, A. S., Alqahtani, A. M. A., Bin Hassan, S. A. M., & Ain, T. S. (2018). Restorations and survivability of endodontically treated teeth. *International Journal of Medical Dentistry*, 8(2), 124–129.
- Abduo, J., & Sambrook, R. J. (2018). Longevity of ceramic onlays: A systematic review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 30(3), 193–215.
- Al Fodeh, R. S., Al-Johi, O. S., Alibrahim, A. N., Al-Dwairi, Z. N., Al-Haj Husain, N., & Özcan, M. (2023). Fracture strength of endocrown maxillary restorations using different preparation designs and materials. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 148, 106184.
- Banks, R. G. (1990). Conservative posterior ceramic restorations: A literature review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 63, 619–626.
- Barfeie, A., Thomas, M. B., Watts, A., & Rees, J. (2015). Failure mechanisms of fibre posts: A literature review. *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, 23(3), 115–127. https://doi.org/10.1922/EJPRD_3759Barfeie05
- Bernardo, M., Luis, H., Martin, M., Leroux, B., Rue, T., Leitao, J., et al. (2007). Survival and reasons for failure of amalgam versus composite posterior restorations placed in a randomized clinical trial. *Journal of the American Dental Association*, 138, 775–783.
- Bharti, R., Wadhvani, K. K., Tikku, A. P., & Chandra, A. (2010). Dental amalgam: An update. *Journal of Conservative Dentistry*, 13(4), 204–208.
- Bindl, A., & Mörmann, W. H. (1999). Clinical evaluation of adhesively placed Cerec endo crowns after 2 years: Preliminary results. *Journal of Adhesive Dentistry*, 1, 255–265.
- Bindl, A., Richter, B., & Mörmann, W. H. (2005). Survival of ceramic computer-aided design/manufacturing crowns bonded to preparations with reduced macro retention geometry. *International Journal of Prosthodontics*, 18, 219–224.
- Bruhnke, M., Wierichs, R. J., von Stein-Lausnitz, M., Meyer-Lückel, H., Beuer, F., Naumann, M., & Sterzenbach, G. (2022). Long-term survival of adhesively luted post- endodontic restorations. *Journal of Endodontics*, 48(5), 606–613.
- Christensen, G. J. (1996). When to use fillers, build-ups or posts and cores. *Journal of the American Dental Association*, 127, 1397–1398.
- Collares, K., Corrêa, M. B., Laske, M., Kramer, E., Reiss, B., Moraes, R. R., Huysmans, M.- C. D. N. J. M., & Opdam, N. J. M. (2016). A practice-based research network on the survival of ceramic inlay/onlay restorations. *Dental Materials*, 32, 687–694.

- Dammaschke, T., Nykiel, K., Sagheri, D., & Schäfer, E. (2013). Influence of coronal restorations on the fracture resistance of root canal-treated premolar and molar teeth: A retrospective study. *Australian Endodontic Journal*, 39(2), 48–56.
- Dawson, V. S., Petersson, K., Wolf, E., & Åkerman, S. (2016). Periapical status of root-filled teeth restored with composite, amalgam, or full crown restorations: A cross-sectional study of a Swedish adult population. *Journal of Endodontics*, 42(9), 1326–1333.
- Dawson, V. S., Isberg, P.-E., Kvist, T., & Fransson, H. (2017). Further treatments of root-filled teeth in the Swedish adult population: A comparison of teeth restored with direct and indirect coronal restorations. *Journal of Endodontics*, 43(9), 1428–1432.
- Demarco, F. F., Corrêa, M. B., Cenci, M. S., Moraes, R. R., & Opdam, N. J. M. (2012). Longevity of posterior composite restorations: Not only a matter of materials. *Dental Materials*, 28(1), 87–101.
- Demarco, F. F., Collares, K., Correa, M. B., Cenci, M. S., de Moraes, R. R., & Opdam, N. J. (2017). Should my composite restorations last forever? Why are they failing? *Brazilian Oral Research*, 31(suppl 1), e56.
- Douglas, W. H. (1985). Methods to improve fracture resistance of teeth. In G. Vanherle & D. C. Smith (Eds.), *Posterior composite resin dental restorative materials: Proceedings of the 3M Symposium* (pp. 433–442). Peter Szulc Publ Co.
- Edelhoff, D., & Sorensen, J. A. (2002). Tooth structure removal associated with various preparation designs for posterior teeth. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 22, 241–249.
- Eliyas, S., Jalili, J., & Martin, N. (2015). Restoration of the root canal treated tooth. *British Dental Journal*, 218(2), 53–62.
- Fuss, Z., Lustig, J., & Tamse, A. (1999). Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. *International Endodontic Journal*, 32, 283–286.
- Gómez-Polo, M., Llidó, B., Rivero, A., Del Río, J., & Celemín, A. (2010). A 10-year retrospective study of the survival rate of teeth restored with metal prefabricated posts versus cast metal posts and cores. *Journal of Dentistry*, 38(11), 916–920.
- Gulec, L., & Ulusoy, N. (2017). Effect of endocrown restorations with different CAD/CAM materials: 3D finite element and Weibull analyses. *BioMed Research International*, 2017, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2017/8496172>
- Güllü, S., Çulha, E., Aydın, U., & Baştürk Özer, M. N. (2025). The success of post-endodontic restorations using different restorative materials: A two-year follow-up study. *Meandros Medical and Dental Journal*, 26(2), 199–205.
- Gillen, B. M., Looney, S. W., Gu, L. S., et al. (2011). Impact of the quality of

- coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 37, 895–902.
- Heling, I., Gorfil, C., Slutzky, H., Kopolovic, K., Zalkind, M., & Slutzky-Goldberg, I. (2002). Endodontic failure caused by inadequate restorative procedures: Review and treatment recommendations. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 87(6), 674–678.
- Hommez, G. M., Coppens, C. R., & De Moor, R. J. (2002). Periapical health related to the quality of coronal restorations and root fillings. *International Endodontic Journal*, 35, 680–689.
- Irmaleny, Z., Ardjanggi, S., Mardiyah, A. A., & Wahjuningrum, D. A. (2019). Endocrown restoration on postendodontics treatment on lower first molar. *Journal of the International Society of Preventive & Community Dentistry*, 9(3), 303–310.
- Kirkevang, L. L., Vaeth, M., Horsted-Bindslev, P., et al. (2007). Risk factors for developing apical periodontitis in a general population. *International Endodontic Journal*, 40, 290–299.
- Libman, W. J., & Nicholls, J. I. (1995). Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns. *International Journal of Prosthodontics*, 8(2), 155–161.
- Manhart, J., Chen, H. Y., Hamm, G., & Hickel, R. (2004). Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Operative Dentistry*, 29, 481–508.
- Maroulakos, G., Nagy, W. W., & Kontogiorgos, E. D. (2015). Fracture resistance of compromised endodontically treated teeth restored with bonded post and cores: An in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(3), 390–397.
- Mjor, I. A., & Moorhead, J. E. (1998). Selection of restorative materials, reasons for replacement, and longevity of restorations in Florida. *Journal of the American College of Dentists*, 65, 27–33.
- Monticelli, F., Goracci, C., & Ferrari, M. (2004). Micromorphology of the fiber post-resin core unit: A scanning electron microscopy evaluation. *Dental Materials*, 20(2), 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2003.08.003>
- Morimoto, S., Rebello de Sampaio, F. B. W., Braga, M. M., Sesma, N., & Özcan, M. (2016). Survival rate of resin and ceramic inlays, onlays, and overlays: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dental Research*, 95(9), 985–994.
- Moura, D. M. D., de Araújo, G. M., de Araújo, L. N. M., de Vasconcelos Gurgel, B. C., de Oliveira Dal Piva, A. M., Özcan, M., & de Assunção e Souza, R. O. (2025). Clinical performance of monolithic polymer-infiltrated ceramic and lithium disilicate posterior crowns: A controlled, randomized, and double-blind clinical trial. *The Journal of*

