

ENDODONTİ DEĞERLENDİRMELERİ

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Güzide ÇANKAYA

Endodonti Değerlendirmeleri

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Güzide ÇANKAYA

yaz
yayınları

2025

Endodonti Değerlendirmeleri

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Güzide ÇANKAYA

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5838-99-5

Ekim 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Periapikal Doku Rejenerasyonu	1
<i>Güzide ÇANKAYA</i>	
Minimal İnvaziv Pulpa Koruma Tedavileri ve Kullanılan Materyaller	32
<i>Eren VAR</i>	
Pulpotomi Stratejileri	48
<i>Eren VAR</i>	
Kalsiyum Silikat Esaslı Materyaller	60
<i>Mahmut ÇİÇEKLİ, Mehmet ADIGÜZEL</i>	
Endodontide Periapikal Cerrahi.....	123
<i>Tunahan DÖKEN</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

PERİAPİKAL DOKU REJENERASYONU

Güzide ÇANKAYA¹

1. GİRİŞ

Periapikal doku rejenerasyonu, endodontik tedavilerin uzun dönemdeki başarı oranlarını artırmaya yönelik gelişen yaklaşımlardan biridir. Geleneksel endodontik uygulamalar, enfekte veya nekrotik pulpa dokusunun uzaklaştırılması ve kanalların obturasyonu üzerine kuruluyken, rejeneratif endodonti bu alanı biyolojik iyileşme, doku yenilenmesi ve fonksiyonel tamir odaklı bir perspektifle ele almaktadır (Tatullo et al., 2017; Xie et al., 2021). Bu yeni paradigma, sadece semptomları gidermekle kalmayıp, kaybedilen dokuların yapısal ve fonksiyonel olarak yeniden oluşturulmasını hedeflemektedir (Brizuela et al., 2020; Y. Wei et al., 2022).

Son yıllarda kök kanal sistemindeki rejenerasyon potansiyeli, kök hücre biyolojisi, büyümeyi teşvik eden faktörler, biyomalzemeler ve sinyal yolları gibi alanlardaki bilimsel ilerlemelerle birlikte yeniden değerlendirilmiştir (Han et al., 2010; Machla, Angelopoulos, Epple, Chatzinikolaidou, & Bakopoulou, 2022; Tuli et al., 2020). Bu gelişmeler, rejeneratif endodonti uygulamalarının periapikal dokulara olan etkisini de kapsayacak şekilde genişletmiştir.

Rejeneratif endodontik prosedürler (REP) ve periapikal doku rejenerasyonu her ne kadar doku iyileşmesini hedeflese de, klinik hedefleri, biyolojik temelleri ve uygulama alanları bakımından farklılık gösterir. Wei ve ark. (2022) (X. Wei et al.,

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Bingöl Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, gcankaya@bingol.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4699-6988

2022) ile Lin ve ark. (2021) (L. M. Lin, Huang, Sigurdsson, & Kahler, 2021), bu ayrımın tedavi planlamasında kritik olduğunu vurgulamaktadır.

Tablo 1. Rejeneratif Endodontik Prosedürler (REP) ve Periapikal Doku Rejenerasyonu Arasındaki Farklar

Özellik	Rejeneratif Endodontik Prosedürler (REP)	Periapikal Doku Rejenerasyonu
Hedef Doku	Pulpa-dentin kompleksi	Sementum, periodontal ligament, alveoler kemik
Klinik Endikasyon	İmmatür, nekrotik dişler	Periapikal lezyonlar, apikal periodonsiyum defektleri
Biyolojik Temel	Kök gelişiminin devamı, pulpa revaskülarizasyonu	Sementogenezis, osteogenezis, ligament rejenerasyonu
Uygulama Alanı	Endodontik kanal sistemi	Apikal ve periapikal bölge
Başarı Ölçütleri	Kök uzunluğu artışı, kök duvar kalınlaşması, apeks kapanması	Kemik dolumu, periodontal ligament oluşumu, klinik semptomsuzluk
Kullanılan Materyaller	EDTA, MTA, kalsiyum silikat bazlı biyoseramikler	Membranlar, greftler, PRF, biyoseramik retrograd dolgu materyalleri

Periapikal doku rejenerasyonu, sadece endodontik başarıyı artırmakla kalmaz, aynı zamanda biyouyumlu ve uzun ömürlü restorasyonlar için de temel oluşturur. Bu kitap bölümü, periapikal dokuların biyolojisinden klinik uygulamalara kadar uzanan geniş bir perspektif sunmayı amaçlamaktadır. Güncel literatüre dayalı olarak, rejeneratif yaklaşımların biyolojik temelini, uygulama tekniklerini ve gelecekteki potansiyelini ele almayı hedeflenmektedir.

Bu kavramsal çerçeveye dayalı olarak, periapikal dokuların yapısal ve histolojik özelliklerinin anlaşılması, rejeneratif yaklaşımların biyolojik temellerinin kavranması açısından kritik öneme sahiptir.

2. PERİAPİKAL DOKU ANATOMİSİ VE HİSTOLOJİSİ

Periapikal dokular; diş kökü etrafındaki sement, periodontal ligament ve alveoler kemiği kapsayan kompleks bir yapıdır (L. Lin, Chen, Ricucci, & Rosenberg, 2010; Sánchez-Torres, Sánchez-Garcés, & Gay-Escoda, 2014). Bu yapılar, dişin fonksiyonel stabilitesini sağlamakta ve inflamasyon gibi patolojik süreçlere karşı dinamik bir savunma görevi görmektedir.

Sement, diş kök yüzeyini kaplayarak periodontal ligamentin köke tutunmasını sağlar. Periodontal ligament, kollajen liflerden oluşan, hücre içeriği zengin ve vaskülerize bir bağ dokusudur. Bu ligament, kemik ile diş arasında şok emici görev görerek çiğneme kuvvetlerinin dengelenmesini sağlar (Han et al., 2010; Sánchez-Torres et al., 2014). Alveoler kemik ise dişleri yerinde tutan ana kemik yapısıdır ve remodeling kapasitesi yüksektir.

Periapikal bölgede bulunan bu dokular, immün hücreler, mezenkimal kök hücreler, fibroblastlar ve osteoblastlar gibi çeşitli hücre türlerini içerir. Bu hücreler, rejeneratif süreçlerde önemli rol oynayan sitokin ve büyümeyi teşvik eden faktörlerin salınmasında kritik işlevlere sahiptir (Han et al., 2010; Prasad & Palakodeti, 2024).

Histolojik olarak, periapikal inflamasyon durumunda bu bölgede lenfositik infiltrasyon, osteoklast aktivasyonu ve granülom/apse formasyonları gözlemlenir (Sánchez-Torres et al., 2014). Bu nedenle, rejeneratif yaklaşımların başarısı için periapikal mikroçevrenin biyolojisinin iyi anlaşılması hayati önem taşır.

3. REJENERATİF ENDODONTİK YAKLAŞIMLAR VE BİYOLOJİK TEMELLER

Periapikal rejenerasyonun sağlanmasında rejeneratif endodontik yaklaşımlar, doku biyolojisini ve iyileşme potansiyelini temel alan çok disiplinli bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yaklaşımlar, doku mühendisliği prensipleri çerçevesinde üç temel bileşeni esas alır: rejeneratif potansiyele sahip hücreler, uygun biyomalzemeler ve büyüme faktörleri (Y. Wei et al., 2022; Xie et al., 2021).

3.1. Kök Hücrelerin Rolü

Periapikal dokularda yer alan kök hücre popülasyonları, rejeneratif potansiyelin merkezinde yer alır. Periapikal folikül kök hücreleri (PFCs) ve insan periapikal kist kaynaklı mezenkimal kök hücreler (hPCy-MSCs), osteojenik, kondrojenik ve dentinojenik farklılaşma yetenekleri ile dikkat çekmektedir (Han et al., 2010; Tatullo et al., 2017). Yapılan çalışmalarda bu hücrelerin doku mühendisliği ile üretilmiş kök yapısının oluşumu ve sementum/periodontal ligament rejenerasyonu gibi alanlarda etkin olduğu gösterilmiştir (Han et al., 2010).

3.2. Büyüme ve Diferansiyasyon Faktörleri

Büyüme faktörleri (TGF- β 1, BMP-2, VEGF vb.) rejenerasyon sürecinde hücresel proliferasyon, migrasyon ve matriks sentezini uyaran anahtar moleküllerdir (Prasad & Palakodeti, 2024; Xie et al., 2021). Bu sinyallerin kontrollü salınımı, biyoaktif materyallerle desteklenerek hedef dokunun onarımını optimize edebilir.

3.3. Periapikal Mikroçevre ve Enflamasyon

Rejenerasyonun başarısı, lokal mikroçevredeki enflamatuvar durum ile yakından ilişkilidir. Özellikle kronik inflamasyon, kök hücrelerin diferansiyasyon kapasitesini baskılayabilir (Iohara, Tominaga, Watanabe, & Nakashima,

2024; Zaky et al., 2020). Bu nedenle periapikal bölgenin dezenfeksiyonu ve enflamatuvar yanıtın kontrol altına alınması, rejeneratif tedavilerin temel basamağı olarak kabul edilmektedir (Iohara et al., 2024; Saiz-Pardo-Pinos et al., 2024).

3.4. Sinirsel Rejenerasyon Potansiyeli

Yapılan çalışmalarda, rejeneratif endodontik prosedürler sonrasında sinir liflerinin yeniden oluşumu ve duysal innervasyonun tekrar kazanılmasının mümkün olduğu bildirilmiştir (Y. Wei et al., 2022). Bu durum, pulpa-dentin kompleksinin biyofonksiyonel olarak yeniden inşasını mümkün kılmaktadır.

3.5. Rejeneratif Endodontide Kullanılan Materyallerin Biyolojik Etkileşimi

Kalsiyum silikat bazlı materyaller (MTA, Biodentine) gibi biyoseramiklerin, periapikal doku rejenerasyonunu destekleyen antiinflamatuvar ve osteojenik etkileri bulunmaktadır (Baek, Plenck, & Kim, 2005; Deng, Zhu, Yang, Jiang, & Yan, 2016; Montero-Miralles et al., 2021; Pecora, Kim, Celletti, & Davarpanah, 1995). Bu materyallerin biyoaktivitesi, hücre adezyonunu ve doku entegrasyonunu kolaylaştırarak iyileşme sürecini destekler.

Bu bölümde sunulan biyolojik temeller, bir sonraki aşamada kullanılacak rejeneratif tedavi modalitelerinin bilimsel zeminini oluşturmaktadır.

Bu biyolojik prensipler, klinik uygulamalarda doğru materyal ve yöntem seçiminde yol gösterici rol oynamakta; bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak ele alınacak tedavi protokollerinin temelini oluşturmaktadır.

4. BİYOMALZEMELER VE REJENERATİF UYGULAMALAR

Periapikal doku rejenerasyonunda kullanılan biyomalzemeler, rejeneratif sürecin başarısı açısından hayati öneme sahiptir. Bu materyaller, kök hücrelerin farklılaşmasını desteklemeli, inflamasyonu baskılamalı ve anjiyogenez gibi iyileştirici süreçleri teşvik etmelidir (Baek et al., 2005; Deng et al., 2016; Machla et al., 2022; Montero-Miralles et al., 2021; Pecora et al., 1995).

4.1. Biyoseramik Materyaller

Kalsiyum silikat bazlı biyoseramikler (örneğin MTA, Biodentine), endodontik uygulamalarda en yaygın kullanılan materyaller arasındadır. Bu materyallerin üstün biyouyumluluk özellikleri, mineralizasyonu indüklemeleri ve doku dostu pH seviyeleri, periapikal iyileşmeye katkı sağlar (Baek et al., 2005; Montero-Miralles et al., 2021). MTA'nın osteokondüktif özellikleri ve sementum oluşumunu teşvik edici etkisi, onu kök ucu dolgu materyali olarak tercih edilebilir kılmaktadır (Deng et al., 2016; Pecora et al., 1995).

4.2. Kollajen Tabanlı Materyaller

Kollajen esaslı membranlar ve süngerler, kılavuzlu doku rejenerasyonu (GTR) tekniklerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu materyallerin biyoçözünür yapıları ve hücre adezyonuna olanak tanıyan mikro yapıları, kemik rejenerasyonunu destekler (Attar-Attar, Bernabeu-Mira, Cervera-Ballester, Peñarrocha-Diago, & Peñarrocha-Diago, 2024; Deng et al., 2016; Parmar et al., 2019).

4.3. Kan Türevi Biyomateryaller

Platelet-Rich Fibrin (PRF), Platelet-Rich Plasma (PRP) ve Concentrated Growth Factor (CGF) gibi otolog kan ürünleri, içerdikleri büyüme faktörleri sayesinde fibroblast proliferasyonu,

anjyogenez ve osteoblastik aktiviteyi artırır (Malli Sureshabu, Selvarasu, V, Nandakumar, & Selvam, 2019; Serazetdinova, Gracheva, Saakyan, & Lisevtsova, 2024). Bu biyolojik ürünler, özellikle periapikal cerrahi sonrası iyileşme sürecini hızlandırma potansiyeline sahiptir.

4.4. Sentetik ve Doğal Greft Materyalleri

Alloplastik, xenogenik ve allogenik greftler, periapikal kemik defektlerinin tedavisinde hacimsel destek ve osteokonduktif ortam sağlar. Bu greft materyalleri, hücre göçü ve doku entegrasyonu için iskelet görevi görür (Deng et al., 2016; Sánchez-Torres et al., 2014; Tuli et al., 2020). Bazı çalışmalarda, kemik greftlerinin membranlarla kombine kullanımının rejenerasyon kapasitesini anlamlı düzeyde artırdığı gösterilmiştir (Deng et al., 2016; Segura-Egea, Cabanillas-Balsera, Martín-González, & Cintra, 2023).

4.5. Yeni Nesil Biyoaktif Materyaller

Son yıllarda geliştirilen nanoteknolojik ve biyoindüktif materyaller, hedeflenmiş hücre yanıtlarını indükleyerek rejeneratif süreçleri optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu materyallerin kontrollü salınım sistemleri ile büyüme faktörlerinin uzun süreli etkileri sağlanabilmektedir (Hu et al., 2024; Machla et al., 2022; Prasad & Palakodeti, 2024).

Biyomalzemelerin bu şekilde entegrasyonu, sadece mekanik bir destek sağlamakla kalmaz, aynı zamanda biyokimyasal sinyalleşme ve hücre dinamikleri üzerinde de doğrudan etki göstererek rejeneratif başarıyı belirleyen unsurlar hâline gelir.

Biyomalzemelerin doğru seçimi ve uygulanması, yalnızca rejeneratif sürecin biyolojik temellerini desteklemekle kalmaz; aynı zamanda klinik aşamada uygulanacak protokollerin etkinliğini doğrudan belirler.

5. KILAVUZLU DOKU REJENERASYONU (GTR) TEKNİKLERİ

Kılavuzlu doku rejenerasyonu (Guided Tissue Regeneration, GTR), periapikal dokuların anatomik ve fonksiyonel bütünlüğünün yeniden kazanılmasında önemli bir yer tutar. Bu teknik, rejeneratif cerrahi uygulamalarda, hedef dokuların iyileşmesini desteklerken epitel hücrelerinin proliferasyonunu sınırlayarak hedef dokuya özel hücrelerin invazyonunu teşvik etmeyi amaçlar (Baniulyte, Burns, & Ali, 2022; L. Lin et al., 2010; Pecora et al., 1995).

5.1. GTR'nin Temel Prensibi ve Biyolojik Temeli

GTR tekniği, iyileşme sürecinde mezenkimal hücrelerin, osteoblastların ve periodontal ligament hücrelerinin lezyon bölgesine göçünü teşvik etmek amacıyla epitel ve bağ dokusunun alana girişini engelleyen bir bariyer görevi gören membranların kullanımına dayanır (Alajmi, Karobari, & Aldowah, 2022; Baniulyte et al., 2022; Pecora et al., 1995). Bu membranlar, osteojenik hücrelerin çoğalması için korunaklı bir mikroçevre sağlayarak kemik rejenerasyonunu kolaylaştırır (Alajmi et al., 2022; Deng et al., 2016; Parmar et al., 2019).

5.2. Kullanılan Membranlar ve Özellikleri

GTR uygulamalarında kullanılan membranlar, genellikle biyobozunur (kolajen, polilaktik asit bazlı) ya da biyobozunmaz (PTFE gibi) materyallerden üretilir. Klinik olarak en yaygın kullanılanlar arasında kollajen membranlar yer almaktadır. Bu membranlar, biyoyumlu olmaları, enflamatuvar yanıt oluşturmamaları ve operasyon sonrası ikinci bir cerrahi girişime ihtiyaç bırakmadan doğal olarak rezorbe olmaları nedeniyle tercih edilmektedir (Attar-Attar et al., 2024; Parmar et al., 2019).

Biyomimetik kollajen membranlar üzerine yapılan güncel çalışmalarda, bu membranların büyüme faktörleri ile

zenginleştirildiğinde osteoindüktif özelliklerinin arttığı ve rejenerasyon sürecini hızlandırdığı belirtilmiştir (Saiz-Pardo-Pinos et al., 2024).

5.3. GTR ile Kombine Kullanılan Biyomalzemeler

GTR prosedürleri sıklıkla kemik greft materyalleriyle kombine edilerek uygulanır. Allogreft, xenogreft, sentetik greft ve otogreftler; periapikal kemik kaybının telafisinde hem hacimsel destek hem de hücrel göç için iskelet sağlayıcı görev görmektedir (Deng et al., 2016; Sánchez-Torres et al., 2014; Tuli et al., 2020).

Ayrıca Platelet-Rich Fibrin (PRF), Concentrated Growth Factors (CGF) gibi otolog kan türevi ürünlerin kullanımı ile rejenerasyon süreci biyolojik olarak desteklenmektedir. Bu ürünler, içinde barındırdıkları büyüme faktörleri aracılığıyla fibroblast proliferasyonu, anjiyogenez ve osteoblast aktivitesini artırarak dokuların iyileşmesine katkı sağlar (Brizuela et al., 2020; Malli Sureshababu et al., 2019; Serazetdinova et al., 2024).

5.4. GTR'nin Klinik Etkinliği ve Başarı Oranları

GTR uygulamaları özellikle “through-and-through” tipi kemik defektleri gibi geniş lezyonlarda, konvansiyonel cerrahi tekniklere kıyasla daha yüksek başarı oranları sunmaktadır. Randomize kontrollü çalışmalar, membran destekli GTR uygulamalarında radyografik iyileşmenin daha belirgin olduğunu ve nüks oranlarının azaldığını ortaya koymuştur (Deng et al., 2016; Segura-Egea et al., 2023). Deng ve arkadaşlarının meta-analizine göre, lezyonun boyutu ve tipi, membran materyalinin özellikleri ve greft kullanımı gibi faktörler, GTR başarısını doğrudan etkilemektedir (Deng et al., 2016).

Bu klinik etkinlik bulguları, GTR'nin yalnızca histolojik olarak değil, aynı zamanda uzun dönem klinik takiplerde de anlamlı iyileşme sağladığını göstermektedir. Elde edilen bu

kanıtlar, yöntemin spesifik klinik senaryolarda uygulanma potansiyelini netleştirmektedir.

5.5. Klinik Örnekler ve Uygulama Alanları

GTR, özellikle büyük çaplı lezyonlar, kortikal tabaka kaybı, kök perforasyonları ve apiko-marginal defektler gibi durumlarda endodontik cerrahiye entegre edilerek başarı oranlarını artırır (Alajmi et al., 2022; Attar-Attar et al., 2024). İki yıl takipli klinik vakalarda, membran destekli tedavilerde lezyonların neredeyse tamamının radyografik olarak kaybolduğu, fonksiyonel ve estetik sonuçların elde edildiği bildirilmiştir (Alajmi et al., 2022; Deng et al., 2016).

6. KLİNİK UYGULAMALAR VE LEZYON TİPLERİNE YÖNELİK STRATEJİLER

Periapikal doku rejenerasyonu, klinik pratikte lezyonun tipine, büyüklüğüne ve lokal anatomik koşullara göre bireyselleştirilmiş yaklaşımlar gerektirir. Bu nedenle tedavi planlamasında sadece enfeksiyonun eliminasyonu değil, aynı zamanda doku mimarisinin yeniden inşası da dikkate alınmalıdır (L. Lin et al., 2010; Sánchez-Torres et al., 2014; Serazetdinova et al., 2024). Klinik başarıyı etkileyen temel faktörler arasında lezyon morfolojisi, kortikal kemiğin bütünlüğü, pulpal vitalite durumu ve sistemik sağlık profili yer almaktadır (Attar-Attar et al., 2024; Saiz-Pardo-Pinos et al., 2024; Segura-Egea et al., 2023).

6.1. Lezyon Tiplerine Göre Yaklaşımlar

Tek duvarlı, sınırlı periapikal lezyonlar, genellikle konvansiyonel endodontik tedaviyle iyileşme gösterirken; çok duvarlı, geniş veya “through-and-through” defektler, sıklıkla ileri rejeneratif tekniklerin uygulanmasını gerektirir (Deng et al., 2016; Parmar et al., 2019; Segura-Egea et al., 2023). Bu tür

lezyonlarda GTR (kılavuzlu doku rejenerasyonu) ve kemik greftleri kullanımı, iyileşmeyi belirgin şekilde artırabilir (Attar-Attar et al., 2024; Deng et al., 2016; Pecora et al., 1995).

Apikomarginal lezyonlar, kortikal kemiği aşarak hem apikal hem de marjinal bölgeleri etkilediği için tedavisi oldukça zordur. Bu durumlarda kollajen membran ve greft kombinasyonları ile GTR uygulanması, epitel invazyonunu engelleyerek periodontal dokuların rejenerasyonuna olanak sağlar (Attar-Attar et al., 2024). Sistematik derlemeler, bu lezyonlarda GTR kullanılan olgularda daha yüksek radyografik başarı oranları bildirildiğini göstermektedir (Attar-Attar et al., 2024; Deng et al., 2016).

Bu morfolojik sınıflandırma, klinik planlamanın temelini oluşturarak hangi rejeneratif prosedürlerin tercih edileceğini doğrudan etkiler.

6.2. Regeneratif Prosedürlerin Klinik Planlaması

Klinik uygulamada başarılı rejeneratif tedavi için aşağıdaki temel aşamalar izlenmelidir:

Etkin kanal dezenfeksiyonu: Hipoklorit ve EDTA gibi irrigantlarla mikrobiyal yükün azaltılması (Iohara et al., 2024).

İntrakanal kanama veya hücresel taşıyıcı kullanımı: Mezenkimal kök hücre migrasyonunu teşvik etmek amacıyla (Tatullo et al., 2017; Xie et al., 2021).

Biyouyumlu materyal kullanımı: MTA, Biodentine gibi materyaller, hücre adezyonunu ve mineralizasyonu destekler (Baek et al., 2005; Montero-Miralles et al., 2021; Tuli et al., 2020).

Gerekli durumlarda membran ve greft uygulaması: Özellikle kortikal destrüksiyon varsa (Baniulyte et al., 2022; Parmar et al., 2019; Pecora et al., 1995).

Bu planlamada en önemli unsur, tedavinin lezyonun biyolojik ve anatomik özelliklerine göre özelleştirilmesidir. Klinik örneklerde, PRF gibi büyüme faktörü açısından zengin biyomoleküllerin defekt içine yerleştirilmesi, fibroblast ve osteoblast aktivitesini artırarak rejenerasyonu desteklemiştir (L. Lin et al., 2010; Malli Sureshbabu et al., 2019; Montero-Miralles et al., 2021; Serazetdinova et al., 2024).

6.3. Hasta Temelli Değişkenler ve Tedavi Uyumunun Önemi

Rejeneratif yaklaşımlar yalnızca lokal değil, sistemik faktörlerden de etkilenir. Diabetes mellitus, sigara kullanımı ve yaş gibi parametreler, anjiyogenez, hücre göçü ve doku yanıtını olumsuz etkileyebilir (Segura-Egea et al., 2023). Ayrıca hastanın oral hijyen düzeyi ve tedaviye uyumu da iyileşme sürecinde belirleyicidir.

Literatürde, sistemik sağlık durumu iyi olan, genç ve vital dokusu kısmen korunmuş hastalarda rejeneratif prosedürlerin daha başarılı olduğu bildirilmiştir (Arslan et al., 2019; Segura-Egea et al., 2023; Zaky et al., 2020). Bu nedenle tedavi öncesi bireysel risk faktörlerinin analiz edilmesi ve hastaya özgü bir tedavi protokolü oluşturulması önerilmektedir.

Dolayısıyla, hem lokal hem sistemik faktörler göz önünde bulundurularak tasarlanan bireysel tedavi protokolleri, periapikal doku rejenerasyonunda uzun dönemli başarı için kritik rol oynamaktadır.

7. BAŞARI KRİTERLERİ VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Periapikal doku rejenerasyonu sonrası klinik başarının değerlendirilmesi, sadece semptomların ortadan kalkması ile değil, aynı zamanda radyolojik ve histolojik göstergelerin

analizine dayalı çok yönlü bir yaklaşımla mümkündür (El-Kateb, El-Backly, Amin, & Abdalla, 2020; Parmar et al., 2019; Pecora et al., 1995; Serazetdinova et al., 2024). Rejeneratif endodontik tedavilerin değerlendirilmesinde klasik başarı tanımlarının ötesine geçilerek, fonksiyonel ve biyolojik iyileşme parametrelerinin de dikkate alınması önerilmektedir (L. Lin et al., 2010; Saiz-Pardo-Pinos et al., 2024; Xie et al., 2021).

Bu çok boyutlu yaklaşım, hem klinik hem radyolojik hem de histolojik verilerin birlikte değerlendirilmesini gerektirir ve bu nedenle aşağıda detaylandırılan parametreler kullanılmaktadır.

7.1. Klinik Değerlendirme Parametreleri

Klinik başarı, öncelikle hastanın semptomsuz olması ve ilgili dişte fonksiyonun geri kazanılması ile tanımlanır. Aşağıdaki bulgular rejeneratif prosedürlerin kısa ve uzun dönem başarısını yansıtır:

Ağrı veya hassasiyetin olmaması

Fistül, şişlik veya akıntı gözlenmemesi

Palpasyon ve perküsyona karşı negatif yanıt

Normal oklüzal fonksiyonun sağlanması (Segura-Egea et al., 2023; Y. Wei et al., 2022; Zaky et al., 2020)

Ancak klinik bulguların tek başına yeterli olmaması nedeniyle radyolojik değerlendirme ve gerektiğinde histolojik analizlerin de yapılması gereklidir.

7.2. Radyolojik Değerlendirme

Rejeneratif tedavi sonrası periapikal doku rejenerasyonunun en sık değerlendirildiği yöntem periapikal radyografiler ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT)'dir. Başarı kriterleri arasında şunlar yer alır:

Lezyonun progresif küçülmesi veya tamamen kaybolması (Parmar et al., 2019; Pecora et al., 1995)

Kortikal tabakanın yeniden oluşum

Kök gelişiminin devam etmesi (immature dişlerde)

Dentin duvarlarının kalınlaşması ve apeksin kapanması (Pecora et al., 1995; Prasad & Palakodeti, 2024; Tuli et al., 2020)

CBCT, geleneksel radyografilere kıyasla daha hassas bir değerlendirme imkânı sunar ve özellikle 3 boyutlu lezyon hacmini takipte önemlidir (Deng et al., 2016).

7.3. Histolojik ve Moleküler Düzeyde Değerlendirme (Preklinik Modellerde)

Hayvan deneyleri ve biyopsi bazlı insan çalışmaları, rejeneratif prosedürlerin histolojik olarak değerlendirilmesini mümkün kılar. Başarılı bir rejenerasyonda şu bulgular gözlemlenir:

Fonksiyonel periodontal ligamentin oluşumu

Yeni sement ve dentin benzeri dokuların varlığı

Vaskülarizasyon ve sinirsel innervasyonun yeniden sağlanması (Brizuela et al., 2020; Han et al., 2010; Y. Wei et al., 2022)

İmmünohistokimyasal belirteçlerle (ör. DSPP, VEGF, OCN), hücre diferansiyasyonu ve doku olgunlaşması hakkında detaylı bilgi edinilebilir (Hu et al., 2024; Iohara et al., 2024).

7.4. Klinik Başarıyı Sınıflandıran Sistemler

Klinik uygulamalarda başarıyı standardize etmek amacıyla çeşitli sınıflama sistemleri geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları:

American Association of Endodontists (AAE) kriterleri: Klinik ve radyografik bulguların birlikte değerlendirilmesiyle

olgular “başarılı”, “şüpheli” veya “başarısız” olarak sınıflandırılır (Zanjir et al., 2025).

European Society of Endodontology (ESE) rehberleri: Başarı değerlendirmesinde semptomatoloji, radyografik iyileşme ve fonksiyon parametreleri dikkate alınır (Duncan et al., 2023).

Wei ve ark. (2022) tarafından yayınlanan uluslararası uzlaşısı raporu: Rejeneratif endodontik prosedürlerde başarı kriterleri arasında kök gelişimi, apeks kapanması, semptomsuzluk ve fonksiyonun geri kazanılması yer alır (X. Wei et al., 2022).

Bu sistemler, özellikle rejeneratif prosedürlerin uzun dönem takiplerinde sonuçların karşılaştırılabilirliğini artırmaktadır.

Başarı kriterleri tanımlandıktan sonra, bu başarıyı etkileyen biyolojik ve teknik parametrelerin anlaşılması, tedavi planlamasının doğru yapılabilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

8. BAŞARIYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER: LOKAL, SİSTEMİK VE TEKNİK DEĞİŞKENLER

Periapikal doku rejenerasyonunda klinik başarıyı etkileyen birçok faktör, yalnızca uygulanan tedavi protokolüne değil; aynı zamanda hastaya özgü biyolojik ve anatomik değişkenlere de bağlıdır. Bu faktörler üç temel başlık altında incelenebilir: lokal faktörler, sistemik faktörler ve teknik/prosedürel değişkenler (Iohara et al., 2024; Saiz-Pardo-Pinos et al., 2024; Segura-Egea et al., 2023; Zaky et al., 2020).

8.1. Lokal Faktörler

Lokal faktörler, tedavi alanının kendi biyolojik ve anatomik özelliklerinden kaynaklanan etkenleri ifade eder.

8.1.1. Lezyonun Tipi ve Büyüklüğü

Lezyonun boyutu ve morfolojisi, rejeneratif tedaviye vereceği yanıt üzerinde doğrudan etkilidir. Özellikle "through-and-through" ve apikomarginal defektler gibi kortikal kemiği tamamen etkileyen lezyonlar, sınırlı kan kaynağı ve hücresel göç nedeniyle daha düşük rejenerasyon potansiyeline sahiptir (Deng et al., 2016; Parmar et al., 2019; Pecora et al., 1995; Sánchez-Torres et al., 2014). Buna karşılık, dört duvarlı intrabonyöz defektler daha avantajlı bir iyileşme ortamı sağlar.

8.1.2. Periapikal Mikroçevre ve Enflamasyon

Kronik inflamasyon, mezenkimal kök hücrelerin farklılaşma potansiyelini ve büyüme faktörlerinin biyolojik etkisini olumsuz etkileyebilir (Iohara et al., 2024; Zaky et al., 2020). Bu nedenle enflamasyonun şiddeti ve süresi, rejeneratif yanıtı belirleyen önemli parametrelerdendir.

8.1.3. Vaskülarizasyon ve İnervasyon

İyi vaskülarize bir mikroçevre, besin ve oksijen taşınımını sağlayarak rejeneratif dokuların yaşamasını destekler. Ayrıca, yeniden innervasyonun sağlanması, biyofonksiyonel pulpa-dentin kompleksinin restorasyonu açısından önemlidir (Prasad & Palakodeti, 2024; Y. Wei et al., 2022).

8.2. Sistemik Faktörler

8.2.1. Yaş

Genç bireylerde rejeneratif kapasite daha yüksek olup, kök gelişimi devam eden dişlerde pulpa ve dentin dokularının yeniden oluşumu daha başarılıdır (Y. Wei et al., 2022). Ancak erişkin bireylerde kök apeksi kapalı olduğu için vasküler ve

hücrel yanıt sınırlı kalabilir (Machla et al., 2022; Tatullo et al., 2017).

8.2.2. Metabolik ve İmmünolojik Durum

Dişabet, otoimmün hastalıklar ve sigara kullanımı gibi sistemik faktörler, yara iyileşmesini ve hücrel yanıtları olumsuz etkileyebilir (Attar-Attar et al., 2024; Iohara et al., 2024). Bu durum, kök kanal içi rejenerasyonun da başarısını düşürebilir. Özellikle dişabette, periapikal inflamasyonun rezolüsyonu daha geç gerçekleşmekte ve yeni doku oluşumu gecikmektedir (Digka, Sakka, & Lyroudia, 2020; Iohara et al., 2024).

8.3. Teknik/Prosedürel Değişkenler

8.3.1. Kanal Dezenfeksiyonu

Mikrobiyal kontaminasyonun etkin şekilde uzaklaştırılmadığı durumlarda, rejeneratif tedavi sonuçları başarısızlıkla sonuçlanabilir. Bu nedenle irrigasyon protokolü (ör. %1.5 NaOCl + EDTA) ve intrakanal medikament seçimi (örn. üçlü antibiyotik pastası, kalsiyum hidroksit) büyük önem taşır (Deng et al., 2016; Iohara et al., 2024; Saiz-Pardo-Pinos et al., 2024).

8.3.2. Biyomalzeme Seçimi

Kullanılan sealer ve dolgu materyalinin biyouyumluluğu, rejeneratif sürecin kalitesini doğrudan etkiler. Özellikle MTA ve Biodentine gibi biyoseramik materyaller, osteojenik ve dentinojenik etki göstererek periapikal doku iyileşmesini destekler (Baek et al., 2005; Montero-Miralles et al., 2021; Tuli et al., 2020).

8.3.3. PRF, CGF ve Membran Uygulamaları

Büyüme faktörü salınımı sağlayan otolog materyallerin (ör. Platelet Rich Fibrin) kullanımı, rejenerasyonun kalitesini artırabilir. Ayrıca membran destekli kılavuzlu doku

rejenerasyonu teknikleri, epitel invazyonunu engelleyerek daha stabil bir iyileşme ortamı sunar (Deng et al., 2016; Pecora et al., 1995; Serazetdinova et al., 2024).

8.3.4. Operatör Deneyimi ve Klinik Protokol

Cerrahin deneyimi, protokole uyum ve tedavi sırasında uygulanan asepsi/antisepsi kuralları da başarıyı etkileyen kritik parametrelerdir (Attar-Attar et al., 2024; L. Lin et al., 2010).

Dolayısıyla, periapikal rejeneratif tedavilerde başarı, yalnızca kullanılan materyallere değil; doğru vaka seçimi, uygun protokol ve deneyimli uygulayıcıya bağlı olarak şekillenir.

9. GÜNCEL KLİNİK VE PREKLİNİK ÇALIŞMALAR

Periapikal doku rejenerasyonu alanında son yıllarda yapılan hem klinik hem de preklinik çalışmalar, bu yaklaşımın potansiyelini ve sınırlılıklarını daha net ortaya koymuştur. Gelişen biyomalzemeler, kök hücre teknolojileri ve yeni cerrahi protokoller sayesinde periapikal lezyonların tedavisinde rejeneratif yöntemler giderek daha fazla tercih edilmektedir.

9.1. Klinik Çalışmalar

Rejeneratif endodontik tedavi (RET) prosedürleri, özellikle genç bireylerde açık apeksli dişlerde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Meta-analizlerde, rejeneratif tedavi uygulanan olguların yaklaşık %91'inde lezyon rezolüsyonu ve kök gelişiminde ilerleme saptanmıştır (Montero-Mirallés et al., 2021; Y. Wei et al., 2022). Bununla birlikte, erişkin bireylerde de rejeneratif protokollerin uygulanabilirliğini test eden çalışmalar artmıştır. Örneğin, Galler et al. (2020) tarafından yapılan çok merkezli klinik bir çalışmada, kök kanal tedavisine alternatif olarak uygulanan rejeneratif protokollerin, doku biyoyumunu açısından avantaj sağladığı bildirilmiştir (Xie et al., 2021).

GTR tekniklerinin klinik etkinliği de randomize kontrollü çalışmalarla değerlendirilmiştir. Başta apikomarginal ve “through-and-through” defektler olmak üzere ileri kemik kaybı olan vakalarda, kolajen membran + greft kombinasyonlarının konvansiyonel cerrahiye göre daha başarılı sonuçlar verdiği ortaya konmuştur (Deng et al., 2016; Pecora et al., 1995; Segura-Egea et al., 2023). PRF ve CGF gibi otolog büyüme faktörü kaynaklarının kullanıldığı klinik çalışmalarda, kemik iyileşmesinin hızlandığı ve radyografik olarak daha homojen trabekül formasyonu gözlemlendiği bildirilmiştir (Malli Sureshbabu et al., 2019; Serazetdinova et al., 2024).

Ayrıca, son yıllarda kullanılan biyoseramik sealer'ların (örneğin TotalFill BC Sealer, EndoSequence BC Sealer) rejeneratif kapasiteyi desteklediği gösterilmiş; bu materyallerin uygulandığı olgularda periapikal iyileşme sürecinin hızlandığı ve inflamatuvar hücre infiltrasyonunun azaldığı raporlanmıştır (Baek et al., 2005; Deng et al., 2016; Tuli et al., 2020).

Bu klinik veriler, hayvan modellerinden elde edilen histolojik ve biyokimyasal bulgularla desteklenmekte, böylece rejeneratif süreçlerin biyolojik temelleri daha iyi anlaşılmaktadır.

9.2. Preklinik Çalışmalar

Hayvan modellerinde yapılan deneysel çalışmalar, periapikal doku rejenerasyonunun histolojik ve biyokimyasal süreçlerini daha ayrıntılı olarak ortaya koymuştur. Fare, sıçan, köpek ve domuz modelleri en sık kullanılan preklinik sistemlerdir. Örneğin, yapılan çalışmalarda periapikal bölgeye uygulanan kök hücre yüklü kollajen membranların, osteojenik belirteçlerin ekspresyonunu artırdığı gösterilmiştir (Han et al., 2010; Hu et al., 2024; Tatullo et al., 2017).