Prosthetic Dentistry, 133(6), 1484–1494

- Muthiah, M., Warhadpande, M., & Dakshindas, D. (2023). Preference for postendodontic restoration for fractured anterior teeth: A questionnaire-based cross-sectional study among dentists in Maharashtra, India. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 17(2), ZC19–ZC24.
- Ng, C. C. H., Dumbrigue, H. B., Al-Bayat, M. I., Griggs, J. A., & Wakefield, C. W. (2006). Influence of remaining coronal tooth structure location on the fracture resistance of restored endodontically treated anterior teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 95(4), 290–296.
- Ng, Y. L., Mann, V., & Gulabivala, K. (2010). Tooth survival following non-surgical root canal treatment: A systematic review of the literature. *International Endodontic Journal*, 43, 171–189.
- Pashley, D. H., Tay, F. R., Breschi, L., et al. (2011). State of the art etch-and-rinse adhesives. *Dental Materials*, 27(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.021>
- Peroz, I., Blankenstein, F., Lange, K. P., & Naumann, M. (2005). Restoring endodontically treated teeth with posts and cores: A review. *Quintessence International*, 36(9), 737–746.
- Pinto, C. L., Bhering, C. L., Oliveira, G. R., Maroli, A., Reginato, V. F., Caldas, R. A., & Bacchi, A. (2019). The influence of post system design and material on the biomechanical behavior of teeth with little remaining coronal structure. *Journal of Prosthodontics*, 28(1), e350–e356.
- Pitts, D. C., Matheny, H. E., & Nichols, Y. I. (1983). An in vitro study of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation. *Journal of Endodontics*, 9(12), 544–550.
- Pizzolotto, L., & Moraes, R. R. (2022). Resin composites in posterior teeth: Clinical performance and direct restorative techniques. *Dentistry Journal*, 10(12), 222.
- Pratt, I., Aminoshariae, A., Montagnese, T. A., Williams, K. A., Khalighinejad, N., & Mickel, A. (2016). Eight-year retrospective study of the critical time lapse between root canal completion and crown placement: Its influence on the survival of endodontically treated teeth. *Journal of Endodontics*, 42(11), 1598–1603.
- Ratnakar, P., Bhosgi, R., Metta, K. K., Aggarwal, K., Vinuta, S., & Singh, N. (2014). Survey on restoration of endodontically treated anterior teeth: A questionnaire-based study. *Journal of International Oral Health*, 6(6), 41–45.
- Ray, H. A., & Trope, M. (1995). Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *International Endodontic Journal*, 28, 12–18.
- Reeh, E. S., Messer, H. H., & Douglas, W. H. (1989). Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *Journal of Endodontics*, 15, 512–516.



- Santos, M. J. M. C., Rêgo, H. M. C., Siddique, I., & Jessani, A. (2023). Five-year clinical performance of complex Class II resin composite and amalgam restorations—A retrospective study. *Dentistry Journal*, 11(4), 88.
- Saunders, W., & Saunders, E. (1994). Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: A review. *Dental Traumatology*, 10, 105–108.
- Sedgley, C. M., & Messer, H. H. (1992). Are endodontically treated teeth more brittle? *Journal of Endodontics*, 18, 332–335.
- Sirimai, S., Riis, D. N., & Morgano, S. M. (1999). An in vivo study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post-and- core systems. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 81(2), 262–269.
- Shah, S., Khan, M. A., Ali, A., Talpur, N., Lohana, S., & Kumar, R. (2021). Factors affecting the material choice for restoration in posterior teeth. *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*, 15(11), 2890–2894.
- Sharma, D., Agrawal, S., Gangurde, P., Agarwal, S., Srichand, R., & Sharma, V. (2020). Awareness, attitude, and practice of dental practitioners toward management of endodontically treated teeth and factors associated with it: A questionnaire descriptive survey. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 9(2), 1113–1118.
- Shamseddine, L., & Chaaban, F. (2016). Impact of a core ferrule design on fracture resistance of teeth restored with cast post and core. *International Journal of Dentistry*, 2016, 5073459.
- Stassen, I. G., Hommez, G. M., De Bruyn, H., & De Moor, R. J. (2006). The relation between apical periodontitis and root-filled teeth in patients with periodontal treatment need. *International Endodontic Journal*, 39, 299–308.
- Sornkul, E., & Stannard, J. G. (1992). Strength of roots before and after endodontic treatment and restoration: The effect of different full-coverage crown systems on fracture resistance and failure pattern of endodontically treated maxillary incisors restored with a n d without glass fiber posts. *Journal of Endodontics*, 18(9), 440–443.
- Trope, M., & Bergenholtz, G. (2002). Microbiological basis for endodontic treatment: Can a maximal outcome be achieved in one visit?—Endodontics: A microbial issue. *Endodontic Topics*, 1, 40–53.
- Tokasvul, S., Zor, M., Toman, M., Gungor, M. A., Nergiz, I., & Artunc, C. (2006). Analysis of dentinal stress distribution of maxillary central incisors subjected to various post- and-core applications. *Operative Dentistry*, 31(1), 89–96.
- Qamar, Z., Abdul, N. S., Kakti, A., Reddy, R. N., Shenoy, M., Zeeshan, T., & Ramadan, A. H. (2022). Effect of photosensitizers on modulating bond strength of different luting cements used for cementation of resin modified composite fiber posts. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 26(13),
- van de Sande, F. H., Collares, K., Correa, M. B., Cenci, M. S., Demarco, F. F., &

- Opdam, N. J. M. (2016). Restoration survival: Revisiting patients' risk factors through a systematic literature review. *Operative Dentistry*, 41(S7), S7–S26.
- Vârlan, C., Dimitriu, B., Vârlan, V., Bodnar, D., & Suciu, I. (2009). Current opinions concerning the restoration of endodontically treated teeth: Basic principles. *Journal of Medicine and Life*, 2(2), 165–172.
- Veneziani, M. (2017). Posterior Indirect Adhesive Restorations: Updated Indications and the Morphology Driven Preparation Technique. *The International Journal of Esthetic Dentistry*, 12(2), 2–28.
- Zhu, J., Rong, Q., Wang, X., & Gao, X. (2017). Influence of remaining tooth structure and restorative material type on stress distribution in endodontically treated maxillary premolars: A finite element analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 117(5), 646–655.
- Zicari, F., Van Meerbeek, B., Scotti, R., Naert, I., & Peumans, M. (2013). Effect of ferrule and post placement on fracture resistance of endodontically treated teeth after fatigue loading. *Journal of Dentistry*, 41(3), 207–215.

Bölüm 4

ENDODONTİDE MİKROBİLGİSAYARLI TOMOGRAFİNİN KULLANIM ALANLARI VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

*Uzm. Dt. Ceren TURAN GÖKDUMAN¹,
Uzm. Dt. Esra ARILI ÖZTÜRK²*

1 Uzm. Dt. Ceren TURAN GÖKDUMAN Trakya Üniversitesi Diş Hekimliği
Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı-0000-0002-8628-1020

2 Uzm. Dt. Esra ARILI ÖZTÜRK Özel Klinik-0000-0003-2137-4442

Endodontide Mikrobilgisayarlı Tomografinin Kullanım Alanları ve Gelecek Perspektifleri

Mikrobilgisayarlı tomografi ilk olarak 1980'li yılların başında malzeme bilimi ve biyomühendislik alanında kullanılmıştır (Swain & Xue). Mikrobilgisayarlı tomografi, iki ve üç boyutlu görüntüler elde etmek için invaziv olmayan bir yöntemdir (Versiani, Pécora, & Sousa-Neto, 2011). Bu yöntem, örneklerin kesit alınmadan incelenmesine imkân tanıdığı için daha güvenilir, tekrarlanabilir ve hacimsel veriler elde edilmesini sağlamıştır (Sasov & Dyck, 1998; Swain & Xue). Mikrobilgisayarlı tomograflere göre, çok daha yüksek çözünürlükte üç boyutlu görüntüleme sunar. İnorganik materyallerin iç yapısını incelemek için geliştirilen bu sistemler, zamanla biyolojik dokuların ve dental yapıların mikrometre düzeyinde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Mikrobilgisayarlı tomograflerin , örnek etrafında 360° döndürülerek farklı açılardan çok sayıda X ışınına maruz bırakılması ile çalışır (Grande et al., 2012). X ışınları, örnekten geçerken dokunun veya materyalin yoğunluğu, kalınlığı ve atomik bileşimi ile orantılı olarak farklı derecelerde soğurulur. Örnekten çıkan ışınlar sensör tarafından yakalanır ve projeksiyon görüntüleri meydana gelir. Bu görüntüler, çeşitli algoritmaları yardımı ile bilgisayar ortamında işlenir ve kesitsel görüntülere çevrilir. Bu kesitlerin birleştirilmesi ile örneğin üç boyutlu dijital hacimsel modeli oluşturulur (Grande et al., 2012).

Mikrobilgisayarlı tomograflerin voksel boyutu 5–50 µm aralığındadır (Sasov & Dyck, 1998; Swain & Xue). Voksel, en basit tanımıyla hacimsel pikseldir. Voksel boyutu küçüldükçe görüntü çözünürlüğü artar, ama daha küçük voksel boyutunun seçilmesiyle daha yüksek X ışını maruziyeti, daha uzun tarama süreleri ve daha fazla veri depolama kapasitesi gibi dezavantajlar ortaya çıkar. Yazılım aracılığı ile eksenel tarama adımının mesafesinin ayarlanması ile hem görüntü çözünürlüğünü hem de toplam tarama süresini önceden belirlemek mümkündür. Tarama adımları arasındaki mesafenin azaltılmasıyla, daha fazla veri toplanması sağlanır; ancak daha uzun X-ışını pozlaması ve artmış radyasyon dozu ile sonuçlanır (Nielsen, Alyassin, Peters, Carnes, & Lancaster, 1995). Tarama sırasında örneğin yoğunluğu ve X-ışını geçirgenliği, kullanılacak ışın gücü (kV), akım (µA) ve filtrasyon düzeylerinin ayarlanmasında kullanılmalıdır. Yoğun materyaller (metal içerikli malzemeler) daha yüksek enerji gerektirirken, düşük yoğunluklu biyolojik dokular (dentin, pulpa artıkları) daha düşük enerjilerde taranabilir. Bu nedenle tarama parametreleri, çalışmanın amacına ve örneğine göre ayarlanması gerekmektedir (Dowker, Davis, & Elliott, 1997). Taranan örneklerden elde edilen 800–3000 arası kesit, bilgisayarda ham data dosyaları olarak saklanır. Özel

yazılımlar kullanılarak üç boyutlu hacimsel rekonstrüksiyon, segmentasyon ve nicel analiz için işlenir (Grande et al., 2012).

Mikrobilgisayarlı tomografi ile bilgisayarlı tomografi arasındaki temel fark, ile bilgisayarlı tomografide X-ışını kaynağı ve dedektör hastanın etrafında dönüp titreşime sebep olurken, mikrobilgisayarlı tomografide X-ışını kaynağı ve dedektör sabittir, örnek kendi eksenini etrafında döndürülür. Bu sayede titreşim minimal seviyeye indirildiği için görüntü çözünürlüğü artar (Yeri, 2015). Diğer fark ise X-ışını kaynağının boyutu bu değer bilgisayarlı tomografilerde yaklaşık 1 mm iken mikrobilgisayarlı tomografide 5–10 µm düzeyindedir. Daha küçük kaynak gölgeleme etkisini azaltırken projeksiyon keskinliğini artırır. Örnek X-ışını kaynağına daha yakın konumlandırılabilirdiği için büyütme oranını ve çözünürlüğü artırır. Bu da çok küçük ayrıntıların net görüntülenebilmesini sağlar (Cotton, Geisler, Holden, Schwartz, & Schindler, 2007; Yeri, 2015).¹

Tablo 1 : Bilgisayarlı tomografi ile Mikrobilgisayarlı Tomografi arasındaki farklar

Özellik	Bilgisayarlı Tomografi	Mikrobilgisayarlı tomografi
Tarama Mekanizması	X-ışını kaynağı ve dedektör hastanın etrafında döner.	X-ışını kaynağı ve dedektör sabit, örnek kendi eksenini etrafında döner.
Vibrasyon	Cihazın dönen parçaları mekanik titreşime neden olur.	Örnek döndüğü için titreşim azalır, çözünürlük artar.
X-Işını Kaynağı Boyutu	1 mm	5–10 µm
Projeksiyon Keskinliği	Geniş kaynak boyutu nedeniyle gölgelenme etkisi fazladır.	Küçük kaynak boyutu gölgelenmeyi azaltır, projeksiyon keskinliği artar.
Büyütme Yeteneği	Büyük nesnelerde büyütme sınırlıdır.	Kaynağa yakın yerleştirilebilir, optik büyütme fazladır.
Görüntü Çözünürlüğü	Milimetre	Mikrometre
Görüntü Tipi	Makro ölçekte iki boyutlu ve üç boyutlu yapılar.	Yüksek çözünürlüklü üç boyutlu hacim modelleri.
Analiz Edilebilen Parametreler	Genel anatomi, yoğunluk farkları	Hacim, yüzey alanı, yapı model indeksi kalınlık

1 Uzm. Dt. Ceren TURAN GÖKDUMAN Trakya Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı-0000-0002-8628-1020

2 Uzm. Dt. Esra ARILI ÖZTÜRK Özel Klinik-0000-0003-2137-4442

Uygulama Alanı	Klinik tanı ve hasta görüntülemesi	Araştırma amaçlı, ex vivo biyomateryal analizleri
Avantajları	Hızlı, klinikte uygulanabilir, geniş alan taraması yapılabilir.	Yüksek çözünürlük, 3 boyutlu morfolojik detaylar
Dezavantajları	Düşük çözünürlük, mikroyapı analizi için yetersiz	Uzun tarama süresi, yüksek maliyet, küçük örnek boyutu

Mikrobilgisayarlı tomografi diğer görüntüleme yöntemlerine göre teknik ve uygulama sıkıntıları olmasına rağmen üstün özellikleri bulunmaktadır. Örneğin, taramalı elektron mikroskopu, stereomikroskop ve konfokal lazer mikroskopu gibi sistemler yüzeysel analizler için tercih edilir, ama bu mikroskoplar yalnızca iki boyutlu görüntüler elde edilebilir ve örneklerin kesit alınması zorunludur. Buna karşılık mikrobilgisayarlı tomografi, örneklerin yapısına zarar vermeden üç boyutlu görüntüler oluşturabilen yıkımsız bir yöntemdir. Bu özellik, aynı örneğin farklı analizlerde tekrar kullanılmasına olanak sağlayarak standardizasyonu artırır (Nielsen et al., 1995). Tekrarlı tarama yapılabilmesi ve elde edilen verilerin özel yazılımlar kullanılarak yüksek doğrulukta işlenebilmesi ile hem kantitatif hem de nitel analizler aynı örnek üzerinde gerçekleştirilebilir (Jung, Lommel, & Klimek, 2005). Bununla birlikte, yöntemin bazı kısıtlılıkları da vardır:

İlk olarak yüksek düzeyde radyasyon üretmesi nedeniyle canlı dokular üzerinde in vivo uygulamalarda kullanımı uygun değildir.