Periapikal kistlerden izole edilen mezenkimal kök hücrelerin (hPCy-MSCs) kullanıldığı preklinik çalışmalar, bu hücrelerin osteoblast ve sementoblastlara farklılaşarak yeni

sementum ve periodontal ligament oluşumunu teşvik ettiğini ortaya koymuştur (Han et al., 2010; Prasad & Palakodeti, 2024; Tatullo et al., 2017). Ayrıca, doku mühendisliği temelli yaklaşımlarla birlikte kullanılan büyüme faktörleri (BMP-2, TGF- β 1, VEGF) ile kombine edilen biyomateryallerin, rejeneratif yanıtı sinerjik olarak artırdığı gözlemlenmiştir (Machla et al., 2022; Prasad & Palakodeti, 2024; Tuli et al., 2020).

Bir diğer önemli bulgu, rejeneratif tedaviler sonrası sinirsel yeniden innervasyonun mümkün olabileceğine dair histolojik verilerdir. Özellikle hayvan modellerinde, rejeneratif endodontik prosedür sonrasında newly-formed sinir lifleri saptanmış ve bu durum pulpa-dentin kompleksinin fonksiyonel bütünlüğünü yeniden kazanabileceğini düşündürmüştür (Y. Wei et al., 2022).

Bu bulgular, periapikal dokuların yalnızca yapısal değil, aynı zamanda fonksiyonel olarak da yeniden kazanılabileceğini göstermektedir.

9.3. Literatürdeki Zorluklar ve Gelecek Gereksinimler

Mevcut literatürde en çok vurgulanan sınırlılıklardan biri, standart bir protokol eksikliğidir. Klinik uygulamalarda irrigasyon solüsyonlarının konsantrasyonu, medikament seçimi, kanama indüksiyon tekniği, kullanılan membran veya biyomateryal tipi gibi birçok parametrenin farklılık göstermesi, sonuçların karşılaştırılmasını güçleştirmektedir (Attar-Attar et al., 2024; Iohara et al., 2024).

Ayrıca, klinik çalışmaların büyük çoğunluğu vaka serisi düzeyindedir ve randomize kontrollü çalışmalar halen sınırlıdır. Bu durum, uzun dönem sonuçların değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle gelecekte, çok merkezli, büyük örneklemli, protokol standardizasyonu sağlanmış RCT'lere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu nedenle, gelecekteki araştırmalar yalnızca teknik protokollerin standardizasyonunu değil, aynı zamanda hasta temelli kişiselleştirilmiş rejeneratif stratejilerin geliştirilmesini de hedeflemelidir.

10. GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE ARAŞTIRMA ALANLARI

Periapikal doku rejenerasyonu, endodonti pratiğinde giderek artan bir öneme sahip olmakla birlikte hâlen gelişmekte olan bir alandır. Mevcut bilimsel veriler umut verici olsa da, klinik uygulamalarda rejeneratif protokollerin daha öngörülebilir, tekrarlanabilir ve standartlaştırılmış hale gelmesi için çok sayıda temel ve translasyonel araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

10.1. Standart Protokollerin Geliştirilmesi

Rejeneratif endodontik tedavilerde irrigasyon solüsyonlarının tipi, konsantrasyonu ve süresi; medikament seçimi; hücre kaynaklarının uyarılması ve hemostaz süresi gibi birçok adım halen standardize edilmemiştir (Attar-Attar et al., 2024; Iohara et al., 2024; Saiz-Pardo-Pinos et al., 2024). Farklı kliniklerin farklı uygulamaları nedeniyle sonuçların karşılaştırılması güçleşmekte ve kanıt düzeyi zayıf kalmaktadır. Bu nedenle, konsensüs bildirileri ve kılavuzlarla desteklenen standart tedavi protokollerinin oluşturulması gelecek için en öncelikli adımlardan biridir (Iohara et al., 2024).

Bu standartların sağlanması, farklı kliniklerde elde edilen sonuçların karşılaştırılabilirliğini artıracak ve uzun vadede rejeneratif tedavilerin rutin klinik pratiğe entegrasyonunu kolaylaştıracaktır.

10.2. Gelişmiş Hücre Kaynakları ve Genetik Modülasyon

Kök hücre bazlı tedavilerde mezenkimal kök hücrelerin (MSC'ler) farklı kaynaklardan elde edilmesi, tedavi başarısını etkileyen önemli bir faktördür. Son dönem çalışmalar, periapikal kistlerden, dental folikül dokularından veya süt dişi pulpasından elde edilen MSC'lerin osteojenik ve dentinojenik farklılaşma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir (Han et al., 2010; Prasad & Palakodeti, 2024; Tatullo et al., 2017).

Gelecekte, genetik mühendislik uygulamalarıyla kök hücrelerin hedefe özgü farklılaşma kapasitelerinin artırılması ve immün yanıtlarının düzenlenmesi hedeflenmektedir. Gen modülasyon teknikleri, örneğin CRISPR-Cas9 sistemlerinin rejeneratif diş hekimliğinde kullanımı, kontrol edilebilir hücresel cevapların elde edilmesini sağlayabilir (Hu et al., 2024; Y. Wei et al., 2022).

10.3. Yeni Biyomalzeme Gelişimleri

Biyomalzemeler, rejeneratif tedavilerin temel taşıdır. Geliştirilen yeni jenerasyon biyoseramik sealer'lar, antiinflamatuvar ve osteoindüktif özellikleri ile periapikal iyileşmeyi doğrudan etkileyebilmektedir (Baek et al., 2005; Deng et al., 2016; Tuli et al., 2020). Ayrıca, "akıllı" biyomateryaller olarak adlandırılan çevresel uyarılara duyarlı, kontrollü salınım yapabilen polimer bazlı sistemler de doku mühendisliği açısından büyük potansiyel taşımaktadır (Machla et al., 2022; Tuli et al., 2020).

Gelecekte, hücre taşıma kapasiteli 3D biyobaskı teknolojilerinin periapikal lezyonlarda bireyselleştirilmiş rejeneratif çözümler sunması hedeflenmektedir. Bu teknoloji sayesinde, hasta bazlı defekt morfolojisine uygun özel greft ve membran yapıları üretililebilecektir (Hu et al., 2024; Xie et al., 2021).

10.4. Sinirsel ve Vasküler Rejenerasyonun Desteklenmesi

Rejeneratif tedavilerde yalnızca doku oluşumu değil, bu dokuların fonksiyonel olarak entegrasyonu da hedeflenmelidir. Bu bağlamda sinirsel yeniden innervasyon ve vaskülarizasyonun sağlanması, tedavilerin uzun dönem başarısı için kritik parametrelerdir (Y. Wei et al., 2022). Vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF) gibi moleküllerin kontrollü salımı ile anjiyogenezin teşvik edilmesi, özellikle avasküler lezyon bölgelerinde rejeneratif başarının anahtarıdır (Prasad & Palakodeti, 2024).

Rejeneratif tedavilerde uzun süreli başarı, yalnızca doku oluşumuna değil, aynı zamanda bu dokunun yeterli vaskülarizasyon ve innervasyonla desteklenmesine de bağlıdır.

10.5. Klinik Takip Sürelerinin Uzatılması ve Multisentrik RCT'ler

Mevcut literatürdeki en temel eksikliklerden biri, uzun dönemli takip verilerinin azlığıdır. Pek çok çalışma 6–12 aylık takiplerle sınırlıdır. Ancak rejeneratif süreçlerin tam olarak değerlendirilmesi için 3–5 yıl ve üzeri takip gereklidir (Attar-Attar et al., 2024; Iohara et al., 2024; Montero-Mirallés et al., 2021). Bununla birlikte, vaka serileri yerine çok merkezli randomize kontrollü çalışmalarla elde edilecek yüksek düzeyde kanıtlar, protokollerin doğruluğunu ve yaygın kullanım potansiyelini artıracaktır (Deng et al., 2016; Pecora et al., 1995).

Böylece uzun dönemli, yüksek kaliteli veriler; periapikal doku rejenerasyonunu deneysel bir yaklaşımdan, öngörülebilir ve standart bir klinik tedavi yöntemine dönüştürmenin anahtarı olacaktır.

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

Periapikal doku rejenerasyonu, endodontik tedavi paradigmasında önemli bir dönüşümün göstergesidir. Geleneksel semptom odaklı tedavi anlayışının ötesine geçerek, biyolojik temelli yaklaşımlarla dokuların yeniden yapılandırılmasını hedefleyen bu strateji, hem klinik başarıyı artırmakta hem de hastaya uzun ömürlü, biyolojik olarak entegre çözümler sunmaktadır.

Bu kitap bölümünde, periapikal bölgenin histolojik özelliklerinden rejeneratif biyolojik temellere; kök hücrelerin rolünden GTR ve biyomalzeme uygulamalarına; klinik stratejilerden gelecek vizyonuna kadar geniş bir perspektif sunulmuştur. Tüm bu veriler ışığında temel çıkarımlar ve öneriler şu şekilde özetlenebilir:

11.1. Biyolojik Temel ve Hücre Odaklı Yaklaşımlar

Rejeneratif başarı için mikroçevre, kök hücre kaynakları ve büyüme faktörlerinin etkileşimi kritik rol oynamaktadır. Dental MSC'ler, özellikle periapikal kistlerden ve folikül dokularından elde edilen hücre hatları, ileri tedavilerde yüksek potansiyel taşımaktadır (Han et al., 2010; Prasad & Palakodeti, 2024; Tatullo et al., 2017).

11.2. Klinik Uygulamalarda Özelleştirme

Lezyon tipi, büyüklüğü ve lokal anatomik yapı, tedavi planlamasını bireyselleştirmeyi gerektirir. “Through-and-through” ve “apikomarginal” lezyonlar gibi zorlu vakalarda GTR gibi destekleyici tekniklerin uygulanması önerilmektedir (Deng et al., 2016; Parmar et al., 2019; Pecora et al., 1995; Segura-Egea et al., 2023).

11.3. Biyomalzeme Seçimi

MTA, Biodentine gibi biyoseramik materyaller, hem biyouyumluluk hem de osteoindüktif özellikleri ile ön plandadır.

PRF, CGF ve kollajen membranlar gibi biyolojik destek materyalleri, rejeneratif cevabı güçlendirmede etkin olabilir (Malli Sureshabu et al., 2019; Serazetdinova et al., 2024; Tuli et al., 2020).

11.4. Dezenfeksiyonun Önemi

Kök kanal sisteminin yeterli dezenfeksiyonu, başarılı rejenerasyonun temel şartıdır. Bu nedenle irrigasyon protokolleri ve ilaçlama stratejileri titizlikle uygulanmalıdır (Iohara et al., 2024; Saiz-Pardo-Pinos et al., 2024).

11.5. Gelecek Perspektifi

Standart tedavi protokollerinin oluşturulması, hasta bazı bireyselleştirilmiş çözümlerin yaygınlaştırılması ve 3D biyobaskı gibi ileri teknolojilerin klinik uygulamalara entegre edilmesi, gelecekteki öncelikli hedefler arasında yer almaktadır (Hu et al., 2024; Xie et al., 2021). Randomize kontrollü, çok merkezli ve uzun dönemli çalışmaların sayısı mutlaka artırılmalıdır (Deng et al., 2016; Iohara et al., 2024; Pecora et al., 1995).

11.6. Eğitim ve Farkındalık

Rejeneratif tekniklerin hem preklinik hem de klinik eğitim müfredatlarına entegre edilmesi, bu yaklaşımların yaygınlaşması açısından kritik öneme sahiptir.

Genel Öneri:

Periapikal doku rejenerasyonu, yalnızca teknik bir yenilik değil, endodonti pratiğinde biyolojik bir evrimi temsil etmektedir. Multidisipliner iş birliğine dayalı olarak geliştirilen ve biyolojik prensiplerle uyumlu tedavi stratejileri, gelecekte diş hekimliğinde doku mühendisliğinin klinik sahaya güçlü bir şekilde entegre edilmesinin önünü açacaktır.

KAYNAKÇA

- Alajmi, B., Karobari, M. I., & Aldowah, O. (2022). Treatment of a large through and through periapical lesion using guided tissue regeneration: A case report of 2 years follow-up. *Clin Case Rep*, 10(10), e6405. doi:10.1002/ccr3.6405
- Arslan, H., Ahmed, H. M. A., Şahin, Y., Doğanay Yıldız, E., Gündoğdu, E. C., Güven, Y., & Khalilov, R. (2019). Regenerative Endodontic Procedures in Necrotic Mature Teeth with Periapical Radiolucencies: A Preliminary Randomized Clinical Study. *J Endod*, 45(7), 863-872. doi:10.1016/j.joen.2019.04.005
- Attar-Attar, L., Bernabeu-Mira, J. C., Cervera-Ballester, J., Peñarrocha-Diago, M., & Peñarrocha-Diago, M. (2024). Systematic review of surgical regenerative treatment for apicomarginal lesions in periapical surgery. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 29(3), e416-e422. doi:10.4317/medoral.26405
- 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. doi:10.1097/01.don.0000148145.81366.a5
- Baniulyte, G., Burns, L., & Ali, K. (2022). Guided tissue regeneration in peri-radicular surgery. *Dentistry Review*, 2(2), 100049. doi:https://doi.org/10.1016/j.dentre.2022.100049
- Brizuela, C., Meza, G., Urrejola, D., Quezada, M. A., Concha, G., Ramírez, V., . . . Khoury, M. (2020). Cell-Based Regenerative Endodontics for Treatment of Periapical Lesions: A Randomized, Controlled Phase I/II Clinical

- Trial. *J Dent Res*, 99(5), 523-529. doi:10.1177/0022034520913242
- Deng, Y., Zhu, X., Yang, J., Jiang, H., & Yan, P. (2016). The Effect of Regeneration Techniques on Periapical Surgery With Different Protocols for Different Lesion Types: A Meta-Analysis. *J Oral Maxillofac Surg*, 74(2), 239-246. doi:10.1016/j.joms.2015.10.007
- Digka, A., Sakka, D., & Lyrroudia, K. (2020). Histological assessment of human regenerative endodontic procedures (REP) of immature permanent teeth with necrotic pulp/apical periodontitis: A systematic review. *Aust Endod J*, 46(1), 140-153. doi:10.1111/aej.12371
- Duncan, H. F., Kirkevang, L. L., Peters, O. A., El-Karim, I., Krastl, G., Del Fabbro, M., . . . Kebschull, M. (2023). Treatment of pulpal and apical disease: The European Society of Endodontology (ESE) S3-level clinical practice guideline. *Int Endod J*, 56 Suppl 3, 238-295. doi:10.1111/iej.13974
- El-Kateb, N. M., El-Backly, R. N., Amin, W. M., & Abdalla, A. M. (2020). Quantitative Assessment of Intracanal Regenerated Tissues after Regenerative Endodontic Procedures in Mature Teeth Using Magnetic Resonance Imaging: A Randomized Controlled Clinical Trial. *J Endod*, 46(5), 563-574. doi:10.1016/j.joen.2020.01.026
- Han, C., Yang, Z., Zhou, W., Jin, F., Song, Y., Wang, Y., . . . Jin, Y. (2010). Periapical follicle stem cell: a promising candidate for cementum/periodontal ligament regeneration and bio-root engineering. *Stem Cells Dev*, 19(9), 1405-1415. doi:10.1089/scd.2009.0277
- Hu, N., Jiang, R., Deng, Y., Li, W., Jiang, W., Xu, N., . . . Gu, S. (2024). Periapical lesion-derived decellularized

- extracellular matrix as a potential solution for regenerative endodontics. *Regen Biomater*, 11, rbae050. doi:10.1093/rb/rbae050
- Iohara, K., Tominaga, M., Watanabe, H., & Nakashima, M. (2024). Periapical bacterial disinfection is critical for dental pulp regenerative cell therapy in apical periodontitis in dogs. *Stem Cell Research & Therapy*, 15(1), 17. doi:10.1186/s13287-023-03628-6
- Lin, L., Chen, M. Y., Ricucci, D., & Rosenberg, P. A. (2010). Guided tissue regeneration in periapical surgery. *J Endod*, 36(4), 618-625. doi:10.1016/j.joen.2009.12.012
- Lin, L. M., Huang, G. T., Sigurdsson, A., & Kahler, B. (2021). Clinical cell-based versus cell-free regenerative endodontics: clarification of concept and term. *Int Endod J*, 54(6), 887-901. doi:10.1111/iej.13471
- Machla, F., Angelopoulos, I., Epple, M., Chatzinikolaidou, M., & Bakopoulou, A. (2022). Biomolecule-Mediated Therapeutics of the Dentin-Pulp Complex: A Systematic Review. *Biomolecules*, 12(2). doi:10.3390/biom12020285
- Malli Sureshbabu, N., Selvarasu, K., V, J. K., Nandakumar, M., & Selvam, D. (2019). Concentrated Growth Factors as an Ingenious Biomaterial in Regeneration of Bony Defects after Periapical Surgery: A Report of Two Cases. *Case Rep Dent*, 2019, 7046203. doi:10.1155/2019/7046203
- Montero-Mirallès, P., Ibáñez-Barranco, R., Cabanillas-Balsera, D., Areal-Quecuty, V., Sánchez-Domínguez, B., Martín-González, J., . . . Jiménez-Sánchez, M. C. (2021). Biomaterials in periapical regeneration after microsurgical endodontics: A narrative review. *J Clin Exp Dent*, 13(9), e935-e940. doi:10.4317/jced.58651

- Parmar, P. D., Dhamija, R., Tewari, S., Sangwan, P., Gupta, A., Duhan, J., & Mittal, S. (2019). 2D and 3D radiographic outcome assessment of the effect of guided tissue regeneration using resorbable collagen membrane in the healing of through-and-through periapical lesions - a randomized controlled trial. *Int Endod J*, 52(7), 935-948. doi:10.1111/iej.13098
- Pecora, G., Kim, S., Celletti, R., & Davarpanah, M. (1995). The guided tissue regeneration principle in endodontic surgery: one-year postoperative results of large periapical lesions. *Int Endod J*, 28(1), 41-46. doi:10.1111/j.1365-2591.1995.tb00155.x
- Prasad, K., & Palakodeti, D. (2024). Cellular and molecular mechanisms of development and regeneration. *Development*, 151(11). doi:10.1242/dev.203023
- Saiz-Pardo-Pinos, A. J., Manzano-Moreno, F. J., Muñoz-Soto, E., González-Rodríguez, M. P., Romero-Olid, N., & Olmedo-Gaya, M. V. (2024). Analysis of the Prognostic Factors That Influence the Outcome of Periapical Surgery, including Biomimetic Membranes for Tissue Regeneration: A Review. *Biomimetics (Basel)*, 9(5). doi:10.3390/biomimetics9050258
- Sánchez-Torres, A., Sánchez-Garcés, M., & Gay-Escoda, C. (2014). Materials and prognostic factors of bone regeneration in periapical surgery: a systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 19(4), e419-425. doi:10.4317/medoral.19453
- Segura-Egea, J. J., Cabanillas-Balsera, D., Martín-González, J., & Cintra, L. T. A. (2023). Impact of systemic health on treatment outcomes in endodontics. *Int Endod J*, 56 Suppl 2, 219-235. doi:10.1111/iej.13789

- Serazetdinova, A. R., Gracheva, A. N., Saakyan, M. N., & Lisevtsova, Y. V. J. R. J. o. D. (2024). Retrospective analysis and clinical features of periapical tissue regeneration. 28(4), 392-398.
- Tatullo, M., Codispoti, B., Pacifici, A., Palmieri, F., Marrelli, M., Pacifici, L., & Paduano, F. (2017). Potential Use of Human Periapical Cyst-Mesenchymal Stem Cells (hPCy- MSCs) as a Novel Stem Cell Source for Regenerative Medicine Applications. *Front Cell Dev Biol*, 5, 103. doi:10.3389/fcell.2017.00103
- Tuli, M., Gangasani, A., Abdul, M., Kaur, M., Gulia, S., & Dharmi, P. R. (2020). Ideal Tissue Regeneration Option following Periapical Surgery. *Journal of Dental Research and Review*, 7, 232. doi:10.4103/jdrr.jdrr_37_20
- Wei, X., Yang, M., Yue, L., Huang, D., Zhou, X., Wang, X., . . . Ling, J. (2022). Expert consensus on regenerative endodontic procedures. *International Journal of Oral Science*, 14(1), 55. doi:10.1038/s41368-022-00206-z
- Wei, Y., Lyu, P., Bi, R., Chen, X., Yu, Y., Li, Z., & Fan, Y. (2022). Neural Regeneration in Regenerative Endodontic Treatment: An Overview and Current Trends. *Int J Mol Sci*, 23(24). doi:10.3390/ijms232415492
- Xie, Z., Shen, Z., Zhan, P., Yang, J., Huang, Q., Huang, S., . . . Lin, Z. (2021). Functional Dental Pulp Regeneration: Basic Research and Clinical Translation. *Int J Mol Sci*, 22(16). doi:10.3390/ijms22168991
- Zaky, S. H., AlQahtani, Q., Chen, J., Patil, A., Taboas, J., Beniash, E., . . . Sfeir, C. (2020). Effect of the Periapical “Inflammatory Plug” on Dental Pulp Regeneration: A Histologic In Vivo Study. *J Endod*, 46(1), 51-56. doi:https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.10.006

Zanjir, M., Cardoso, E., Harman, N. L., Khansari, A., Jafarzadeh, H., Malkhassian, G., . . . Azarpazhooh, A. (2025). Development of a Core Outcome Set in Endodontics (COS-ENDO): Part 5 - COS-ENDO for Studies of Apexification and Regenerative Endodontics in Permanent Teeth. *J Endod*, 51(4), 457-472. doi:10.1016/j.joen.2025.01.012

MİNİMAL İNVAZİV PULPA KORUMA TEDAVİLERİ VE KULLANILAN MATERYALLER

Eren VAR¹

1. GİRİŞ

Vital pulpa tedavilerinde izlenecek protokol, pulpanın maruz kalma durumuna ve inflamasyonun yaygınlığına göre belirlenir. Başlıca uygulamalar şunlardır: İndirekt pulpa kuafajı, Direkt pulpa kuafajı, Parsiyel pulpotomi ve Tam pulpotomi. Tüm bu işlemlerde başarı için temel prensipler benzerdir: iyi bir izolasyon ve asepsi, doğru teşhis ve uygun vaka seçimi, minimal travma ile pulpaya yaklaşma, kanamanın kontrolü (hemostaz) ve biyouyumlu bir materyal ile sıkı sızdırmaz bir pulpa kaplaması ve restorasyon sağlanması gereklidir(Pathak et al., 2024; Taha & Abdelkhader, 2018).