Mikrobilgisayarlı tomografinin örnek boyutuna getirdiği fiziksel sınırlamalar, genellikle sadece küçük hacimli örneklerin incelenmesi ile sınırlıdır. Klinik durumlarda, daha düşük çözünürlükte olmasına rağmen konik ışınli bilgisayarlı tomografi tercih edilir (Cotton et al., 2007).

Yüksek çözünürlük istendiğinde, tarama işlemi birkaç saat ile bir günü bulabilir. Özellikle çok sayıda örnek içeren çalışmaların süresini uzatır (Park, Wang, Zhang, Romberg, & Arola, 2008).

Mikrobilgisayarlı tomografi ve analiz yazılımları oldukça pahalıdır. Erişilebilirliği sınırlıdır (Versiani et al., 2011).

Segmentasyon, eşikleme ve üç boyutlu rekonstrüksiyon işlemleri manuel düzeltme gerektirebildiğinden kullanıcı deneyimi performansını etkileyebilir (Peters & Paqué, 2011).

Endodontik tedavinin başarısı, kök kanalının morfolojisinin karmaşıklığından etkilenebilir (Patel, Dawood, Ford, & Whaites, 2007). İki boyutlu görüntüleme yöntemleri, süperpozisyon, distorsiyon gibi limitasyonlar nedeniyle kök kanal anatomisinin detaylarını ortaya koymakta yetersiz kalabilmektedir (Oi, Saka, & Ide, 2004; Patel et al., 2007). Premolar ve molar dişlerde görülen aksesuar kanallar, isthmus yapıları veya birleşen kanallar gibi farklılıkların doğru tespit edilebilmesinde üç boyutlu görüntüleme teknikleri önemli rol oynar (Cleghorn, Christie, & Dong, 2008; Paqué & Peters, 2011). Üç boyutlu görüntüleme, anatomik varyasyonların nicel ve nitel olarak değerlendirilmesini sağlayarak tedavi planlamasının doğruluğunu artırır.

Mikrobilgisayarlı tomografi ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi, kök kanal sisteminin hacimsel yapısını yüksek çözünürlükte göstermeleri sayesinde endodontide bir çok alanda kullanılmaktadır (Ahmed, Versiani, De-Deus, & Dummer, 2017; Celikten et al., 2019; Maret et al., 2014). Üç boyutlu görüntüleme yöntemleri ile, preparasyon sonrası oluşan transportasyon, yüzey düzensizlikleri, obturasyon boşlukları veya rezorptif alanlar analiz edilebilmektedir (Levin & Jong, 2016). Üç boyutlu görüntüleme yöntemleri, endodontide tanı ve araştırma araçları olarak sıklıkla kullanılmaktadır.

Tablo 2: Endodontide Mikrobilgisayarlı Tomografinin Kullanım Alanları

Mikrobilgisayarlı Tomografinin Kullanım Alanı	Amaç
Kök kanal morfolojisinin incelenmesi	Kök kanal sayısı, şekli, bağlantılar, isthmus ve aksesuar kanalların değerlendirilmesi
Kanal şekillendirme ve enstrümantasyon	Transportasyon, apikal çap genişliği, basamak ve zip değişimlerinin ölçülmesi
Farklı alet sistemlerinin karşılaştırılması	Rotasyon ve resiprokasyon sistemlerin şekillendirme performanslarının analiz edilmesi
Kök kanal dolgu değerlendirilmesi	Guta-Perka ve kök kanal patı dağılımı, boşluk oranı, sızdırmazlık kalitesi ve dolgu homojenliğinin ölçülmesi
Retreatment	Kök kanalından dolgu materyalinin uzaklaştırılma etkinliği, kalan kök kanal patı miktarı ve yeniden şekillendirme kalitesinin değerlendirilmesi
Dentin mikroyapısı analizi	Dentin tübül yoğunluğu, mineralizasyon derecesi, çatlak ve mikrodefektlerin incelenmesi
Mikrosızıntı ve materyal adaptasyonu	Kök kanal patı, MTA veya biyoseramik materyallerin dentin duvarına uyumu, porozite dağılımı ve ara yüzey boşluklarının tespiti
Rejeneratif endodonti ve biyomateryal	Hücre iskelelerinin porozitesi, hacim değişimi, doku oluşum hacmi ve materyal stabilitesi
Kök rezorpsiyonu ve perforasyon analizi	İç ve dış rezorpsiyon hacimlerinin, perforasyonların veya defektlerin üç boyutlu incelenmesi
Eğitim ve araştırma amaçlı modelleme	Kök kanal sistemlerinin üç boyutlu dijital modellerinin oluşturulması, sanal simülasyonlar ve akademik öğretim amaçlı kullanımı

Kök kanal morfolojisinin incelenmesi

Kök kanal anatomisi her birey için değişkendir isthmuskar,ekstra kanallar ve yan kanallar bulundurur (Yeri, 2015). Bilgisayarlı tomografi, kök kanal morfolojisini incelemek için kullanılmasına rağmen büyük kesit kalınlıkları nedeniyle düşük çözünürlükle sınırlı kalmaktadır (Grande et al., 2012). Mikrobilgisayarlı tomografi yöntemleri ile, örnek diş yapısını bozmadan ayrıntılı biçimde değerlendirilebilmektedir (Dowker

et al., 1997). İnternal ve eksternal anatomi birlikte veya ayrı ayrı incelenilmektedir bu sayede görüntüler ölçümsel olarak da değerlendirilebilir (Grande et al., 2012; Versiani et al., 2011). Mikro-bilgisayarlı tomografi kullanılarak, pulpa boşluğunun üç boyutlu morfolojik özellikleri örneğin; pulpa boynuzlarının hacim oranı, pulpa odasının şekli kök kanallarının çap ve uzunlukları ölçülebilir ve bu parametreler farklı yaş grupları, farklı cinsiyetler gibi çeşitli değişkenler ile ilişkilendirilebilmektedir (Karobari et al., 2024; Verma & Love, 2011; Villas-Bôas et al., 2011).

Her bir kök kanalının hacmi, yüzey alanı ve kurvatür açısı mikro-bilgisayarlı tomografi ölçülebilmektedir ayrıca kanalların çapları, kanallar arası bağlantılar ve konfigürasyonlar analiz edilebilir. Kuron ve kök arasındaki morfolojik ilişkiler üç boyutlu olarak değerlendirilir. Örneğin üst molar dişlerin meziobukkal kökleri üzerinde yapılan değerlendirmede, kanal sisteminin oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu örneklerin %30'nun geleneksel morfoloji sınıflandırılmasına uygun olmadığı tespit edilmiştir (Verma & Love, 2011).

Özellikle gelişimsel dental anomalisi olan dişlerin hem iç hem de dış morfolojilerinin ayrıntılı olarak incelenmesinde ile tedavi etkinliği önemli derecede artırılabilir. Dens in dente veya palatagingival oluk gibi yapısal varyasyonları olan üst dişlerde yapılan çalışmalarda, morfolojik özelliklerin ortaya konmasında yüksek çözünürlük sağlamıştır (Keleş, Erdal, Ersöz, & Erdal, 2013; Ranjitkar et al., 2019). Diğer karmaşık anatomik varyasyonlarından biri olan C-şekilli kanallara sahip dişlerin mikrobilgisayarlı tomografi ile incelendiği çalışmalarda; pulpa odası taban morfolojisi, apikal anatomi, üç boyutlu konfigürasyon, dentin kalınlığı, döner eğerlerle enstrümantasyon sonrası kanal şekli değişiklikleri ile radiküler olukların uzunluğu ve derinliği detaylı biçimde ortaya konmuştur (Martin et al., 2021; Ordinola-Zapata et al., 2015; Zhang et al., 2023).

Kanal şekillendirme, enstrümantasyon ve farklı döner alet sistemlerinin karşılaştırılması

Mikrobilgisayarlı tomografi şekillendirme öncesi ve sonrası kök kanal anatomisinde meydana gelen değişikliklerin aynı örnek üzerinde karşılaştırılmasını sağlayarak, kök kanal sistemindeki hacim artışı, transportasyon, merkezlilik, şekillendirilememiş yüzey oranı ve apikal çap gibi parametrelerin nicel olarak değerlendirir (Parashos, Moore, & Fitz-Walter, 2010; Sousa-Neto et al., 2018).

Bir çok çalışma, rotasyon ve resiprokasyon hareketleri ile kullanılan NiTi sistemlerinin kanal şekillendirmedeki etkilerinin mikrobilgisayarlı tomografi ile detaylı bir şekilde analiz edildiğini göstermektedir (Moura-Netto, Palo, Camargo, Pameijer, & Bardauil, 2013; Peters, Peters,

Schonenberger, & Barbakow, 2003; Stern, Patel, Foschi, Sherriff, & Mannocci, 2012; Wang et al., 2022; You et al., 2011). Bu görüntüleme yöntemleri ile, şekillendirme işlemleri sırasında kanal orijinal formunun ne kadar korunduğu ve eğinin merkezlilik yeteneği ve aletlerin dentin duvarları ne kadar temas ettiğini ölçülebilir. Ayrıca mikrobilgisayarlı tomografi, örneklerin tekrarlanan taramalarına olanak tanıdığı için, aynı diş üzerinde farklı tekniklerin standart şekilde karşılaştırmasına olanak sağlar (Alovisi et al., 2017).

Tüm bu avantajlara rağmen bir derleme, mikrobilgisayarlı tomografi analizlerinde kullanılan voxel boyutu, rotasyon açısı ve rekonstrüksiyon algoritmaları ile elde edilen sonuçların doğruluğunu etkileyebileceği vurgulanmaktadır. Farklı çalışmalar arasında karşılaştırma yapılırken standartlaştırılmış parametrelerin kullanılması önerilmektedir. Sonuç olarak mikrobilgisayarlı tomografinin kanal şekillendirme araştırmalarında hem geometrik deformasyonun tespitinde hem de aletlerin performansının değerlendirilmesinde yüksek performans sergilediğini göstermiştir (Sousa-Neto et al., 2018).

Kök kanal dolgusu değerlendirmesi

Mikrobilgisayarlı tomografi, kök kanal dolgularının kalitesini ve dolgu materyallerinin kanal duvarlarına adaptasyonunu değerlendirmede güvenilir görüntüleme yöntemi olarak değerlendirilmektedir (Bhandi et al., 2021). Bir çalışmada, mikrobilgisayarlı tomografinin kök kanal dolgularını görüntülemeindeki etkinliği ile histolojik kesitler karşılaştırılmıştır ve her iki yöntem arasında yüksek korelasyon bulunmuştur. Mikrobilgisayarlı tomografinin yüksek çözünürlüklü ve güvenilir bir yöntem olduğunu; kök kanal dolgularının kalitesini ve iç morfolojisini değerlendirmede histolojik yöntemlere güçlü bir alternatif olduğunu bildirmiştir (Jung et al., 2005).

İn vitro çalışmada, dört farklı kök kanal dolgu tekniğinin (0.02 taperli ana konla lateral kondensasyon, 0.04 taperli ana konla lateral kondensasyon, döner alet sistemine uygun tek kon ve ultrasonik aktivasyonla döner alet sistemine uygun tek kon) dolgu kalitesi mikrobilgisayarlı tomografi kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, ultrasonik aktivasyonla döner alet sistemine uygun tek kon yöntemi, tüm teknikler arasında en düşük boşluk oranını göstermiştir ($p < 0.05$) (Kalantar Motamedi, Mortaheb, Zare Jahromi, & Gilbert, 2021).

Yapılan sistematik derlemede, soğuk lateral kondensasyon tekniği ile termoplastik guta perka yöntemlerini karşılaştırılmıştır ve her iki tekniğin kök kanal boşluk oranları üzerindeki etkisini incelemiştir. Derlemeye dahil edilen çalışmaların sonuçlarına göre, hiçbir dolum tekniği

kök kanalını boşluksuz şekilde dolduramamıştır. Ancak mikrobilgisayarlı tomografi, termoplastik tekniklerin, soğuk lateral kondensasyona kıyasla daha homojen dolgu sağladığını ve daha az boşluk oluşturduğunu ortaya koymuştur. Özellikle apikal üçlü bölgede, termoplastik yöntemlerin daha iyi adaptasyon sağladığı bildirilmiştir (Bhandi et al., 2021). Mikrobilgisayarlı tomografinin dolum kalitesini değerlendirmede geleneksel iki boyutlu görüntüleme yöntemlerine göre daha başarılı olduğunu bildirmiştir. Sadece kök kanalının hacimsel guta perka doluluk oranını değil, boşluk hacmini ve kök kanal patınının dağılımını ve materyal adaptasyonunun detaylı analiz edilmesini sağlar (Bhandi et al., 2021). Sonuç olarak mikrobilgisayarlı tomografinin verileri, kök kanal dolum kalitesini dolum tekniğinden bağımsız olarak değerlendirilmesinde altın standart kabul edilmekte, yüksek metodolojik güvenilirlik sağlamaktadır.

Retreatment

Tekrarlayan kök kanal tedavisi, başarısız kök kanal tedavilerinde dolgu materyalinin uzaklaştırılarak kanal sisteminin yeniden şekillendirilmesi ve kemomekanik dezenfeksiyon sonrası kök kanallarının tekrar doldurulması içeren bir süreçtir (Rosa et al., 2015). Kanalın anatomik karmaşıklığı ve dolgu materyallerinin duvarlara sıkı adaptasyonu nedeniyle komplikasyonun sıklıkla yaşandığı bir tedavi protokolüdür (Rosa et al., 2015). Mikrobilgisayarlı tomografi retreatment çalışmalarında kalan dolgu materyali hacmini, temizlenmemiş kanal yüzey oranını, kanal şekil değişimlerini ve enstrümantasyonun dentin duvarına etkilerini nicel özellikte değerlendirmeyi sağlar (Yilmaz et al., 2017).

Bir çalışmada, mandibular molar dişlerin mezial kanallarında Wave One ve Wave One Gold sistemlerinin tekrarlayan kök kanal tedavisi sırasında dolgu materyalinin uzaklaştırma etkinliği mikrobilgisayarlı tomografi ve konfokal lazer mikroskopi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Her iki döner eği sisteminde de kök kanallarındaki dolgu materyalinin tamamen uzaklaştıramadığı bildirilmiştir (Canali et al., 2019).