2. İNDİREKT PULPA KUAFAJI

Pulpa henüz açığa çıkmamış ancak pulpa odacığına çok yakın derin çürüklerde uygulanır. Bu işlemde kavitenin tabanında pulpaya en yakın bölgede bir miktar demineralize dentin bilerek bırakılır ve tamamen kaldırılmaz. Amaç, ince bir yumuşak dentin tabakası bırakıp pulpada istenmeyen bir ekspozisyonu önleyerek, bu kalan dentinin remineralize olmasını sağlamaktır(Hanna et al., 2020). Çürüğün çevre dentin duvarlarında ise sağlam dentine kadar temizlik yapılır. Kalan yumuşak dentin üzeri bir biyouyumlu liner malzeme (örn. kalsiyum hidroksit bazlı siman

¹ Uzman Diş Hekimi, erenthevar@gmail.com, ORCID: 0009-0009-5924-4505.

veya MTA/Biodentine gibi kalsiyum silikatlı bir siman) ile kapatılır ve geçici veya direkt kalıcı dolgu yapılır (by: et al., 2019). İndirekt pulpa kapamasında, pulpa zedelenmediği için genellikle ağrı veya semptom beklenmez; başarı, pulpanın vital kalması ve residual dentinin sertleşmesi ile anlaşılr. Tek seferde indirekt kuafaj yapılabileceği gibi (tek aşamalı selektif ekskavasyon), bazı eski protokollerde 6-8 ay sonra tekrar açılıp kalan çürük temizlenerek ikinci aşamada dolgu yapılması (kademeli ekskavasyon) da tarif edilmiştir. Güncel eğilim, eğer sızıntısız bir restorasyon sağlandıysa tek seansta işlemi bitirmektir. Klinik araştırmalar, selektif çürük kaldırma ile tam çürük kaldırma arasında uzun dönemde başarının benzer veya daha iyi olduğunu göstermiştir; üstelik pulpa ekspozisyonu riski azaldığı için daha konservatif bir yaklaşımdır (Chen et al., 2019; Duncan, 2022). İndirekt pulpa tedavisi sonrası dişin takip randevularında canlılık testleri ve radyografiler ile pulpanın durumunu değerlendirmek önemlidir.

3. HEMOSTAZ STRATEJİLERİ

Vital pulpa tedavisinde hemostazın sağlanması, pulpa dokusunun inflamasyon derecesini değerlendirme ve tedavi başarısını öngörme açısından kritik bir adımdır. Güncel kılavuzlar, ekspoz alanındaki kanamanın 2–10 dakika içerisinde kontrol altına alınabilmesini, pulpada geri dönüşümlü bir inflamasyonun varlığına işaret eden olumlu bir belirti olarak kabul etmektedir (by: et al., 2019; Wolters et al., 2017). Hemostazın sağlanmasında ilk tercih genellikle steril pamuk pelletinin ekspoz alanına birkaç dakika süreyle hafif basınçla uygulanmasıdır. Ancak daha etkili ve yaygın yöntem, düşük konsantrasyonlu sodyum hipoklorit (1–2.5%) ile ıslatılmış steril pamuk pellet kullanılarak yaklaşık 1–2 dakika süresince ekspoz alanına temas ettirilmesidir; bu yöntem hem hemostazı sağlar

hem de dezenfeksiyon etkisi sunar (Taha & Khazali, 2017). Kanamanın kontrol edilememesi durumunda, özellikle 10 dakikayı aşan durumlarda, pulpa dokusunun geri dönüşümsüz inflamasyona sahip olduğu düşünülerek parsiyel pulpotomi yerine tam pulpotomi veya pulpektomi gibi daha ileri tedavi planları yapılmalıdır(Philip & Suneja, 2022). Ayrıca ferrik sülfat gibi alternatif hemostatik ajanlar kısa sürede kanamayı durdurabilse de, doku irritasyonu ve inflamatuvar reaksiyon riski nedeniyle vital pulpa tedavilerinde rutin kullanımları önerilmemektedir(Ansari et al., 2018). Son yıllarda yapılan çalışmalar, kalsiyum silikat bazlı materyallerin (örneğin MTA ve Biodentin) doğrudan hemostatik etkilerinin olabileceğini de göstermektedir(Xavier et al., 2024). Dolayısıyla, vital pulpa tedavisinde hemostaz yalnızca mekanik değil, aynı zamanda biyolojik bir değerlendirme aracı olarak kullanılmalı ve tedavi planı bu kriter doğrultusunda şekillendirilmelidir.

4. DİREKT PULPA KUAFAJI

Direkt Pulpa Kuafajı (Doğrudan Pulpa Kuafajı): Burada, küçük bir pulpa ekspozisyonu mevcut olup pulpa dokusu açığa çıkmıştır. Genellikle <1-2 mm'lik temiz bir perforasyon durumunda uygulanır. Klinik olarak pulpada sadece hafif kanama vardır ve kanama kontrol altına alınabilir olmalıdır(Hilton, 2009). İşlem basamakları şöyledir: Diş mutlak izolasyon (rubber-dam) altına alınır, kavitedeki çürük tamamen kaldırılır ve pulpaya açılan bölge steril serum fizyolojik veya %1-2,5'lik NaOCl solüsyonu ile temizlenir. Hafif kanama varsa pamuk pelet ve NaOCl ile birkaç dakika nazik basınç uygulanarak hemostaz sağlanır(Ballal et al., 2022; Pathak et al., 2024). Ardından ekspozite pulpa noktasının üzerine koruyucu bir örtücü materyal doğrudan uygulanır. Geçmişte kalsiyum hidroksit esaslı preparatlar (ör. Ca(OH)₂, Dycal vb.) sıkça kullanılmıştır.

Günümüzde MTA, Biodentin gibi kalsiyum silikat simanlar üstün başarıları nedeniyle tercih edilmektedir. Örtücü materyal uygulandıktan sonra, üzerine genellikle bir liner veya rezin-modifiye cam iyonomer konularak diş kalıcı dolgusu ile restore edilir(Taha & Abdelkader, 2018). Direkt pulpa kapamasının başarısı, pulpada iltihap seviyesine çok bağlıdır. Eğer açığa çıkan pulpa tamamen sağlıklı veya minimal iltihaplı ise (örn. iatrojenik küçük ekspozisyonlar), başarı şansı oldukça yüksektir. Ancak çürüğe bağlı ekspozisyonlarda pulpa dokusu zaten bir miktar enfekte olabilir ve başarı oranları daha düşüktür(Pathak et al., 2024). Bu nedenle ESE rehberleri, çürük nedeniyle pulpaya ulaşıldığında, doğrudan kapama yerine genellikle bir miktar yüzeysel pulpa dokusunun çıkarılmasını (parsiyel pulpotomi) önermektedir(by: et al., 2019; Pathak et al., 2024). Yine de seçilmiş vakalarda (örneğin genç hastada küçük bir çürük ekspozisyonu, asemptomatik diş) direkt pulpa kuafajı yapılmış ve başarılı sonuçlar bildirilmiştir. Bir meta-analizde, çürük nedeniyle pulpası açılan olgularda direkt pulpa kuafajı yapıldığında MTA ile 1-3 yıllık başarı oranlarının %80-90'a ulaşabildiği gösterilmiştir, bu oran kalsiyum hidroksitte daha düşüktür(Cushley et al., 2021; Mahapatra et al., 2024). Başarı kriterleri arasında takiplerde pulpanın canlı kalması, asemptomatik olması ve radyoğrafide kök ucunda lezyon gelişmemesi sayılır. Direkt pulpa kapaması sonrası ilk birkaç gün hafif bir hassasiyet normal kabul edilir, ancak spontan ağrı olmamalıdır.

5. MİNİMAL İNVAZİV PULPA KORUMA TEDAVİLERİNDE KULLANILAN MATERYALLER

Vital pulpa tedavilerinde, pulpaya doğrudan temas eden örtücü malzemelerin özellikleri başarının anahtar

faktörlerindendir. Bu biyomateriyallerin biyouyumlu, antibakteriyel, pulpa hücrelerini uyarıcı (dentin köprüsü oluşturmaya teşvik edici) ve sızdırmaz olması idealdir(Pathak et al., 2024). Tarihsel süreçte birçok farklı materyal denenmiştir. Günümüzde en sık kullanılanlar kalsiyum hidroksit türevleri ve kalsiyum silikat bazlı biyoseramiklerdir. Ayrıca reçine modifiye malzemeler (ör. TheraCal LC) ve özgün formülasyonlar (ör. CEM simanı) da mevcuttur. Bu bölümde başlıca materyaller ve özellikleri ele alınmıştır ve Tablo 1’de materyallerin genel özellikleri sunulmuştur.

Tablo 1. Vital Pulpa Tedavilerinde Kullanılan Biyomateriyaller

Materyal	Kimyasal İçerik	Sertleşme Süresi	Avantajlar	Dezavantajlar
Kalsiyum Hidroksit Ca(OH)₂	Kalsiyum hidroksit	Yavaş, zamanla çözünür	Antibakteriyel, dentin köprüsü oluşturur	Porozite, çözünme, pulpa toksisitesi, uzun dönemde düşük başarı
Mineral Trioksid Agregat MTA	Trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, kalsiyum alüminat, bizmut oksit	Saatler içinde	Yüksek biyouyumluluk, düşük çözünme, iyi sızdırmazlık, sert doku indüksiyonu	Uzun sertleşme süresi, yüksek maliyet
Biodentin	Kalsiyum silikat, kalsiyum karbonat, zirkonyum oksit	10–12 dakika	Hızlı sertleşme, kolay uygulama, renklenme yapmaz	Yüksek maliyet, bazı teknik hassasiyetler
TheraCal LC ve TheraCal PT	Rezin modifiye kalsiyum silikat	LC: Işıklı saniyeler içinde PT: Dual-cure	Hızlı uygulama, kalsiyum salınımı, alkalın özellik	Rezin kaynaklı potansiyel sitotoksite, uzun dönem veri eksikliği
CEM Simanı	Kalsiyum oksit, fosfat, karbonat, klorür, sülfat	MTA’ya göre daha kısa sürede	MTA’ya benzer başarı, hızlı sertleşme, düşük çözünme	Küresel kullanım az, daha çok bölgesel kullanım

Kalsiyum Hidroksit (Ca(OH)₂): 1930’lardan itibaren pulpa örtülemelerinde en yaygın kullanılan ajandır. Yüksek alkalın pH’ı (pH ~12) sayesinde pulpada antibakteriyel etki gösterir ve sert doku oluşumunu uyarır(Nie et al., 2021). Ca(OH)₂

pulpa üzerinde uygulandığında nekrotik bir yüzey tabakası oluşturur, bunun altında sert doku (dentin) köprüsü oluşumunu stimüle eder. Uzun yıllar “altın standart” kabul edilmesinin nedeni, kolay uygulanabilirliği ve erken dönem başarılarının tatminkâr olmasıdır. Bununla birlikte, kalsiyum hidroksitin ciddi dezavantajları olduğu ortaya çıkmıştır: Dentin köprüsünde porozite (geçirgenlik) ve çatlaklar, materyalin zamanla çözünerek sızdırmazlığını yitirmesi, pulpa hücrelerinde toksisite ve kronik irritasyon bu dezavantajlar arasındadır (Al-Saudi, 2024; Manaspon et al., 2021). Histolojik çalışmalar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’nın temas ettiği pulpa hücrelerinde nekroza yol açtığını, oluşan dentin bariyerinin de tam bir sızdırmazlık sağlamadığını göstermiştir (Pathak et al., 2024). Klinik olarak da kalsiyum hidroksit ile direkt pulpa kuafajı yapılan dişlerde ilk birkaç yılda başarı yüksek olsa da uzun dönemde başarının anlamlı derecede düştüğü bildirilmiştir (Cushley et al., 2021). Bir meta-analizde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile pulpa kuafajı yapılan dişlerde başarı oranı 1 yıl %65-70 iken 5 yıl sonunda %50’lere gerilemiştir (Cushley et al., 2021). Bu nedenle, günümüzde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ajanları (ör. Dycal) halen kullanılabilirse de özellikle geniş ekspozisyonlarda ve irreversible pulpitis vakalarında daha üstün materyaller tercih edilmektedir. Yine de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pulpada kısa dönemde dentinleşme indüksiyonu yaptığı için, bazı indirekt kuafajlarda veya geçici pansuman olarak kullanımını sürdüren klinisyenler vardır.

Mineral Trioksit Agregat (MTA): MTA, 1990’larda geliştirilmiş bir kalsiyum silikat bazlı (Portland çimentosu türevi) biyomateryaldir. Toz formunda olup içeriğinde trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, kalsiyum alüminat ve bizmut oksit (radyopaktır) bulunur (Ageel et al., 2023). Su ile karıştırıldığında sertleşerek yüksek alkalın pH’lı bir yapı oluşturur. MTA’nın en önemli özelliği, doku dostu olması ve sert doku oluşumunu kuvvetle indüklemesidir. Pulpaya uygulandığında MTA, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’nın avantajlarını (antibakteriyel, sert doku uyarıcı)

barındırmakla beraber, onun dezavantajlarını büyük ölçüde giderir: MTA'nın pulpa üzerinde çözünmesi minimaldir, dentin duvarlarına iyi uyum sağlar ve sızdırmaz bir yapı oluşturur(Ageel et al., 2023; Palczewska-Komsa et al., 2021). Ayrıca hücresel düzeyde sitotoksitesi düşüktür ve pulpa hücre proliferasyonunu destekler(Maru et al., 2021). Bu nedenle MTA, direkt pulpa kuafajında ve pulpotomilerde başarısı kanıtlanmış bir malzeme haline gelmiştir. Örneğin, MTA ile direkt pulpa kuafajı yapılan dişlerde 2-3 yıllık başarı oranları %80-90'ın üzerindedir ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'ya kıyasla anlamlı derecede yüksektir (Nie et al., 2021). Bir klinik çalışmada MTA ile 4-5 yıl takipte başarı %81 iken $\text{Ca}(\text{OH})_2$ grubunda %56 bulunmuştur (Cushley et al., 2021). MTA, özellikle parsiyel ve tam pulpotomilerde çok başarılı sonuçlar vermiştir. Irreversible pulpitis tanılı olgularda bile MTA ile pulpotomi yapılan dişlerin 1-5 yıllık başarı oranlarının %85-95 aralığında olduğu çeşitli çalışmalarca ortaya konmuştur(Ather et al., 2022; Rueda-Ibarra et al., 2023).

Biodentin: Biodentin, Fransız Septodont firması tarafından geliştirilen bir diğer kalsiyum silikat esaslı biyomateryaldir. 2010'lu yıllarda kullanıma giren Biodentin, MTA'ya benzer kimyasal yapıda olup bazı iyileştirmeler içerir: Tozunda kalsiyum karbonat katkısı vardır ve daha ince partikül yapısı sayesinde karıştırıldıktan sonra yaklaşık 10-12 dakika içinde sertleşir(Arandi & Thabet, 2021; Wadia, 2025). Ayrıca Bizmut oksit yerine Zirkonyum oksit içerdiği için renklenme yapmaz. Biodentin, “dentin yerine konulabilir” bir malzeme olarak lanse edilmiştir; pulpa kuafajlarından perforasyon onarımlarına kadar çeşitli endikasyonlarda kullanılır. Vital pulpa tedavilerinde yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda, Biodentin'in sonuçlarının MTA ile benzer olduğu gösterilmiştir. Yapılan birçok çalışma göstermiştir ki Biodentin ve MTA birbirine yakın sonuçlar göstermiştir(Arandi & Thabet, 2021; Awawdeh et al., 2018; Mahapatra et al., 2024; Maru et al., 2021; Wadia, 2025).

Çalışmalar ışığında Biodentin, MTA'ya eşdeğer bir alternatif olarak kabul görmüştür. Uygulamada MTA'ya göre daha kullanışlı olduğu (daha kısa sürede sertleştiği ve manipülasyonu kolay olduğu) için birçok klinisyen direkt kuafaj veya pulpotomilerde Biodentin'i tercih etmektedir(Wang et al., 2023). Biyouyumluluğu ve dentin köprüsü oluşturma kapasitesi literatürde güçlü şekilde desteklenmiştir(Kim et al., 2016). Sonuç olarak, günümüzde MTA ve Biodentin, vital pulpa tedavilerinin en çok önerilen materyalleridir ve birbirine yakın üstün sonuçlar vermektedir(Awawdeh et al., 2018; Wadia, 2025).

TheraCal LC ve TheraCal PT: TheraCal LC, rezin modifiye kalsiyum silikat esaslı, ışıkla sertleşen bir liner materyalidir. Kalsiyum hidroksit salınımı yapan Portland çimentosu partiküllerini bir rezin matriks içinde bulundurur. 2012 yılında piyasaya sürülmüş ve “ışıkla polimerize olabilen MTA benzeri liner” olarak tanıtılmıştır. TheraCal LC'nin en önemli avantajı, ışık cihazı kullanılarak birkaç saniye içinde sertleşmesi ve uygulama kolaylığı sunmasıdır. Özellikle derin kavitelere liner olarak veya küçük pulpa ekspozisyonlarında direkt pulpa kuafajında kullanılabilir. Ancak içeriğindeki rezin nedeniyle polimerizasyon büzülmesi ve potansiyel sitotoksikite gibi bazı endişeler de doğmuştur.(Manaspon et al., 2021) Deneysel çalışmalar, TheraCal LC'nin kalsiyum salınımı yaptığını ve alkalik özellik gösterdiğini, böylece pulpada sert doku oluşumunu teşvik ettiğini ortaya koymuştur.

Klinik olarak TheraCal LC ile ilgili karşılaştırmalı çalışmalar da yayımlanmıştır(Küden et al., 2022). Örneğin yakın tarihli bir randomize klinik çalışmada, doğrudan pulpa kuafajlarında TheraCal LC, MTA ve Biodentin'in bir yıllık başarı oranları karşılaştırılmış; gruplar arasında anlamlı fark bulunmamıştır(Mahapatra et al., 2024). Ancak TheraCal grubunda başarı oranlarının biraz daha düşük olduğu da dikkat çekmiştir. Araştırmacılar, TheraCal LC'nin uygun vakalarda

MTA veya Biodentin'e alternatif olarak kısa dönemde benzer klinik sonuçlar sağlayabileceğini belirtmiştir(Mahapatra et al., 2024). TheraCal LC uygulamasında kavitenin çok nemli olmaması (hafif nemli olması tercih edilir) ve materyalin ışıkla tam polimerize edilmesi önemli hususlardır. Rezin içeriği nedeniyle geniş pulpa ekspozisyonlarında doğrudan kullanımına dair konservatif görüşler mevcuttur; bu tür durumlarda bazı klinisyenler, TheraCal LC üzerine ek olarak MTA veya Biodentin uygulamayı tercih etmektedir.

TheraCal PT, TheraCal ailesinin daha yeni bir üyesi olarak geliştirilmiş ve özellikle pulpotomi uygulamaları için tasarlanmıştır. Dual-cure (ışık ve kimyasal sertleşme) özellikli bu materyal, geniş ve derin pulpa ekspozisyonlarında daha etkili polimerizasyon sağlamayı hedefler. TheraCal PT, TheraCal LC ile benzer şekilde kalsiyum salınımı yapar ve alkalın özellik gösterir, ancak polimerizasyon mekanizması sayesinde daha kalın tabakalarda da etkin sertleşme sağlayabilir. Bu ürün grubunun her iki materyali de pratik kullanım avantajı sunmakla birlikte, özellikle uzun dönem klinik verilerin (özellikle PT için) henüz sınırlı olduğu ve bu nedenle dikkatli vaka seçimi ile kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır. TheraCal ürünleri (LC ve PT), vital pulpa tedavilerinde geleneksel biyoseramiklere pratik alternatifler sunmakta, ancak uzun vadeli başarının daha kapsamlı çalışmalarla desteklenmesi beklenmektedir(Küden et al., 2022).

CEM (Calcium Enriched Mixture) Simanı: CEM, İran'lı araştırmacılar (Asgary ve ark.) tarafından geliştirilmiş özel bir siman olup ilk olarak 2006'da tanıtılmıştır. İçeriğinde kalsiyum oksit, kalsiyum fosfat, kalsiyum karbonat, kalsiyum klorür ve kalsiyum sülfat gibi bileşenler bulunur; su ile karıştırıldığında yüksek alkalın pH oluşturur. Özellikleri bakımından MTA'ya benzer bir biyomalzemedir ancak daha kısa sürede sertleşir ve daha az çözünür(Roghanizadeh et al., 2025). CEM'in pulpa dostu olduğu ve diş sert dokularına çok iyi uyum

sağladığı bildirilmiştir. Klinik çalışmalarda, CEM simanının pulpotomi ve pulpa kuafajlarında MTA ile benzer başarı gösterdiği ortaya konmuştur. Örneğin Asgary ve arkadaşlarının olgun azı dişlerinde (hatta başlangıç apikal lezyonlu vakalarda) yaptıkları 5 yıllık bir randomize kontrollü çalışmada, MTA ve CEM ile tam pulpotomi uygulanan dişlerde 5 yıl klinik başarı oranları her iki grup için de %98 olarak bulunmuştur(Asgary et al., 2017). Radyografik olarak 2 yılda MTA grubu biraz üstün olsa da 5 yılda arada fark kalmamıştır. Bu çalışma, CEM'in MTA'ya eşdeğer bir başarı sağladığını göstermektedir. CEM özellikle İran ve çevresinde yaygın kullanılmış ve pek çok araştırmaya konu olmuştur. Ayrıca biyouyumluluğu yüksektir ve pulpa dokusunda sert doku indüksiyonu MTA kadar etkilidir. Sonuç olarak, CEM simanı MTA'ya bir alternatif olarak ortaya çıkmış ve başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak MTA ve Biodentin kadar yaygın bir küresel kullanım alanı bulmamıştır. Yine de literatürdeki güçlü kanıtlar, CEM'in vital pulpa tedavilerinde güvenle kullanılabileceğini göstermektedir(Ather et al., 2022; Parameswaran et al., 2023).

Kısaca vital pulpa tedavilerinde günümüzde en çok tercih edilen materyaller, kalsiyum silikat esaslı biyoseramiklerdir (MTA, Biodentin vb.). Bu materyaller yüksek başarı oranları ile literatürde desteklenmiştir. Kalsiyum hidroksit artık tarihsel önemi olan ancak yer yer sınırlı kullanımı süren bir ajandır. TheraCal LC gibi yenilikçi ürünler pratik uygulama avantajı sunsa da uzun dönem verileri izlenmektedir. CEM gibi bölgesel materyaller de alternatif olarak başarılı bulunmuştur. İdeal materyalin pulpayı korurken bakterileri engellemesi ve sert doku ile pulpa iyileşmesini teşvik etmesi beklenir. Gelişen teknoloji ile, yakın gelecekte pulpa mühendisliğine yönelik akıllı biyomalzemelerin (ör. büyüme faktörü salan ajanlar) vital pulpa tedavilerinde kullanıma girmesi olasıdır.

6. SONUÇ

Minimal invaziv vital pulpa tedavileri, günümüzde yalnızca pulpayı korumaya değil, aynı zamanda doğal iyileşme süreçlerini desteklemeye yönelik, biyolojik temelli bir anlayışla yürütülmektedir. Bu yaklaşımların başarısında; doğru tanı, iyi vaka seçimi, etkin bir hemostaz ve sızdırmaz bir restorasyon kadar, kullanılan biyomateryalin özellikleri de belirleyici rol oynamaktadır.

Kalsiyum hidroksit, uzun yıllar boyunca pulpa örtülemelerinde temel bir seçenek olmuşsa da, çözünürlüğü, pulpa üzerinde oluşturduğu doku yanıtı ve uzun dönem başarısındaki düşüş nedeniyle yerini büyük ölçüde daha gelişmiş materyallere bırakmıştır. MTA ve Biodentin, bu alanda en çok tercih edilen kalsiyum silikat bazlı biyoseramikler olarak öne çıkmakta; biyouyumlulukları, sert doku oluşturma kapasiteleri ve düşük çözünürlükleri ile vital pulpa tedavisinde yüksek başarı oranları sunmaktadır.

TheraCal LC ve TheraCal PT gibi rezin modifiye kalsiyum silikat esaslı materyaller ise uygulama kolaylığı ve hızlı sertleşme gibi avantajlarıyla dikkat çekmekte, ancak uzun dönem klinik verilerin sınırlı olması nedeniyle dikkatli vaka seçimi gerektirmektedir. CEM simanı da MTA'ya benzer biyolojik özellikler gösteren, özellikle bazı coğrafyalarda etkin şekilde kullanılan alternatif bir materyal olarak kabul görmektedir.

Gelişen biyomateryal teknolojileri sayesinde, gelecekte büyüme faktörü salan ya da hücrel yanıtı daha etkin şekilde yönlendirebilen akıllı biyomalzemelerin klinik kullanıma girmesi beklenmektedir. Tüm bu gelişmeler, vital pulpa tedavisinin yalnızca koruyucu değil, aynı zamanda rejeneratif bir yaklaşıma evrildiğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

- Ageel, B. M., El Meligy, O. A., & Quqandi, S. M. (2023). Mineral Trioxide Aggregate Apexogenesis: A Systematic Review. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 15(Suppl 1), S11-S17.
- Al-Saudi, K. W. (2024). A paradigm shift from calcium hydroxide to bioceramics in direct pulp capping: A narrative review. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27(1), 2-10.
- Ansari, G., Morovati, S. P., & Asgary, S. (2018). Evaluation of four pulpotomy techniques in primary molars: A randomized controlled trial. *Iranian endodontic journal*, 13(1), 7.
- Arandi, N. Z., & Thabet, M. (2021). Minimal intervention in dentistry: A literature review on Biodentine as a bioactive pulp capping material. *BioMed research international*, 2021(1), 5569313.
- Asgary, S., Eghbal, M. J., & Bagheban, A. A. (2017). Long-term outcomes of pulpotomy in permanent teeth with irreversible pulpitis: A multi-center randomized controlled trial. *American journal of dentistry*, 30(3), 151-155.
- Ather, A., Patel, B., Gelfond, J. A., & Ruparel, N. B. (2022). Outcome of pulpotomy in permanent teeth with irreversible pulpitis: a systematic review and meta-analysis. *Scientific reports*, 12(1), 19664.
- Awawdeh, L., Al-Qudah, A., Hamouri, H., & Chakra, R. J. (2018). Outcomes of vital pulp therapy using mineral trioxide aggregate or biodentine: a prospective randomized clinical trial. *Journal of endodontics*, 44(11), 1603-1609.

- Ballal, N., Duncan, H., Wiedemeier, D., Rai, N., Jalan, P., Bhat, V., Belle, V., & Zehnder, M. (2022). MMP-9 levels and NaOCl lavage in randomized trial on direct pulp capping. *Journal of Dental Research*, 101(4), 414-419.
- by:, E. S. o. E. d., Duncan, H., Galler, K., Tomson, P., Simon, S., El-Karim, I., Kundzina, R., Krastl, G., Dammaschke, T., & Fransson, H. (2019). European Society of Endodontology position statement: Management of deep caries and the exposed pulp. *International endodontic journal*, 52(7), 923-934.
- Chen, Y., Chen, X., Zhang, Y., Zhou, F., Deng, J., Zou, J., & Wang, Y. (2019). Materials for pulpotomy in immature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral health*, 19, 1-9.
- Cushley, S., Duncan, H., Lappin, M., Chua, P., Elamin, A., Clarke, M., & El-Karim, I. (2021). Efficacy of direct pulp capping for management of cariously exposed pulps in permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *International endodontic journal*, 54(4), 556-571.
- Duncan, H. F. (2022). Present status and future directions—Vital pulp treatment and pulp preservation strategies. *International endodontic journal*, 55, 497-511.
- Hanna, S. N., Alfayate, R. P., & Prichard, J. (2020). Vital pulp therapy an insight over the available literature and future expectations. *European Endodontic Journal*, 5(1), 46.
- Hilton, T. J. (2009). Keys to clinical success with pulp capping: a review of the literature. *Operative dentistry*, 34(5), 615-625.
- Kim, J., Song, Y.-S., Min, K.-S., Kim, S.-H., Koh, J.-T., Lee, B.-N., Chang, H.-S., Hwang, I.-N., Oh, W.-M., & Hwang, Y.-C. (2016). Evaluation of reparative dentin formation of

ProRoot MTA, Biodentine and BioAggregate using micro-CT and immunohistochemistry. *Restorative dentistry & endodontics*, 41(1), 29.

Küden, C., Karakaş, S. N., & Batmaz, S. G. (2022). Comparative chemical properties, bioactivity, and cytotoxicity of resin-modified calcium silicate-based pulp capping materials on human dental pulp stem cells. *Clinical oral investigations*, 26(11), 6839-6853.

Mahapatra, J., Nikhade, P. P., Patel, A., Mankar, N., & Taori, P. (2024). Comparative Evaluation of the Efficacy of Theracal Lc, Mineral Trioxide Aggregate, and Biodentine As Direct Pulp Capping Materials in Patients With Pulpal Exposure in Posterior Teeth: A Triple Blinded Randomized Parallel Group Clinical Trial. *Cureus*, 16(2).

Manaspon, C., Jongwannasiri, C., Chumprasert, S., Sa-Ard-Iam, N., Mahanonda, R., Pavasant, P., Porntaveetus, T., & Osathanon, T. (2021). Human dental pulp stem cell responses to different dental pulp capping materials. *BMC Oral health*, 21(1), 209.

Maru, V., Dixit, U., Patil, R. S. B., & Parekh, R. (2021). Cytotoxicity and bioactivity of mineral trioxide aggregate and bioactive endodontic type cements: a systematic review. *International journal of clinical pediatric dentistry*, 14(1), 30.

Nie, E., Yu, J., Jiang, R., Liu, X., Li, X., Islam, R., & Alam, M. K. (2021). Effectiveness of direct pulp capping bioactive materials in dentin regeneration: a systematic review. *Materials*, 14(22), 6811.

Palczewska-Komsa, M., Kaczor-Wiankowska, K., & Nowicka, A. (2021). New bioactive calcium silicate cement mineral

trioxide aggregate repair high plasticity (MTA HP)—A systematic review. *Materials*, 14(16), 4573.

Parameswaran, M., Madanan, K. V., Maroli, R. K., & Raghunathan, D. (2023). Efficacy of calcium enriched mixture cement, mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide used as direct pulp capping agents in deep carious lesions-a randomised clinical trial. *European Endodontic Journal*, 8(4), 253.

Pathak, P., Bhagabati, N., Goyal, S., Mittal, A., Chaudhary, S., & Rajendran, R. (2024). Vital pulp therapy. *Journal of Dentistry Defense Section*, 18(2), 44-49.

Philip, N., & Suneja, B. (2022). Minimally invasive endodontics: a new era for pulpotomy in mature permanent teeth. *British Dental Journal*, 233(12), 1035-1041.

Roghanizadeh, L., Torabzadeh, H., Parhizkar, A., Akbarzadeh Baghban, A., & Asgary, S. (2025). Effect of Manipulation Methods and Storage Environments on the Microstructural, Chemical, and Mechanical Properties of Calcium-Enriched Mixture Cement. *International Journal of Biomaterials*, 2025(1), 5560351.

Rueda-Ibarra, V., Robles-Bermeo, N. L., González-López, B. S., Medina-Solís, C. E., Serrano-Robles, J. G., Rodríguez, S. M., Bermeo-Escalona, J. R., Delgado-Pérez, V. J., Maupomé, G., & Robles-Bermeo, N.-L. (2023). Full Pulpotomy as a Treatment for Irreversible Pulpitis in Permanent Teeth: A Systematic Review of the Literature Based on Case Reports. *Cureus*, 15(10).

Taha, N., & Abdelkhader, S. (2018). Outcome of full pulpotomy using Biodentine in adult patients with symptoms indicative of irreversible pulpitis. *International endodontic journal*, 51(8), 819-828.

- Taha, N. A., & Khazali, M. A. (2017). Partial pulpotomy in mature permanent teeth with clinical signs indicative of irreversible pulpitis: a randomized clinical trial. *Journal of endodontics*, 43(9), 1417-1421.
- Wadia, R. (2025). Biodentine vs MTA. *British Dental Journal*, 238(4), 247.
- Wang, X., Xiao, Y., Song, W., Ye, L., Yang, C., Xing, Y., & Yuan, Z. (2023). Clinical application of calcium silicate-based bioceramics in endodontics. *Journal of translational medicine*, 21(1), 853.
- Wolters, W., Duncan, H., Tomson, P., Karim, E., McKenna, G., Dorri, M., Stangvaltaite, L., & Van Der Sluis, L. (2017). Minimally invasive endodontics a new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *International endodontic journal*, 50(9), 825-829.
- Xavier, M. T., Costa, A. L., Ramos, J. C., Caramês, J., Marques, D., & Martins, J. N. (2024). Calcium Silicate-Based Cements in Restorative Dentistry: Vital Pulp Therapy Clinical, Radiographic, and Histological Outcomes on Deciduous and Permanent Dentition—A Systematic Review and Meta-Analysis. *Materials*, 17(17), 4264.

PULPOTOMİ STRATEJİLERİ

Eren VAR¹

1. GİRİŞ

Vital pulpa tedavileri, pulpa dokusunun canlılığını sürdürerek doğal doku bütünlüğünü korumayı amaçlayan, biyolojik temelli konservatif yaklaşımlardır. Özellikle immatür daimi dişlerde uygulanan vital pulpa tedavileri, kök gelişiminin devam etmesini sağlamak ve apikal kapanmayı desteklemek açısından büyük klinik öneme sahiptir. Bu amaçla en sık başvuru yöntemlerinden biri olan pulpotomi, enfekte veya inflame pulpa dokusunun selektif olarak uzaklaştırılması ve kalan sağlıklı dokunun uygun biyomateryaller ile örtülmesi esasına dayanır. Pulpotomi işlemi; enfeksiyonun yaygınlığına, semptomatolojiye ve klinik muayene bulgularına bağlı olarak parsiyel (kısmi) ya da tam (koronal) şekilde uygulanabilir. Özellikle genç bireylerde, pulpa ekspozisyonlarının doğru şekilde yönetilmesiyle apeksogenezis süreci desteklenebilir; böylece kök formasyonu tamamlanabilir ve diş uzun yıllar fonksiyonda kalabilir (Duncan, 2022; Taha & Abdelkhader, 2018).

Pulpotomi işleminin başarısı, yalnızca cerrahi teknikle değil, aynı zamanda kullanılan biyomateryallerin biyouyumluluğu, enfeksiyon kontrolü, sızdırmaz restorasyonun sağlanması ve hastaya özgü faktörlerle de doğrudan ilişkilidir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, parsiyel ve tam pulpotominin yalnızca immatür dişlerde değil, aynı zamanda olgun daimi dişlerde de yüksek başarı oranları ile uygulanabileceğini ortaya koymuştur (Asgary et al., 2017; Philip & Suneja, 2022). Bu

¹ Uzman Diş Hekimi, erenthevar@gmail.com, ORCID: 0009-0009-5924-4505.

gelişmeler, vital pulpa tedavilerinin yalnızca geçici çözümler değil, uzun vadeli diş sağlığını koruyabilecek güçlü birer tedavi alternatifi olduğunu göstermektedir. Bu bölümde, parsiyel ve tam pulpotomi tekniklerinin klinik endikasyonları, uygulama basamakları, immatür dişlerdeki etkileri ve potansiyel komplikasyon yönetimleri güncel literatür doğrultusunda ele alınacaktır.