Üç farklı retreatment tekniği (Reciproc, ProTaper Universal Retreatment ve manuel eğe sistemi) ile ultrasonik aktivasyonun etkisi, mikrobilgisayarlı tomografi ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak değerlendirilmiştir. Mandibular kesici dişlerin değerlendirildiği çalışmada tüm yöntemlerin kök kanal dolgularını tamamen uzaklaştıramadığı, ancak Reciproc sisteminin en az artık materyal bıraktığı bildirilmiştir. Ultrasonik aktivasyonun kalan dolgu miktarını anlamlı düzeyde azalttığı ($p < 0.05$) belirlenmiştir (Bernardes et al., 2016). Başka bir çalışmada, ProTaper Universal Retreatment, Mtwo Retreatment ve ProFile sistemlerinin kök kanal dolgularını uzaklaştırmadaki etkinliği

mikrobilgisayarlı tomografi kullanılarak karşılaştırılmıştır. En az artık materyal ProFile sistemiyle (%23.6) elde edilmiş, bu sistem aynı zamanda en kısa işlem süresine sahip olmuştur. Mtwo sisteminde kalan dolgu oranı daha yüksek bulunmuş (%45.4), ProTaper ise orta düzeyde sonuç vermiştir (Yılmaz et al., 2018).

Dentin mikroyapısı analizi

Dentin, organik ve inorganik bileşenlerden oluşan sert dokudur ve demineralizasyon sonrası yapısal bütünlüğünün korunması dişin fonksiyonuna devam edebilmesinde önemlidir. Mikrobilgisayarlı tomografi dentin dokusundaki mineral yoğunluğu değişimlerini tespit etmede yardımcı bir görüntüleme yöntemidir. Bir çalışmada, yapay çürük simüle edilmiş sıgır dentin blokları üzerinde MTA, Portland çimentosu, Biodentine™ ve cam iyonomer simanın mineral yoğunluğunu artırma potansiyeli, kontrol grubundaki çinko oksit öjenol simanla karşılaştırılmıştır. Tüm materyaller kontrol grubuna göre anlamlı mineral yoğunluğu artışı sağlamıştır ($p < 0.05$) (Neves et al., 2019).

X'e bağlı hipofosfatemik rikets hastalığının mine ve dentin mineralizasyonu üzerindeki etkisini mikrobilgisayarlı tomografi ile incelendiği bir çalışmada aynı aileden sağlıklı ve hastalığa sahip bireylerin dişleri mine ve dentin yoğunlukları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, X'e bağlı hipofosfatemik rikets hastalığına sahip bireylerde özellikle pulpa odasına yakın dentin bölgelerinde düşük mineral yoğunluğu ve poröz alanların bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca ön ve arka dişler, etkilenen ve etkilenmeyen bireyler arasında mineral yoğunluğu açısından anlamlı farklar saptanmıştır ($p < 0.05$) (Ribeiro, Costa, Soares, Williams Jr, & Fonteles, 2015).

Rejeneratif endodonti ve biyomateryal mikrosızıntı ve materyal adaptasyonu

Yapılan sistematik derleme, vital pulpa tedavisi sonrasında oluşan dentin köprüsünün morfolojik ve mineralojik özelliklerini değerlendirmek amacıyla konik ışınli bilgisayarlı tomografi ve mikrobilgisayarlı tomografi kullanılan çalışmaları değerlendirmiştir. Çalışmalarda materyallerin dentin köprüsü oluşumuna etkileri karşılaştırılmıştır. Tüm biyomateryallerde dentin köprüsü oluştuğu ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi ile mikrobilgisayarlı tomografinin üstün özellikleri değerlendirilmiştir. Konik ışınli bilgisayarlı tomografi klinik uygulamalarda düşük doz ve geniş alan tarama avantajına sahip olduğu, mikrobilgisayarlı tomografinin ise yüksek çözünürlükte mikroyapısal analiz yapabilme gücü sayesinde küçük hacimli örneklerde daha hassas sonuçlar verdiği bildirmiştir (Palczewska-Komsa, Gapiński, & Nowicka, 2022).

Kalsiyum silikat bazlı simanların rejeneratif endodontik tedavi uygulanmış immatür dişlerdeki sızdırmazlık oranını değerlendiren bir çalışmada, örnekler 7 gün nemli ortamda bekletildikten sonra mikrobilgisayarlı tomografi ile taranmış materyal içindeki boşluklar değerlendirilmiştir. 70 μm 'den büyük boşlukların çoğunlukla materyalin üst ve ara yüzeylerinde bulunduğu, daha küçük boşlukların ise homojen şekilde dağıldığı görülmüştür. Biyomateryallerin rejeneratif endodontik tedavilerde benzer düzeyde sızdırmazlık performansı gösterdiği ortaya konmuştur (Chung et al., 2021).

Rejeneratif endodontik tedavide kullanılan iki farklı biyolojik iskele arasındaki kök gelişimi sonuçlarını mikrobilgisayarlı tomografi ile değerlendiren bir çalışmada, kesici dişler dört gruba ayrılmıştır: tedavisiz pozitif kontrol, periapikal kan, dolaşan kan ve negatif kontrol. Sekiz aylık iyileşme sürecinin ardından kök uzunluğu, duvar kalınlığı, apikal kapanma oranı ve kök hacmi değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, her iki rejeneratif endodontik tedavide grubunda da kök uzunluğu ve duvar kalınlığında artış, apikal kapanma ve kök hacminde anlamlı gelişim gözlenmiştir ($p < 0.05$). Her iki grup, negatif kontrol ile karşılaştırıldığında daha düşük kök hacmine sahip olduğu bulunmuştur (Alghofaily, Torabinejad, & Nosrat, 2022).

Kök rezorpsiyonu ve perforasyon analizi

Kök rezorpsiyonu ve perforasyonlar, dişin uzun dönem prognozunu doğrudan etkileyen ciddi patolojik süreçlerdir. Rezorpsiyonlar genellikle travma, ortodontik kuvvet, inflamasyon veya içsel patolojik olaylar sonucu gelişirken; perforasyonlar çoğunlukla endodontik işlemler sırasında meydana gelen iatrojenik komplikasyonlardır. Geleneksel iki boyutlu radyografiler, bu lezyonların hacmini ve uzanımını tam olarak belirlemede yetersiz kalmaktadır. Mikrobilgisayarlı tomografi ise kök rezorpsiyonu ve perforasyonların üç boyutlu, yıkımsız ve yüksek çözünürlüklü değerlendirmesine olanak tanır (Gunst et al., 2013).

Bir çalışmada, corticopuncture, düşük düzey lazer tedavisi ve ikisinin birlikte uygulanmasıyla diş hareketi, kök rezorpsiyonu ve alveolar kemik değişimleri mikrobilgisayarlı tomografi değerlendirildiğinde, corticopuncture + düşük düzey lazer tedavisi grubunun en fazla diş hareketini ve en az kök rezorpsiyonunu gösterdiği bulunmuştur. Bu kombinasyon, daha hızlı diş hareketi ve daha az rezorpsiyonla birlikte artmış kemik oluşumu sağlayarak biyolojik olarak en etkili yöntem olduğu ve mikrobilgisayarlı tomografi ile görüntülemenin üstün olduğu gösterilmiştir (Suzuki et al., 2018).