2. PARSİYEL PULPOTOMİ

Parsiyel Pulpotomi (Kısmi Pulpa Amputasyonu): Bu işlem, pulpada sınırlı bir inflamasyon olduğunda, sadece koronaldeki yüzeyel hastalıklı pulpa dokusunun alınarak alttaki sağlıklı pulpaya ulaşılması esasına dayanır. Özellikle geniş çürük ekspozisyonlarında veya travmatik pulpa yaralanmalarında, pulpa yüzeyindeki 2-3 mm'lik tabakanın iltihaplı olabileceği, ancak daha derindeki pulpaya henüz enfeksiyonun ilerlemediği düşünülür (Pathak et al., 2024; Philip & Suneja, 2022). Parsiyel pulpotomi tekniği ilk kez travmatik genç dişlerde Cvek tarafından tanımlanmış ve yüksek başarı bildirmiştir (Cvek, 1978). Uygulamada, lokal anestezi ve izolasyon sağlandıktan sonra, küçük keskin bir frez veya ekskavatör ile pulpaya açılan noktadan başlayarak yaklaşık 2 mm derinliğinde yumuşak pulpa dokusu çıkarılır. Amaç, alttan taze, canlı kanamaya sahip sağlıklı pulpa yüzeyini ortaya çıkarmaktır. Kanama yine steril serum veya hafif NaOCl ile kontrol edilir. Daha sonra bu taze pulpa yüzeyine MTA/Biodentin gibi bir örtücü materyal yerleştirilir ve uygun şekilde restorasyon yapılır. Parsiyel pulpotomi, direkt pulpa kuafajına göre enfekte dokuyu uzaklaştırdığı için avantajlıdır; aynı zamanda tam pulpotomiden daha konservatif olup sağlıklı pulpanın büyük kısmını korur (Pathak et al., 2024). Bu nedenle, çürük kaynaklı pulpa ekspozisyonlarında birçok uzman direkt pulpa kapaması yerine parsiyel pulpotomiyi tercih etmektedir

(by: et al., 2019; Pathak et al., 2024). Parsiyel pulpotominin başarısı, hem immatür hem de olgun daimi dişlerde yapılan çok sayıda klinik ve randomize kontrollü çalışmayla güçlü biçimde desteklenmektedir. Taha ve Khazali'nin olgun daimi dişlerde irreversible pulpitis bulguları gösteren hastalarda gerçekleştirdiği randomize çalışmada, 2 yıllık takipte %92'lik bir başarı oranı bildirilmiştir (Taha & Khazali, 2017). Cushley ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği sistematik derlemede ise, parsiyel pulpotominin 1 ila 3 yıl arası takiplerde %80–95 aralığında başarı oranlarına sahip olduğu ifade edilmiştir (Cushley et al., 2021). Benzer şekilde, Asgary ve Eghbal'in çok merkezli randomize kontrollü çalışmasında, apikal lezyonu bulunan olgularda dahi vitalitenin sürdürülebileceği ve kök gelişiminin tamamlanabileceği gösterilmiştir (Asgary et al., 2017). Son olarak, Mahapatra ve arkadaşlarının TheraCal LC, MTA ve Biodentin materyallerini karşılaştırdığı triple-blind randomize kontrollü çalışmada; 12 ay sonunda MTA ve Biodentin için başarı oranları sırasıyla %93 ve %91 iken, TheraCal LC grubunda bu oranın %83'e düştüğü rapor edilmiştir (Mahapatra et al., 2024). Bu bulgular, parsiyel pulpotominin sadece vital pulpanın korunmasında değil, aynı zamanda kök gelişiminin desteklenmesinde ve apikal kapanmanın sağlanmasında etkili olduğunu; ayrıca kullanılan materyalin de tedavi başarısını doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır.

Parsiyel pulpotomi, immatür ya da olgun daimi dişlerde pulpa vitalitesinin sürdürülmesi, kök gelişiminin tamamlanması ve uzun vadeli fonksiyonun sağlanması açısından oldukça etkili ve güvenilir bir tedavi seçeneğidir. Başarı, uygun vaka seçimi, aseptik şartlar, etkili hemostaz, biyouyumlu materyal kullanımı ve sızdırmaz restorasyon uygulamasıyla doğrudan ilişkilidir.

3. TAM (KORONAL) PULPOTOMİ

Total (Tam) Pulpotomi: Bu işlemde, koronal pulpanın tamamı çıkarılır ve yalnızca kök kanalları içindeki radiküler pulpa dokusu bırakılır. Yani amputasyon seviyesini kanal ağızları düzeyinden yaparak pulpa odası tamamen temizlenir (Pathak et al., 2024). Tam pulpotomi, pulpanın daha derin tabakalarında da inflamasyon olması ihtimalinde veya parsiyel pulpotominin yeterli olmayacağı düşünülen durumlarda uygulanır. Örneğin, dişin semptomları şiddetliyse veya pulpada kanamanın durdurulabilmesi için daha derine inmek gerekmişse tam pulpotomi tercih edilir. İşlem sırasında anestezi ve rubberdam altında önce koronal pulpa dokusu keskin bir ekskavatör veya steril frezle tamamen kaldırılır. Kanal ağızlarına kadar pulpa çıkarıldıktan sonra kanama durdurulur. Ardından kanal girişlerindeki sağlam radiküler pulpa yüzeyine uygun biyomateryal (MTA, Biodentin vb.) yerleştirilir (Taha & Abdelkhader, 2018). Devamında sızdırmaz bir restorasyon yapılır (genelde bu dişlere sonrasında uygun bir kuron restorasyonu önerilir). Tam pulpotomiyi bir nevi “kök kanal tedavisinin kısaltılmış versiyonu” gibi düşünebiliriz; ancak burada kök kanallarındaki pulpa canlı bırakıldığı için diş vital kalır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, tam pulpotominin uygun vakalarda kanal tedavisine benzer başarı verebildiğini göstermiştir (Taha & Abdelkhader, 2018; Taha & Khazali, 2017). Özellikle irreversible pulpitis teşhisi konulan olgularda bile tam pulpotomi ile oldukça yüksek başarı bildirilmiştir (Philip & Suneja, 2022; Taha & Abdelkhader, 2018). Örneğin, olgun sürekli dişlerde Biodentin ile yapılan bir çalışmada 1 yıllık başarı %98 olarak raporlanmıştır (Taha & Abdelkhader, 2018). Benzer şekilde, apikal periodontitisle birlikte semptomatik pulpitis vakalarında MTA veya CEM ile yapılan 5 yıllık bir klinik çalışmada tam pulpotomi sonucunda %98’in üzerinde başarı elde edilmiştir (Asgary et al., 2017). Bu dikkat çekici sonuçlar, doğru vaka seçimi yapıldığında

tam pulpotominin bir dişi yıllarca sağlıklı tutabileceğini göstermektedir. Tam pulpotomi özellikle geniş çürükler, kronik pulpitisler ve erişkin hastalarda kanal tedavisine minimal invaziv bir alternatif olarak gündeme gelmektedir. Elbette başarısı, kök kanallarında kalan pulpa dokusunun sağlıklı kalmasına bağlıdır. Bu yüzden işlem sonrası takipler önemlidir. Eğer ileride radiküler pulpada nekroz gelişirse, o zaman kanal tedavisi yapılması gerekebilir.

4. OLGUNLAŞMAMIŞ DIŞLERDE PULPOTOMİ VS APEXİFİKASYON

İmmatür daimi dişlerde pulpa ekspozisyonu meydana geldiğinde, uygulanacak tedavi protokolü, pulpa dokusunun vitalitesini korumayı ve kök gelişiminin devamını sağlamayı hedeflemelidir. Bu bağlamda, vital pulpa dokusunun bir kısmının ya da tamamının korunmasına yönelik gerçekleştirilen parsiyel ya da tam pulpotomi işlemleri, immatür dişlerde en çok tercih edilen yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Pulpotomi sonrasında kök gelişiminin devam etmesiyle birlikte apeksin fizyolojik olarak kapanması süreci ise apeksogenezis olarak tanımlanır. Apeksogenezis, canlı pulpa dokusunun korunması sayesinde apikal kök gelişiminin tamamlanmasına olanak tanıyan bir biyolojik süreçtir (Duncan, 2022; Taha & Abdelkader, 2018).

İmmatür daimi dişlerde gerçekleştirilen parsiyel pulpotomi uygulamaları, özellikle travmatik ya da çürüğe bağlı ekspozisyonlarda, inflamasyonun sınırlı olduğu ve kanamanın 10 dakikadan kısa sürede kontrol altına alınabildiği vakalarda oldukça yüksek başarı oranlarına sahiptir (Ather et al., 2022; Philip & Suneja, 2022). Bu işlemler sırasında, pulpanın biyolojik yanıtını destekleyen biyomateryallerin kullanımı, tedavi başarısını doğrudan etkilemektedir. Son yıllarda özellikle mineral trioksit agregat (MTA) ve Biodentin gibi kalsiyum silikat esaslı

biyoseramik materyaller, yüksek biyouyumlulukları, dentin köprüsü oluşturma potansiyelleri ve düşük çözünürlükleri sayesinde vital pulpa tedavilerinde altın standart olarak kabul edilmektedir (Nie et al., 2021; Xavier et al., 2024). Bu materyallerin uygulanmasının ardından gerçekleştirilen kontrollerde, kök uzunluğunda artış, apikal kapanma ve dentin duvarlarında kalınlaşma gibi olumlu radyografik bulgular gözlenmekte, bu da apeksogenezisin başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir (Asgary et al., 2017; Awawdeh et al., 2018).

Ayrıca, irreversible pulpitis tanısı almış bazı immatür daimi dişlerde dahi, dikkatle seçilen olgularda tam pulpotomi işlemleriyle yüksek başarı oranları elde edilebilmektedir. Bu durum, vital pulpa tedavilerinin sadece reversibl inflamasyonla sınırlı olmadığı, daha ilerlemiş durumlarda bile uygulanabilirliğinin olabileceğini göstermektedir (Cushley et al., 2021; Rueda-Ibarra et al., 2023). Bununla birlikte, doğru vaka seçimi, uygun aseptik koşullar ve pulpa canlılığının dikkatli değerlendirilmesi, tedavi başarısı açısından kritik önem taşımaktadır.

İmmatür daimi dişlerde pulpotomi ile apeksogenezis uygulamaları, dişin doğal kök gelişiminin tamamlanmasını ve uzun vadeli fonksiyonunun korunmasını mümkün kılan, biyolojik temelli etkili yaklaşımlardır. Gelişen materyaller ve güncel klinik protokollerle birlikte, vital pulpa dokusunun korunmasına yönelik bu tedavi stratejileri, geleneksel kök kanal tedavilerine göre daha fizyolojik ve koruyucu bir alternatif sunmaktadır.

5. PULPOTOMİ-ÖZGÜ KOMPLİKASYON YÖNETİMİ

Vital pulpa tedavilerinin başarısı, yalnızca uygulanan tedavi prosedürüne değil, aynı zamanda işlemin tüm aşamalarında gösterilen biyolojik ve klinik hassasiyete bağlıdır.

Bu bağlamda, asepsi ve izolasyon, tedavinin temel taşlarını oluşturur. Tüm vital pulpa girişimlerinde mutlak izolasyon için rubber dam kullanımı zorunlu kabul edilmeli ve pulpa dokusunun bakteriyel kontaminasyondan korunması sağlanmalıdır (by: et al., 2019).

Hemostaz, pulpa dokusunun inflamasyon derecesini değerlendirme açısından kritik bir adımdır. Klinik uygulamalarda en sık tercih edilen ajanlardan biri olan %2.5'luk sodyum hipoklorit solüsyonu, yalnızca hemostaz sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda ekspoz alanında etkili bir dezenfeksiyon da sunar (Aguilar & Linsuwanont, 2011; Ballal et al., 2022). Ancak kanamanın 10 dakikadan uzun sürmesi, genellikle geri dönüşümsüz inflamasyon göstergesi olarak kabul edilir ve bu durum tedavi planının revize edilmesini gerektirebilir (Taha & Abdelkhader, 2018).

Örtücü materyal uygulanmadan önce, ekspoze pulpa yüzeyine doğrudan hava sıkılması veya dokunulması, hücresel düzeyde travmaya yol açabileceği için kesinlikle önerilmez. Kullanılacak materyalin, yüksek biyouyumluluğa, antibakteriyel etkinliğe ve sızdırmazlık kapasitesine sahip olması, tedavinin uzun dönem başarısı için belirleyicidir (Nowicka et al., 2015; Xavier et al., 2024).

Ayrıca, nihai restorasyonun kalitesi, pulpa tedavisinin başarısında en az kullanılan biyomateryal kadar kritik rol oynar. Sızıntıya neden olan, marjinal uyumsuzluk gösteren, kırık ya da sekonder çürük içeren restorasyonlar, pulpaya ikincil enfeksiyon riskini artırarak tedavi başarısını doğrudan tehlikeye atar (Asgary et al., 2017). Bu nedenle, vital pulpa tedavisinden sonra yapılan restorasyonun mümkünse tek seansta, yüksek sızdırmazlık sağlayacak şekilde ve fonksiyonel gereksinimleri karşılayacak dayanıklılıkta olması önerilir (Cohenca et al., 2013).

Tüm bu biyolojik ve klinik protokollere titizlikle uyulduğunda, vital pulpa tedavilerinin başarı oranları günümüzde hem immatür hem de olgun daimi dişlerde oldukça yüksek düzeylere ulaşmaktadır (Aguilar & Linsuwanont, 2011; by: et al., 2019).

6. SONUÇ

Vital pulpa tedavileri, diş hekimliğinde hem fonksiyonun korunması hem de biyolojik bütünlüğün sürdürülebilmesi açısından değerini her geçen gün daha da artırmaktadır. Özellikle kök gelişimini henüz tamamlamamış genç daimi dişlerde, pulpanın canlı tutulması sadece mevcut durumu değil, dişin gelecekteki sağlığını da doğrudan etkileyen kritik bir hedef haline gelmiştir. Bu noktada parsiyel ve tam pulpotomi uygulamaları, minimal invaziv yaklaşımlarla pulpayı koruma ve iyileştirme şansı sunarak geleneksel endodontik prosedürlerin ötesinde bir değer kazanmıştır.

Son yıllarda artan sayıda klinik ve deneysel çalışma, bu yaklaşımların yalnızca belirli vakalarda değil, uygun koşullar sağlandığında çok daha geniş bir hasta grubunda güvenle uygulanabileceğini göstermektedir. Kanamanın etkin kontrolü, steril çalışma ortamı, biyouyumlu örtücü materyal seçimi ve doğru restoratif yaklaşım bir araya geldiğinde; pulpotomi, uzun ömürlü, stabil ve hasta dostu bir çözüm haline gelmektedir. MTA ve Biodentin gibi yeni nesil materyallerin başarısı, bu sürecin bilimsel temelini daha da sağlamlaştırmaktadır.

Bugün, geçmişte sadece çekim ya da kanal tedavisiyle sonlanan bazı dişlerin artık yaşatılabildiğini görmek, koruyucu ve rejeneratif diş hekimliğinin geldiği noktayı gözler önüne sermektedir. Vital pulpa tedavilerinin başarısı sadece teknik bir uygulama değil, aynı zamanda dişe ve dokulara saygılı bir yaklaşımın da sonucudur. Önümüzdeki yıllarda, gelişen materyal

teknolojileri ve bilimsel veriler eşliğinde, bu tedavi stratejilerinin daha da rafine edilmesi ve klinik pratiğe yaygın biçimde entegre edilmesi kaçınılmaz görünmektedir.

KAYNAKÇA

- Aguilar, P., & Linsuwanont, P. (2011). Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: a systematic review. *Journal of endodontics*, 37(5), 581-587.
- Asgary, S., Eghbal, M. J., & Bagheban, A. A. (2017). Long-term outcomes of pulpotomy in permanent teeth with irreversible pulpitis: A multi-center randomized controlled trial. *American journal of dentistry*, 30(3), 151-155.
- Ather, A., Patel, B., Gelfond, J. A., & Ruparel, N. B. (2022). Outcome of pulpotomy in permanent teeth with irreversible pulpitis: a systematic review and meta-analysis. *Scientific reports*, 12(1), 19664.
- Awawdeh, L., Al-Qudah, A., Hamouri, H., & Chakra, R. J. (2018). Outcomes of vital pulp therapy using mineral trioxide aggregate or biodentine: a prospective randomized clinical trial. *Journal of endodontics*, 44(11), 1603-1609.
- Ballal, N., Duncan, H., Wiedemeier, D., Rai, N., Jalan, P., Bhat, V., Belle, V., & Zehnder, M. (2022). MMP-9 levels and NaOCl lavage in randomized trial on direct pulp capping. *Journal of Dental Research*, 101(4), 414-419.
- by:, E. S. o. E. d., Duncan, H., Galler, K., Tomson, P., Simon, S., El-Karim, I., Kundzina, R., Krastl, G., Dammaschke, T., & Fransson, H. (2019). European Society of Endodontology position statement: Management of deep caries and the exposed pulp. *International endodontic journal*, 52(7), 923-934.
- Cohenca, N., Paranjpe, A., & Berg, J. (2013). Vital pulp therapy. *Dental Clinics*, 57(1), 59-73.

- Cushley, S., Duncan, H., Lappin, M., Chua, P., Elamin, A., Clarke, M., & El-Karim, I. (2021). Efficacy of direct pulp capping for management of cariously exposed pulps in permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *International endodontic journal*, 54(4), 556-571.
- Cvek, M. (1978). A clinical report on partial pulpotomy and capping with calcium hydroxide in permanent incisors with complicated crown fracture. *Journal of endodontics*, 4(8), 232-237.
- Duncan, H. F. (2022). Present status and future directions—Vital pulp treatment and pulp preservation strategies. *International endodontic journal*, 55, 497-511.
- Mahapatra, J., Nikhade, P. P., Patel, A., Mankar, N., & Taori, P. (2024). Comparative Evaluation of the Efficacy of Theracal Lc, Mineral Trioxide Aggregate, and Biodentine As Direct Pulp Capping Materials in Patients With Pulpal Exposure in Posterior Teeth: A Triple Blinded Randomized Parallel Group Clinical Trial. *Cureus*, 16(2).
- Nie, E., Yu, J., Jiang, R., Liu, X., Li, X., Islam, R., & Alam, M. K. (2021). Effectiveness of direct pulp capping bioactive materials in dentin regeneration: a systematic review. *Materials*, 14(22), 6811.
- Nowicka, A., Wilk, G., Lipski, M., KołECKI, J., & Buczkowska-Radlińska, J. (2015). Tomographic evaluation of reparative dentin formation after direct pulp capping with Ca (OH) 2, MTA, Biodentine, and dentin bonding system in human teeth. *Journal of endodontics*, 41(8), 1234-1240.
- Pathak, P., Bhagabati, N., Goyal, S., Mittal, A., Chaudhary, S., & Rajendran, R. (2024). Vital pulp therapy. *Journal of Dentistry Defense Section*, 18(2), 44-49.

- Philip, N., & Suneja, B. (2022). Minimally invasive endodontics: a new era for pulpotomy in mature permanent teeth. *British Dental Journal*, 233(12), 1035-1041.
- Rueda-Ibarra, V., Robles-Bermeo, N. L., González-López, B. S., Medina-Solís, C. E., Serrano-Robles, J. G., Rodríguez, S. M., Bermeo-Escalona, J. R., Delgado-Pérez, V. J., Maupomé, G., & Robles-Bermeo, N.-L. (2023). Full Pulpotomy as a Treatment for Irreversible Pulpitis in Permanent Teeth: A Systematic Review of the Literature Based on Case Reports. *Cureus*, 15(10).
- Taha, N., & Abdelkhader, S. (2018). Outcome of full pulpotomy using Biodentine in adult patients with symptoms indicative of irreversible pulpitis. *International endodontic journal*, 51(8), 819-828.
- Taha, N. A., & Khazali, M. A. (2017). Partial pulpotomy in mature permanent teeth with clinical signs indicative of irreversible pulpitis: a randomized clinical trial. *Journal of endodontics*, 43(9), 1417-1421.
- Xavier, M. T., Costa, A. L., Ramos, J. C., Caramês, J., Marques, D., & Martins, J. N. (2024). Calcium Silicate-Based Cements in Restorative Dentistry: Vital Pulp Therapy Clinical, Radiographic, and Histological Outcomes on Deciduous and Permanent Dentition—A Systematic Review and Meta-Analysis. *Materials*, 17(17), 4264.

KALSİYUM SİLİKAT ESASLI MATERYALLER

Mahmut ÇİÇEKLİ¹

Mehmet ADIGÜZEL²

1. GİRİŞ

Tedavi edilmeyen dental çürükler, sıklıkla pulpitise ve devamında apikal periodontitis gelişimine neden olmakta olup, bu durum hastalığın karakteristik progresyonunu yansıtmaktadır. Malzeme biliminde yaşanan gelişmeler neticesinde, endodontik tedavinin başarısı büyük oranda tercih edilen materyalin biyouyumluluğu ve fonksiyonelliği ile belirlenmektedir. Bu çerçevede, kalsiyum silikat bazlı materyaller, endodontik tedavi uygulamalarında kullanım amacıyla dental alanda geliştirilmiş yenilikçi materyaller arasında yer almaktadır (Tibúrcio-Machado et al., 2021). Kalsiyum silikat esaslı materyaller, trikalsiyum ve dikalsiyum silikat içeren biyoaktif seramiklerdir; endodontik uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar (Jafari, Jafari, & Etesamnia, 2017). Bu materyaller, endodontide pulpa rejenerasyonu, apeksifikasyon, perforasyon onarımı, pulpa kaplama materyali, kök kanalı dolgu materyali gibi çeşitli klinik prosedürlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (S. Alsubait et al., 2020). Bu materyaller içerisinde, diş hekimliğinde ilk geliştirilen ve klinik uygulamalarda en yaygın kullanım alanına sahip olan materyal Mineral Trioksit Agregat (MTA)'dır (HOSHINO et al., 1996). MTA'nın endodontik uygulamalarda hızla benimsenmesi,

¹ Araştırma Görevlisi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, ciceklimahmut@gmail.com, ORCID: 0009-0005-4766-3543.

² Doçent Doktor, Mustafa Kemal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, dt.mehmetadiguzel@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9363-6264.

bu materyallerin kullanımının önemli ölçüde artmasına yol açmıştır. MTA'nın avantajlarının daha da geliştirilmesi ve dezavantajlarının minimize edilmesi amacıyla, günümüzde modern ve yenilikçi materyaller tasarlanmıştır (Parirokh & Torabinejad, 2010c)

2. KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Kalsiyum silikat bazlı materyaller, su ve higroskopik inorganik bileşenlere dayalı bir reaksiyona sahip olan biyomateriyaller grubudur. Bu materyaller, toz/sıvı formatında veya önceden karıştırılmış formda bulunmaktadır (Gandolfi et al., 2011; HA, KAHLER, & WALSH, 2017).

2.1. Sertleşme Süresi

Kalsiyum silikat esaslı materyallerin sertleşme süresi, önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Sertleşme sürecinde nemin varlığı kritik bir rol oynamaktadır. Hidratasyon süreciyle birlikte oluşan kalsiyum silikat hidrat (CSH) jeli, bu materyallerin sertleşmesini sağlayan temel kristalin yapı olarak öne çıkmaktadır (Guo et al., 2016). Bununla birlikte, materyallerin sertleşme süresi üzerinde; kimyasal bileşim, partikül boyutu, katı-sıvı oranı ve pH gibi çeşitli faktörlerin etkili olduğu bilinmektedir. Bu parametrelerin uygun şekilde optimize edilmesi, materyalin klinik performansını ve başarı oranını artırmada önemli rol oynamaktadır. ProRoot MTA ve Biodentine'in karşılaştırıldığı bir çalışmada, MTA'nın yaklaşık 165–175 dakika arasında, buna karşın Biodentine'in ise yalnızca 10,1 dakika içerisinde sertleştiği belirtilmiştir. Bu bulgu, iki materyal arasında sertleşme süresi açısından belirgin bir fark olduğunu ortaya koymaktadır (Kaur, 2017). Biodentine'deki sertleşme süresinin kısa olması; partikül yüzey boyutlarının büyüklüğü, hızlandırıcı bir ajan olan Kalsiyum Klor(CaCl₂) ve likit kısmının az kullanılmasıyla ilişkilendirilmektedir (Dawood, Parashos, Wong, Reynolds, &

Manton, 2017). Biodentine, ProRoot MTA'ya kıyasla daha kısa bir sürede sertleşmesi, klinik olarak vital pulpa tedavi prosedürlerinde avantajlar sağlamaktadır.

2.2. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı, bir malzemenin ağız içi gibi zorlu klinik koşullarda ne kadar dayanıklı olduğunu ve kullanım süresini belirleyen önemli bir özelliktir. Bu özellik, genellikle megapaskal (MPa) birimiyle ifade edilir (Sheykhrezae et al., 2018). Kalsiyum silikat esaslı materyallerin temel aktif bileşeni olan trikalsiyum silikat, suyla etkileşime girdiğinde başlıca iki reaksiyon ürünü meydana gelmektedir (Jitaru, Hodisan, Timis, Lucian, & Bud, 2016c). Bu reaksiyon ürünlerinden ilki kalsiyum silikat hidrat (CSH) jeli, diğeri ise kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)'tir. CSH jel, materyalin basınç dayanımı gibi fiziksel özelliklerini iyileştirerek malzemenin erken dönem mekanik stabilitesi ve dayanıklılığına katkı sağlar (Nekoofar, Davies, Stone, Basturk, & Dummer, 2011). MTA'nın partikül boyutunun küçük olması ve ortam sıcaklığındaki artış, materyalin mikrosertliğini artırıcı etki gösterirken; ortamın yüksek asidite düzeyi, artan kondenzasyon basıncı, yetersiz nem oranı ve şelasyon ajanlarının varlığı ise mikrosertlik üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır (Parirokh & Torabinejad, 2010a; M. A. Saghiri, Asgar, Lotfi, & Garcia-Godoy, 2012). MTA'nın basınca karşı gösterdiği dayanım, uygulanan tedavilerin uzun dönem başarısı açısından kritik bir rol oynamaktadır. Hem fonksiyonel hem de parafonksiyonel kuvvetlere karşı direnç sergileyebilmektedir. Uygulamadan sonraki ilk 24 saatte ölçülen basınç dayanımı, süper EBA ve IRM ile karşılaştırıldığında daha düşük düzeyde kalmasına rağmen, üç haftalık süre sonunda dayanımının belirgin şekilde arttığı rapor edilmiştir. Bununla birlikte, bazı çalışmalarda elde edilen veriler, MTA'nın basınç dayanımının amalgama kıyasla daha düşük olduğunu ortaya koymuştur (Masoud Parirokh & Torabinejad, 2010b; Mahmoud Torabinejad, Smith, Kettering, & Pitt Ford,

1995; TORABINEJAD, HONG, MCDONALD, & PITTFORD, 1995a). MTA'nın basınca karşı gösterdiği sıkışma dayanımı; materyalin türü ve saklama koşulları, uygulanan basınç seviyeleri, kullanılan sıvı tipi ile çevresel pH gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir(Watts, Holt, Beeson, Kirkpatrick, & Rutledge, 2007). MTA, saf suyla temasında orta seviyede sıkıştırma dayanımı (67,4 MPa) sergilemekle birlikte, kan ile temas ettiğinde bu değer ciddi şekilde düşmüştür(44.2 MPa). Biodentine, saf su ile temas ettiğinde en yüksek sıkıştırma dayanımını (81,6 MPa) gösterirken, kanla temas ettiğinde dahi dayanımı oldukça yüksek bulunmuştur (75,9 MPa). Bu bulgular sonucunda apikal rezeksiyon gibi kan ile doğrudan temasının olduğu klinik durumlarda Biodentine'in MTA'ya oranla çok daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır (Kharouf et al., 2024). Biodentine'nin elastikiyet modülü, mikrosertlik, basınç karşısındaki dayanım gibi mekanik özellikleri dentine benzer değerlere sahip olduğundan dolayı tercih edilme sıklığı diğer materyallere göre giderek artmaktadır (Rajasekharan, Martens, Cauwels, & Verbeeck, 2014a).

2.3. Antibakteriyel Etki

Kimyasal-mekanik preparasyon, irrigasyon ve kanal içi medikasyon işlemleri sonrasında mikrobiyal yük önemli ölçüde azalmış olsa da, kök kanal sisteminin kompleks anatomik yapısı nedeniyle, tedavi sonrasında dentin tübülleri ve sement dokusu içerisinde bakteriyel varlığın tamamen ortadan kaldırılamadığı bildirilmektedir (Gabrielli et al., 2022; Lima et al., 2021). Bu nedenle, özellikle pulpa nekrozu ve apikal periodontitisin bulunduğu olgularda, belirli bir antimikrobiyal etkiye sahip materyallerin tercih edilmesi, geride kalan mikroorganizmaların çoğalmasını sınırlamak veya tamamen engellemek açısından klinik açıdan yarar sağlayabilir (Zhou et al., 2013).

Mingxiang Liu ve ark. yaptığı bir çalışmada MTA ve iRoot BP Plus' ın retrograd dolgu materyalleri olarak antibakteriyel etkilerini karşılaştırmış, *Enterococcus faecalis*'e karşı antibakteriyel etki, kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede fark gösterirken, MTA ve iRoot BP Plus arasında önemli bir fark göstermemiş ve her iki materyalde retrograd dolgu materyali açısından uygun bulunmuştur (Liu, He, Wang, Su, & Li, 2021). Gabriel Kato ve ark. yaptığı başka bir çalışmada vital pulpa kaplama olarak ProRoot MTA , Biodentine, TotalFill BC RRMTM Fast Putty, Theracal LC materyallerinin *S. Mutans* bakterisine olan etkisi karşılaştırılmış, sonuç olarak bütün materyaller *S. Mutans*'a karşı önemli ve benzer antibakteriyel etki göstermiştir (Kato et al., 2023).

2.4. Biyouyumluluk ve Sitotoksosite

Biyouyumluluk, materyalin sistemik veya lokal toksisite, genotoksisite, mutajenite veya kanserojenite gibi olumsuz doku reaksiyonlarına neden olmadan dokularla etkileşime girebilme kapasitesini ifade eder. Kalsiyum silikat esaslı materyaller perforasyon, apeksifikasyon, retrograd dolgu, pulpotomi, pulpa kaplaması gibi durumlarda kullanıldığında pulpal ve periodontal hücreler ile temas halindedir (Arandi & Rabi, 2018; Poggio, Lombardini, Colombo, Beltrami, & Rindi, 2015). Bundan dolayı bu materyallerin toksik olmamaları ve biyouyumluluk göstermeleri gerekir (Wang, 2015a).

NeoMTA Plus (Avalon Biomed), Biodentine™ (Septodont) ve MTA HP Repair materyallerini değerlendiren bir çalışmada apikal papilladan alınan kök hücre kültüründe sitotoksosite ve biyoaktivite açısından değerlendirme yapılmış, kontrol grubuna kıyasla bütün materyaller daha yüksek hücre canlılığı ve biyoaktivite göstererek bu biyomateryallerin dentin-pulpa kompleksinde kullanım için uygun olacağı düşünülmüştür (*Cytotoxicity and Bioactivity of Calcium Silicate-based Cements*

in a Culture of Stem Cells from the Apical Papilla, 2021). Başka bir çalışmada epoksi rezin içerikli AH Plus kalsiyum silikat esaslı TotalFill BC RRM Putty ve TotalFill BC Sealer ile in vitro sitotoksitesi ve mineralizasyon potansiyeli açısından karşılaştırılmış. TotalFill BC materyalleri AH Plus'tan daha yüksek biyouyumluluk göstermiş, hücre canlılığını arttırmış, tipik morfolojilerini korumuş ve mineralize nodüllerin oluşumunu indüklemiştir (Sheela, Nassar, AlGhalban, & Gorduysus, 2023). Direkt pulpa kaplama materyalleri üzerine yapılan bir çalışmada insan diş pulpası kök hücrelerinin sitotoksite ve proliferasyonu incelenmiş. Dycal ve Theracal sitotoksite gösterirken ProRoot MTA ve Biodentine kök hücreleri üzerinde olumlu biyouyumluluk ve biyoaktivite özellikleri gösterip Dycal ve Theracal ile karşılaştırıldığında üstün rejeneratif özelliklere sahip olduğunu göstermiştir (Manaspon et al., 2021).

2.5. Radyoopasite

Radyoopasite, endodontik materyallerin dentinden daha radyopak olması gereken temel bir özelliktir (Shah, Chong, Sidhu, & Pitt Ford, 1996). Dolgu materyali ve çevresindeki anatomik yapılar arasındaki ayrımı periapikal radyografilerde veya konik ışınli bilgisayarlı tomografide net olarak yapabilmek için endodontik materyallerin radyoopasitesi özel bir öneme sahip olmuştur (Antunes et al., 2021; Zordan-Bronzel et al., 2019). Radyoopaklığın radyografide materyali net bir şekilde tespit etmek için endodontik materyalinin alüminyum kalınlığı 3mmAl' den az olmaması gerektiği Uluslararası Standardizasyon Örgütü(ISO) tarafından bildirilmiştir (*Dentistry-Root canal sealing materials INTERNATIONAL STANDARD ISO 6876*, 2012). Bu sebeple kalsiyum silikat esaslı materyaller içerisine radyopasifleştirici ajanlar eklenmiştir. Çünkü materyalin saf hali sadece 0,86-2,02 mmAl'lik bir radyoopasiteye sahip olacaktır (Mohammad Ali Saghiri, Gutmann, Orangi, Asatourian, & Sheibani, 2015). İlk ticari Mineral trioksit agregat (MTA) ürünü

olarak piyasaya sürülen ProRoot MTA, %20 Bizmut oksit içeren kalsiyum silikat esaslı materyaldir (M. Torabinejad & Ford, 1996). MTA içerisinde radyoopaklaştırıcı ajan olarak bizmut oksit kullanılsa da, çeşitli radyoopaklaştırıcılar araştırılmıştır. Bu araştırmalar içerisinde altın, gümüş/kalay alaşımı, bizmut karbonat, baryum sülfat, kalsiyum tungstat, zirkonyum oksit, tantal oksit, kurşun oksit, lantan oksit gibi ajanlar MTA içindeki radyoopaklaştırıcı ajan olan bizmut oksidin yerine geçebilecek alternatifler olarak değerlendirilmiştir. Bu ajanlar arasında zirkonyum oksit; Biodentine, tantal oksit; BioAggregate ürünlerinde kullanılmıştır (Sarkar, Caicedo, Rıtwik, Moiseyeva, & Kawashima, 2005).

3. KULLANIM ALANLARI

3.1. Apeksifikasyon

Bir diş genellikle sürdükten sonraki 3 yıl içinde kök gelişimini ve apeks kapanışını tamamlar. Ancak bu süre zarfında diş çeşitli kazalara ve yaralanmalara karşı savunmasızdır. Olgunlaşmamış dişlerin bu tür kazalara maruz kalması kök oluşumunu durdurabilir ve geniş kanal ve açık apeksler kök kanal tedavisini zorlaştırabilir (Gill, Mittal, Kumar, & Keshav, 2024). Bu zorluklar arasında, tedavi sonrası diş kökünün kırılmaya daha eğilimli hale gelmesi, kök kanalı dezenfeksiyonunun ve obtürasyonunun daha karmaşık olması yer alır (Panda, Mishra, Govind, Panda, & Lapinska, 2022). Kalsiyum Silikat esaslı materyallerin tanıtılmasıyla, apeksifikasyon prosedürlerinde alternatif bir tedavi yöntemi ortaya çıkmıştır (Ahmed & Dummer, 2022). Apeksifikasyon için MTA, Ortho MTA, MTA Plus, Biodentine, Endo-Sequence, Bioaggregate, Mta putty ve EndoCem MTA gibi kalsiyum silikat esaslı materyaller kullanılmaktadır (Chauhan, Chauhan, Bhasin, & Sharaf, 2025).

MTA ve Biodentine'nin bakteriyel sızıntısının karşılaştırıldığı bir çalışmada, dişler 2 veya 4 mm kalınlığında apikal bariyerler ile doldurulmuş ardından bakteriyel sızıntısını değerlendirmek için E. Faecalis kullanılmıştır. MTA ve Biodentine benzer apikal sızdırmazlık özellikleri göstermesine karşın 4mm kalınlığındaki Biodentine 2mm kalınlığındaki Biodintineden daha iyi sızdırmazlık göstermiştir (Puppala et al., 2021). Roy ve ark. yaptığı bir çalışmada MTA ve Biodentine apikal bariyer olarak kullanılmış ve dişlerdeki apikal sızıntı değerlendirilmiştir. Biodentine'in olgunlaşmamış daimi dişlerde güvenli bir sızdırmazlık oluşturma ve apikal bariyer olarak etkili bir şekilde işlev görme yeteneği MTA' dan üstün olduğu bildirilmiştir (Roy et al., 2024).

ProRoot MTA, Biodentine ve NeoMTA Plus' ın kullanıldığı bir çalışmada materyallerin biyoaktivitesi araştırılmıştır. Kök kanal dentini tarafından emilen elementler(Si, Ca ve Ca/P), dentin kırılma direnci ile arayüz tabakası kalınlığı değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda ProRoot MTA ve Biodentine,NeoMTA Plus'a göre anlamlı farklar göstermiş ve apeksifikasyon tedavisinde NeoMTA Plus'a göre daha avantajlı materyaller olabileceği sonucuna varılmıştır (Ürkmaz & Pınar Erdem, 2020). Fakat Zanjad ve ark. yaptığı bir çalışmada ProRoot MTA, Biodentine, NeoMTA Plus ve Bioactive Glass materyalleri dişlerin kırılma dirençlerini karşılaştırmak amacıyla olgunlaşmamış dişlerde apikal bariyer olarak kullanılmış ve Biodentine grubu diğer gruplara kıyasla oldukça yüksek kırılma direnci göstermiştir. Bu çalışmada Biodentine MTA' ya alternatif olarak önerilmiştir (Zanjad et al., 2023). Başka bir çalışmada MTA, Biodentine ve Kalsiyumla Zenginleştirilmiş Karışım'ın (CEM) kırılma dirençleri karşılaştırılmış ve üç materyal arasında anlamlı bir fark bulunmazken, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek kırılma direnci göstermiş ve üç materyalin de apikal bariyer olarak kullanılması uygun görülmüştür (Ok et al., 2016).