Eğitim ve araştırma amaçlı modelleme

Bir çalışmada, diş hekimliği öğrencilerinin mikrobilgisayarlı tomografi ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi sistemlerinin çalışma prensiplerini daha iyi kavrayabilmeleri amacıyla, mevcut Laboratuvar ekipmanları kullanılarak düşük maliyetli, kendinden monte edilebilir bir mikrobilgisayarlı tomografi sistemi geliştirilmek hedeflenmiştir. Bulgular, mikrobilgisayarlı tomografi sisteminin dentin, mine ve pulpa dokularını üç boyutlu olarak ayırt edebildiğini, görüntü kalitesi açısından ticari sistemlere kıyasla yalnızca sınırlı bir fark bulunduğunu göstermiştir. Deneyimli diş hekimleri, elde edilen modellerin klinik açıdan yeterli ayrıntıya sahip olduğunu belirtmiştir. Düşük maliyetli mikrobilgisayarlı tomografi sisteminin diş hekimliği öğrencilerine fiziksel işleyişini, tarama parametrelerini ve görüntü rekonstrüksiyonu süreçlerini uygulamalı olarak öğretmekte büyük katkı sağlayabileceğini vurgulamıştır. Öğrenciler, yalnızca yazılım düzeyinde değil, donanım düzeyinde de görüntüleme teknolojilerini kavrama fırsatı bulmaktadır. Mikrobilgisayarlı tomografi sisteminin eğitimsel ortamlarda, pilot araştırmalarda ve preklinik çalışmalarda geleneksel mikro-BT sistemlerine uygun bir alternatif olarak kullanılabileceği belirtmiştir (Liao et al., 2018).

Sonuç

Mikrobilgisayarlı tomografi; kök kanal morfolojisi, şekillendirme, obturasyon, retreatment, dentin mikroyapısı, rejeneratif uygulamalar ile rezorpsiyon/perforasyon analizlerinde yıkımsız, üç boyutlu ve nicel değerlendirme olanağı sağlayarak endodontik araştırmalarda önemli rol oynarken, klinikte konik ışınlı bilgisayarlı tomografi tamamlayıcı bir rol üstlenmekte; bununla birlikte maliyet, tarama süresi, örnek boyutu ve in vivo kullanım kısıtları gelecekte daha hızlı tarama, daha düşük doz ve yapay zekâ destekli otomatik segmentasyon gibi gelişmelere ihtiyacı vardır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, H., Versiani, M., De-Deus, G., & Dummer, P. (2017). A new system for classifying root and root canal morphology. *International endodontic journal*, 50(8), 761–770.
- Alghofaily, M., Torabinejad, M., & Nosrat, A. (2022). Regenerative endodontic treatment using periapical blood or circulating blood as scaffold: a volumetric analysis. *Journal of endodontics*, 48(5), 625–631.
- Alovisi, M., Cemenasco, A., Mancini, L., Paolino, D., Scotti, N., Bianchi, C., & Pasqualini, D. (2017). Micro-CT evaluation of several glide path techniques and ProTaper Next shaping outcomes in maxillary first molar curved canals. *International endodontic journal*, 50(4), 387–397.
- Bernardes, R., Duarte, M. A. H., Vivan, R. R., Alcalde, M. P., Vasconcelos, B., & Bramante, C. M. (2016). Comparison of three retreatment techniques with ultrasonic activation in flattened canals using micro-computed tomography and scanning electron microscopy. *International endodontic journal*, 49(9), 890–897.
- Bhandi, S., Mashyakhy, M., Abumelha, A. S., Alkahtany, M. F., Jamal, M., Chohan, H., . . . Patil, S. (2021). Complete obturation—cold lateral condensation vs. thermoplastic techniques: a systematic review of micro-CT studies. *Materials*, 14(14), 4013.
- Canali, L. C. F., Duque, J. A., Vivan, R. R., Bramante, C. M., Só, M. V. R., & Duarte, M. A. H. (2019). Comparison of efficiency of the retreatment procedure between Wave One Gold and Wave One systems by Micro-CT and confocal microscopy: an in vitro study. *Clinical oral investigations*, 23(1), 337–343.
- Celikten, B., Jacobs, R., de Faria Vasconcelos, K., Huang, Y., Shaheen, E., Nicolielo, L. F. P., & Orhan, K. (2019). Comparative evaluation of cone beam CT and micro-CT on blooming artifacts in human teeth filled with bioceramic sealers. *Clinical oral investigations*, 23(8), 3267–3273.
- Chung, S.-Y., Kim, Y. H., Chae, Y. K., Jo, S.-S., Choi, S. C., & Nam, O. H. (2021). Void characteristics and tortuosity of calcium silicate-based cements for regenerative endodontics: a micro-computed tomography analysis. *BMC Oral Health*, 21(1), 565.
- Cleghorn, B., Christie, W., & Dong, C. (2008). Anomalous mandibular premolars: a mandibular first premolar with three roots and a mandibular second premolar with a C-shaped canal system. *International endodontic journal*, 41(11), 1005–1014.
- Cotton, T. P., Geisler, T. M., Holden, D. T., Schwartz, S. A., & Schindler, W. G. (2007). Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *Journal of endodontics*, 33(9), 1121–1132.
- Dowker, S. E., Davis, G. R., & Elliott, J. C. (1997). X-ray microtomography: nondestructive three-dimensional imaging for in vitro endodontic studies. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 83(4), 510–516.

- Grande, N. M., Plotino, G., Gambarini, G., Testarelli, L., D'Ambrosio, F., Pecci, R., & Bedini, R. (2012). Present and future in the use of micro-CT scanner 3D analysis for the study of dental and root canal morphology. *Annali dell'Istituto superiore di sanita*, 48, 26–34.
- Gunst, V., Mavridou, A., Huybrechts, B., Van Gorp, G., Bergmans, L., & Lambrechts, P. (2013). External cervical resorption: an analysis using cone beam and microfocus computed tomography and scanning electron microscopy. *International endodontic journal*, 46(9), 877–887.
- Jung, M., Lommel, D., & Klimek, J. (2005). The imaging of root canal obturation using micro-CT. *International endodontic journal*, 38(9), 617–626.
- Kalantar Motamedi, M. R., Mortaheb, A., Zare Jahromi, M., & Gilbert, B. E. (2021). Micro-CT evaluation of four root canal obturation techniques. *Scanning*, 2021(1), 6632822.
- Karobari, M. I., Batul, R., Khan, M., Patil, S. R., Basheer, S. N., Rezallah, N. N. F., . . . Noorani, T. Y. (2024). Micro computed tomography (Micro-CT) characterization of root and root canal morphology of mandibular first premolars: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 24(1), 1.
- Keleş, A., Erdal, Y. S., Ersöz, M., & Erdal, Ö. D. (2013). A micro computed tomography examination of dens invaginatus type 2 in an approximately 2000 year-old maxillary molar tooth—a case report. *Eurasian Journal of Anthropology*, 4(2), 45–50.
- Levin, M. D., & Jong, G. (2016). The use of CBCT in the diagnosis and management of root resorption. In *3D imaging in endodontics: a new era in diagnosis and treatment* (pp. 131–143): Springer.
- Liao, C.-W., Fuh, L.-J., Shen, Y.-W., Huang, H.-L., Kuo, C.-W., Tsai, M.-T., & Hsu, J.-T. (2018). Self-assembled micro-computed tomography for dental education. *PLoS One*, 13(12), e0209698.
- Maret, D., Peters, O. A., Galibourg, A., Dumoncel, J., Esclassan, R., Kahn, J.-L., . . . Telmon, N. (2014). Comparison of the accuracy of 3-dimensional cone-beam computed tomography and micro-computed tomography reconstructions by using different voxel sizes. *Journal of endodontics*, 40(9), 1321–1326.
- Martin, G., Arce Brisson, G., Chen, B., Noemi de Caso, C., Boetto, A. C., Jacobo, M. I., . . . Monsalvo, A. (2021). Root dentine thickness in C-shaped lower second molars after instrumentation: A CBCT and micro-CT study. *Australian Endodontic Journal*, 47(2), 122–129.
- Moura-Netto, C., Palo, R. M., Camargo, C. H. R., Pameijer, C. H., & Bardauil, M. R. R. d. S. (2013). Micro-CT assessment of two different endodontic preparation systems. *Brazilian oral research*, 27, 26–30.
- Neves, A. B., Bergstrom, T. G., Fonseca-Gonçalves, A., Dos Santos, T. M. P., Lopes, R. T., & de Almeida Neves, A. (2019). Mineral density changes in bovine carious dentin after treatment with bioactive dental cements: a comparative micro-CT study. *Clinical oral investigations*, 23(4), 1865–1870.

- Nielsen, R. B., Alyassin, A. M., Peters, D. D., Carnes, D. L., & Lancaster, J. (1995). Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *Journal of endodontics*, 21(11), 561–568.
- Oi, T., Saka, H., & Ide, Y. (2004). Three-dimensional observation of pulp cavities in the maxillary first premolar tooth using micro-CT. *International endodontic journal*, 37(1), 46–51.
- Ordinola-Zapata, R., Monteiro Bramante, C., Gagliardi Minotti, P., Cavallini Cavenago, B., Gutmann, J. L., Moldauer, B. I., . . . Hungaro Duarte, M. (2015). Micro-CT evaluation of C-shaped mandibular first premolars in a Brazilian subpopulation. *International endodontic journal*, 48(8), 807–813.
- Palczewska-Komsa, M. P., Gapiński, B., & Nowicka, A. (2022). The Influence of New Bioactive Materials on Pulp–Dentin Complex Regeneration in the Assessment of Cone Bone Computed Tomography (CBCT) and Computed Micro-Tomography (Micro-CT) from a Present and Future Perspective—A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, 11(11), 3091.
- Paqué, F., & Peters, O. A. (2011). Micro–computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the self-adjusting file. *Journal of endodontics*, 37(4), 517–521.
- Parashos, P., Moore, J., & Fitz-Walter, P. (2010). A micro-computed tomographic evaluation of apical root canal preparation using three instrumentation techniques-Response. *International endodontic journal*, 43(5), 453–453.
- Park, S., Wang, D. H., Zhang, D., Romberg, E., & Arola, D. (2008). Mechanical properties of human enamel as a function of age and location in the tooth. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 19(6), 2317–2324.
- Patel, S., Dawood, A., Ford, T. P., & Whaites, E. (2007). The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *International endodontic journal*, 40(10), 818–830.
- Peters, O. A., & Paqué, F. (2011). Root canal preparation of maxillary molars with the self-adjusting file: a micro-computed tomography study. *Journal of endodontics*, 37(1), 53–57.
- Peters, O. A., Peters, C. I., Schonenberger, K., & Barbakow, F. (2003). ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *International endodontic journal*, 36(2), 86–92.
- Ranjitkar, S., Yong, R., Wu, I. C., Gully, G., Farmer, D., Watson, I., & Heithersay, G. (2019). Dentinal dysplasia type 1: A 3D micro-computed tomographic study of enamel, dentine and root canal morphology. *Australian Endodontic Journal*, 45(3), 298–304.
- Ribeiro, T., Costa, F., Soares, E., Williams Jr, J., & Fonteles, C. (2015). Enamel and dentin mineralization in familial hypophosphatemic rickets: a micro-CT study. *Dentomaxillofacial Radiology*, 44(5), 20140347.
- Rosa, R. A. d., Santini, M. F., Cavenago, B. C., Pereira, J. R., Duarte, M. A. H., & Só, M. V. R. (2015). Micro-CT evaluation of root filling removal after three stages of retreatment procedure. *Brazilian Dental Journal*, 26(6), 612–618.

- Sasov, & Dyck, V. (1998). Desktop X-ray microscopy and microtomography. *Journal of Microscopy*, 191(2), 151–158.
- Sousa-Neto, M. D. d., Silva-Sousa, Y. C., Mazzi-Chaves, J. F., Carvalho, K. K. T., Barbosa, A. F. S., Versiani, M. A., . . . Leoni, G. B. (2018). Root canal preparation using micro-computed tomography analysis: a literature review. *Brazilian oral research*, 32, e66.
- Stern, S., Patel, S., Foschi, F., Sherriff, M., & Mannocci, F. (2012). Changes in centring and shaping ability using three nickel–titanium instrumentation techniques analysed by micro-computed tomography (μCT). *International endodontic journal*, 45(6), 514–523.
- Suzuki, S. S., Garcez, A. S., Reese, P. O., Suzuki, H., Ribeiro, M. S., & Moon, W. (2018). Effects of corticopuncture (CP) and low-level laser therapy (LLLT) on the rate of tooth movement and root resorption in rats using micro-CT evaluation. *Lasers in medical science*, 33(4), 811–821.
- Swain, M. V., & Xue, J. (2009). State of the art of Micro-CT applications in dental research. *International journal of oral science*, 1(4), 177–188.
- Verma, P., & Love, R. (2011). A Micro CT study of the mesiobuccal root canal morphology of the maxillary first molar tooth. *International endodontic journal*, 44(3), 210–217.
- Versiani, M., Pécora, J. D., & Sousa-Neto, M. D. d. (2011). The anatomy of two-rooted mandibular canines determined using micro-computed tomography. *International endodontic journal*, 44(7), 682–687.
- Villas-Bôas, M. H., Bernardineli, N., Cavenago, B. C., Marciano, M., del Carpio-Perochena, A., De Moraes, I. G., . . . Ordinola-Zapata, R. (2011). Micro-computed tomography study of the internal anatomy of mesial root canals of mandibular molars. *Journal of endodontics*, 37(12), 1682–1686.
- Wang, H., Yang, X., Zou, L., Huang, D., Zhou, X., Xu, J., & Gao, Y. (2022). Shaping outcome of ProTaper NEXT for root canal preparation in mandibular incisors: a micro-CT study. *BMC Oral Health*, 22(1), 302.
- Yeri, E. A. (2015). Mikro bilgisayarlı tomografi ve endodontik araştırmalardaki yeri. *Türkiye Klinikleri J Endod-Special Topics*, 1(3), 32–39.
- Yilmaz, A., Helvacioğlu-Yigit, D., Gur, C., Ersev, H., Kiziltas Sendur, G., Avcu, E., . . . Abbott, P. V. (2017). Evaluation of dentin defect formation during retreatment with hand and rotary instruments: a micro-Ct study. *Scanning*, 2017(1), 4868603.
- Yılmaz, F., Koç, C., Kamburoğlu, K., Ocak, M., Geneci, F., Uzuner, M. B., & Çelik, H. H. (2018). Evaluation of 3 different retreatment techniques in maxillary molar teeth by using micro-computed tomography. *Journal of endodontics*, 44(3), 480–484.
- You, S.-Y., Kim, H.-C., Bae, K.-S., Baek, S.-H., Kum, K.-Y., & Lee, W. (2011). Shaping ability of reciprocating motion in curved root canals: a comparative study with micro-computed tomography. *Journal of endodontics*, 37(9), 1296–1300.
- Zhang, Y., Weng, X., Fu, Y., Qi, X., Pan, Y., & Zhao, Y. (2023). CBCT and Micro-

CT analysis of the mandibular first premolars with C-shaped canal system in a Chinese population author. BMC Oral Health, 23(1), 707.