MTA Flow, geleneksel MTA'ya kıyasla daha küçük parçacık boyutuna ve daha saf bir bileşime sahip kalsiyum silikat esaslı bir materyaldir. Tozun parçacık boyutu 10 mikrondan (μm) azdır. Diğer fiziksel özellikleri geleneksel MTA ile aynıdır. Ayrıca, sertleşme süresi 15 dakikaya düşürülmüştür. Geleneksel MTA'nın aksine, toz ve sıvı karıştırıldığında oluşan karışım kum benzeri bir kıvama sahip değildir, bu da malzemenin uygulanmasını kolaylaştırır (Savitri, Suprastiwi, & Margono, 2017). Biodentine, trikalsiyum silikat ve dikalsiyum silikat içeren ve aktif biyosilikat teknolojisini kullanarak dişin kron veya kökündeki dentini biyoaktif olarak taklit eden bir malzemedir. Sertleşme işleminin ardından pH'ı 11,7'dir ve partikül boyutu 5 μm 'dir. Mekanik özellikleri MTA'dan daha üstündür ve asitlere karşı daha dirençlidir (Rajasekharan, Martens, Cauwels, & Verbeeck, 2014b). ProRoot MTA, Biodentine ve MTA Flow'un; harcanan zaman ve kök kanal dolgusunun kalitesinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, zamana göre Biodentine diğer materyallerden üstün bulunurken MTA Flow' da üstün başarı göstermiş ve MTA Flow kanal yüzeyini en homojen şekilde dolduran materyal olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın bulguları MTA Flow'un en kullanışlı materyal olduğunu göstermiştir (Kalaoglu, Duman, Capan, Ocak, & Bilecenoglu, 2023).

MTA ve Biodentine ile yapılan apeksifikasyon tedavisinin postoperatif ağrı ve radyografik olarak lezyon iyileşmesini karşılaştıran bir çalışmada; postoperatif ağrı 1. gün haricinde anlamlı bir fark oluşmamış, Biodentine grubunun MTA grubundan istatistiksel olarak daha yüksek ağrı puanları bulunmuştur. Tüm kökler takip aralıklarında periapikal lezyonların ilerleyici iyileşmesini göstermiş ve iki materyal arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tolibah, Kouchaji, Lazkani, Ahmad, & Baghdadi, 2022).

3.2. Kök Kanal Dolgusu

Mikroorganizmalar ve yan ürünleri, pulpa ve periapikal hastalıklardan sorumlu olan ana etiyolojik faktörlerdir (Byström & Sundqvist, 1983). Endodontik tedavinin amacı, kök kanal sisteminin mikrobiyal kontaminasyonunu önlemek ve klinik ve radyografik başarıya ulaşmak için enfekte kök kanalındaki mikroorganizmaları ortadan kaldırmaktır (Waltimo, Trope, Haapasalo, & Ørstavik, 2005). Kemo-mekanik preparasyon, enfekte kök kanal sistemi içindeki mikroorganizmaları önemli ölçüde azaltsa da, ana kök kanal duvarının büyük bölümü endodontik aletler tarafından dokunulmadan kalır ve mikroorganizmaların %100'ünü irrigasyon ve diğer yöntemlerle tamamen uzaklaştırmak neredeyse imkansızdır (Peters, Boessler, & Paqué, 2010). Kök kanal obtürasyonunun temel amacı, kimyasal-mekanik dezenfeksiyonundan sonra, biyouyumlu malzemeler kullanarak kök kanal sistemini 3 boyutlu bir şekilde etkili bir şekilde kapatmaktır. Bu işlem, kök kanalında kalan mikroorganizmaları hapsederek, bunların çevredeki periapikal dokulara yayılmasını ve mikroorganizmaların oral ortamdan girişini engellemesini önler (ØRSTAVIK, 2005).

GuttaFlow Bioseal ve AH-Plus'ın sızdırmazlık yeteneği ve bağ mukavemetini değerlendiren bir çalışmada GuttaFlow Bioseal, AH-Plus'a kıyasla önemli ölçüde daha iyi sızdırmazlık gösterirken kök kanalının üç bölgesinde de daha düşük bağlanma mukavemeti göstermiştir (Marques Ferreira et al., 2022). Başka bir çalışmada AH-Plus ile biyoseramik sealer materyalleri sızıntı açısından değerlendirilmiş, AH-Plus grubu biyoseramik sealer materyallerinden daha yüksek sızıntı değeri göstermiştir (Molven, Halse, Fristad, & MacDonald-Jankowski, 2002). Dudulwar ve ark. yaptığı bir çalışmada AH-Plus, RoekoSeal, MTA Fillapex, Apexit, Smart Paste Bio ve Procosol materyallerinin bağ mukavemeti karşılaştırılmıştır. En yüksek bağ mukavemeti Smart Paste Bio olurken, RoekoSeal en düşük

bağ mukavemetini göstermiştir. Smart Paste Bio dentine diğer materyallerden daha iyi bağlanmış ve daha üstün bulunmuştur (Dudulwar et al., 2024).

Kanal dolgu malteriyalleri kanal içindeki kalan mikroorganizmaları hapsedebilir ve besinlere erişimlerini azaltabilirken, bu materyallerdeki antimikrobiyal bileşikler büyümeyi sınırlamaya ve bakteri yükünü azaltmaya yardımcı olur (Kitagawa et al., 2021; Spångberg & Haapasalo, 2002a). Bu nedenle, materyal içeriğindeki antimikrobiyaller kök kanal sistemindeki bakteri yükünü en aza indirmek için etkili bir strateji olabilir. Saavedra ve ark. yaptığı bir çalışmada AH Plus, GuttaFlow Bioseal, Endoseal MTA, Bio-C Sealer ve BioRoot RCS'nin antimikrobiyal potansiteli değerlendirilmiştir. Kök kanal boşluğunun etkili bir şekilde kapatılmasına ve izole edilmesine katkıda bulunabilecek yeterli fiziksel özelliklere rağmen, test edilen materyaller biyofilm kompozisyonunu önemli ölçüde engellemelerine rağmen çok türlü biyofilm gelişimini tamamen engellememiştir (Saavedra et al., 2022). Endodontik kanal dolgu materyalleri ile çevrelenen gutta-perka, antibakteriyel aktivitelere rağmen yine de bakteriyel yapışma için bir substrat sağlayabilir (Molven et al., 2002). Lin ve ark. yaptığı bir çalışmada kalsiyum hidroksit esaslı Apexit Plus, epoksi rezin esaslı AH-Plus, ve kalsiyum silikat esaslı IRoot SP dolgu materyallerinin bakteriyel yapışma açısından yapılan karşılaştırmada IRoot SP en az bakteriyel yapışma göstermiş ve canlı hücre en az bu materyalde görülmüştür (Lin, Chi, Gong, & Tong, 2021).

Endodontik yeniden tedavinin birincil amacı, periapikal patolojiden sorumlu mikroorganizmaları ve yan ürünleri ortadan kaldırmak, etkili dezenfeksiyonu sağlamak ve kök kanal sistemi boyunca sıvı geçirmez bir obturasyon elde etmektir (Karaoğlu, Miçoogulları Kurt, & Çalışkan, 2022). Daha önce doldurulmuş materyalin çıkarılması başarılı bir endodontik yeniden tedavi için

çok önemlidir (Maharti, Rosseti, Asrianti, Herdianto, & Rianti, 2025). Yeniden tedaviden sonra kalan herhangi bir kalıntı mineral tortusu, sonraki kök kanal dolgusu sırasında bir sızdırmazlık maddesinin penetrasyonunu engelleyebilir (S. Alsubait, Alhathlol, Alqedairi, & Alfawaz, 2021; Donnermeyer, Bunne, Schäfer, & Dammaschke, 2018). AH-Plus Jet, AH-Plus Bioceramic ve Ceraseal materyallerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada dolgu maddelerinin dentin yüzeyinden uzaklaştırılabilirliği karşılaştırılmış, hem AH-Plus Bioceramic hem de Ceraseal, endodontik yeniden tedavi sırasında daha kolay uzaklaştırılabilir bulunmuş ve kanal dolgusu için önerilmiştir (Shim et al., 2025). Jamleh ve ark. yaptığı başka bir çalışmada da TotalFill Bioceramic ve Ah-Plus materyallerinin geri çekilebilirliği ve geri çekme kuvveti karşılaştırılmış, dentin üzerinde AH-Plus daha fazla kalıntı bırakmış ve daha yüksek geri çekme kuvveti göstermiştir (Jamleh et al., 2022).

3.3. Pulpotomi

Uzun yıllar boyunca, irreversible pulpitis (IP) belirtileri ve semptomları olan olgun kalıcı dişlerin kök kanal tedavisi veya cerrahi çekimle yönetilmesi gerektiği yaygın olarak düşünülmüştür (Moazami, Sahebi, Sobhnamayan, & Alipour, 2011). Endodonti Bilimi yakın zamanda odak noktasını, tedavi sürecini kısaltacak ve dişin uzun vadeli prognozunu iyileştirecek olan vital pulpa dokularının korunmasına kaydırmıştır (Wolters et al., 2017). Vital pulpa tedavileri, özellikle çürük maruziyetleri olan semptomatik hastaların tedavisinde, genellikle kök kanal tedavisine göre daha az öngörülebilir uzun vadeli bir alternatif olarak görülmüştür (Bergenholtz et al., 2013; Ward, 2002). Uzun vadeli tedavi başarısızlıkları büyük ölçüde restoratif sızıntı, kalsiyum hidroksit ilaçlarının çözünmesi ve dentin köprülerindeki tünel defektleri nedeniyle meydana gelmiş ve bu da pulpanın yeniden enfekte olup distrofik kalsifikasyona, kök kanal tedavisine veya çekime yol açmıştır (Barnes & Kidd, 1979;

Cox, Keall, Keall, Ostro, & Bergenholtz, 1987). 1990'ların ortalarında yeni bir materyal olan MTA, pulpa kaplama malzemesi olarak test edilmeye başlanmıştır (FORD, TORABINEJAD, ABEDI, BAKLAND, & KARIYAWASAM, 1996). MTA, sızıntıya karşı üstün direnç gösteren kalsiyum silikat esaslı bir materyaldir (Mahmoud Torabinejad, Higa, McKendry, & Pitt Ford, 1994). Pulpa kaplamada kalsiyum hidroksitten daha iyi uzun vadeli sonuçlar verir. MTA ve diğer kalsiyum silikat esaslı materyallerin ortaya çıkması, vital pulpa tedavilerinin kök kanal tedavilerinden daha öngörülebilir, daha uygun maliyetli ve teknik olarak daha az zorlayıcı bir tedavi seçeneği olabileceğini göstermiştir (Mente, Hufnagel, et al., 2014; Schwendicke, Brouwer, & Stolpe, 2015). Aynı zamanda MTA, Biodentine veya Endosequence gibi kalsiyum silikat esaslı materyaller kullanılarak gerçekleştirilen tam pulpotominin, irreversible pulpitis semptomları olan dişlerde %90'dan daha büyük bir başarı oranına ulaştığını gösteren çok sayıda çalışma yayınlanmıştır (Asgary, Eghbal, Ghoddusi, & Yazdani, 2013; Asgary, Hassanizadeh, Torabzadeh, & Eghbal, 2018; Doranala et al., 2021; N. A. Taha, Ahmad, & Ghanim, 2017; Nessrin A. Taha, Abuzaid, & Khader, 2023).

Oliveira ve ark. Biodentine, Bio-C repair ve Bio-C temp'in renk bozulmasını, radyoopasitesini, pH'ını, kalsiyum iyon salınımını ve bunların insan diş pulpası hücreleri üzerindeki biyolojik etkilerini analiz etmek ve materyalleri karşılaştırmak için yaptıkları çalışmada, bulgulara göre üç materyal de renk bozulmasıyla ilişkili görülmüş, Bio-C repair en düşük renklenme değerine, en yüksek radyoopasiteye ve en yüksek hücre canlılığına sahip bulunmuştur. Ayrıca Bio-C temp en yüksek kalsiyum iyon salınımı ile ilişkilendirilirken en düşük hücre canlılığını göstermiştir (Oliveira et al., 2021). Taha ve ark. MTA, Biodentine ve TotalFill kullanarak yaptıkları pulpotomi tedavilerinde renk değişikliğini karşılaştırmak ve kalan bukkal

duvar kalınlığı gibi değişkenlerin etkisini araştırmışlardır. Kalan bukkal duvar kalınlığı renk değişikliğinde önemli bir faktör olmakla beraber, araştırmanın bulguları ışığında renk değişikliğini en aza indirmek için MTA yerine Biodentine veya TotalFill kullanımı önerilmiştir (Nessrin A. Taha, Hamdan, & Al-Hiyasat, 2022).

Başka bir çalışmada irreversible pulpitis tanısı konmuş olgun daimi dişlerde Biodentine ve Endosequence materyalleri ile pulpotomi tedavisi uygulanmış ve 2 yıllık takip sonucunda Biodentine; %100, Endosequence; %82 başarı oranı elde edilmiştir. Aynı zamanda postoperatif ağrı Endosequence ile tedavi edilen dişlerde daha çok görülmüştür (Jiménez-Martín et al., 2024). Taha ve ark. yaptığı başka bir çalışmada ProRoot MTA, Biodentine ve Total Fill materyalleri ile yapılan pulpotomi tedavisinde, postoperatif 1. haftada hastaların %96.9' unda ağrıları tamamen geçmiş veya çok hafiflemiş ve 1 yıllık takibin ardından materyallerin başarı oranı MTA'da %91,8, Biodentine'de %93,3 ve TotalFill'de %91,9 bulunmuş, gruplar arasında anlamlı bir fark görülmemiştir (Nessrin A. Taha, Al-Rawash, & Imran, 2022).

3.4. Rejeneratif Endodontik Tedavi

Erken diş çürükleri veya olgunlaşmamış dişlerde travma, nörovasküler beslenmenin kaybına yol açarak pulpa nekrozuna neden olur (He et al., 2017). Pulpa nekrozu, olgunlaşmamış daimi dişlerde normal kök gelişimini durdurur. Bu da düzensiz kök formasyonu ve apeksin tam oluşmaması ile sonuçlanabilir. Bu da diş kökünün ve apeksinin gelişimini durdurabilir ve pulpa nekrozu olan olgunlaşmamış daimi dişlere uygulanan geleneksel kök kanal tedavisi durumunda kırık riski oluşturabilir (Hargreaves, Diogenes, & Teixeira, 2013). Açık apeksli olgunlaşmamış nekrotik daimi dişler için klasik tedavi yöntemleri arasında uzun süreli kalsiyum hidroksit uygulamasıyla

apeksifikasyon veya MTA ile tek seansta apikal bariyer oluşturulması yer alır. Her iki tedavi yöntemi de yüksek başarı oranları sunmasına rağmen, sürekli kök gelişimi garanti edilmez (Andreasen, Farik, & Munksgaard, 2002; Sheehy & Roberts, 1997). Günümüzde, bu dişlerin yönetimi için mevcut alternatif, kök hücreler, iskeleler ve biyoaktif moleküller üçlüsü altında doku mühendisliğinin temel prensiplerini benimseyen bir prosedür olan rejeneratif endodontik tedavidir (Eramo, Natali, Pinna, & Milia, 2018; Nosrat et al., 2019). Rejeneratif endodontik tedavide revaskülarizasyon, endodontik bir eğin apikal foramenin ötesine ortograd ekstrüzyonundan ve periapikal dokudan kanamanın indüklenmesinin ardından apikal üçte birlik kısımda kan pıhtısı oluşumunun, mineralize doku birikimiyle daha fazla kök gelişimini ve dentin duvarlarının güçlendirilmesini amaçlar (Saoud, Ricucci, Lin, & Gaengler, 2016; Tong et al., 2017). Raporlanan RET protokolleri kök kanallarının dezenfeksiyonu, mezenkimal kök hücrelerinin alımı ve iskele oluşturulması, koronal bariyer ve restorasyonun yerleştirilmesi olmak üzere üç ana bileşenden oluşur (Diogenes & Ruparel, 2017). Koronal bariyerler, iskele görevi gören apikal kan pıhtısıyla doğrudan temas halinde olacakları için RET' de kullanımları durumunda bariyerin biyouyumluluk göstermesi, sitotoksositeye sahip olmaması gibi özellikleri kritik öneme sahiptir (Surya Raghavendra, Jadhav, Gathani, & Kotadia, 2017). İdeal olarak, bu amaçla kullanılan biyomalzemeler, enfeksiyon ve dezenfeksiyondan sonra kalan mezenkimal kök hücrelerinin hayatta kalmasını sağlamak ve farklılaşmasını teşvik etmek için antibakteriyel ve biyoaktif özellikler de göstermelidir (Wigler et al., 2013). Biyoaktif endodontik simanlar olarak kategorize edilen kalsiyum silikat esaslı biyomalzemeler, daha önce oluşturulmuş apikal doğal iskelenin (kan pıhtısı) koronal sızdırmazlığı için parlak adaylar olarak ortaya çıkmıştır (Wigler et al., 2013). Kanal içi bariyer olarak MTA en popüler materyal olarak gösterilmiştir (Kontakiotis, Filippatos, Tzanetakis, & Agrafioti, 2015). Ancak,

çeşitli çalışmalar, özellikle kanla temas ettiğinde MTA'nın dış renklendirme potansiyelini ortaya koymuştur (Felman & Parashos, 2013; Shokouhinejad, Nekoofar, Pirmoazen, Shamshiri, & Dummer, 2016). Dış renklenmesinin mekanizması hakkındaki teorilerin çoğu, kalsiyum silikat simanlarda bulunan ağır metal oksitlerin (yani demir, bizmut veya manganez) oksidasyonunu içerir. Ancak temel kanı bizmut üzerinde yoğunlaşmıştır. MTA'nın neden olduğu dış renk değişikliğinin üstesinden gelmek için, estetik kaygıların olduğu dişlerde kron renk değişikliği potansiyeli daha düşük olan diğer kalsiyum silikat bazlı simanların seçilmesi önerilmiştir (Algarni, Yassen, & Gregory, 2015).

3.5. Perforasyon

Kök kanalı perforasyonu, kökte bir açıklık olarak tanımlanır; ayrıca, Amerikan Endodontistler Derneği Endodonti Terimleri Sözlüğüne göre, kök kanal sistemi ile dişin dış yüzeyi arasındaki mekanik veya patolojik bağlantıları ifade eder (Alves, Morais, Izelli, Estrela, & Estrela, 2021; Eleazer et al., n.d.). Kök perforasyonu, endodontik tedavide istenmeyen bir komplikasyon oluşturur, kökün yapısal bütünlüğünü tehlikeye atar ve bitişik periodontal dokuların daha fazla tahribatına yol açar (Nagpal, Manuja, Pandit, & Rallan, 2013). Bu perforasyon, endodontik tedavi sırasında kazara veya iatrojenik nedenler, rezorptif süreç veya diş çürükleri gibi diğer nedenlerle meydana gelebilir (Alhadainy, 1994). Kök perforasyonları kök kanal tedavisi sırasında görülen önemli komplikasyonlardır; Eğer tespit edilmez ve uygun şekilde tedavi edilmezse, periodonsiyumun bozulması eninde sonunda diş kaybına yol açabilir. Kök kanal tedavisinin tekrarı üzerine yapılan bir çalışmada, tedavi başarısını önemli ölçüde etkileyen faktörlerden birinin perforasyonun varlığı olduğu gösterilmiştir (FARZANEH, ABITBOL, & FRIEDMAN, 2004). Kök perforasyonları kökün herhangi bir yerinde meydana gelebilir. Operasyon öncesi, rezorpsiyon veya çürük gibi patolojik

faktörlerden kaynaklanabileceği gibi operasyon sırasında giriş kavitesi preparasyonu sırasında, kök kanal enstrümantasyonu sırasında veya post boşluğunun hazırlanması sırasında meydana gelebilir (KVINNSLAND, OSWALD, HALSE, & GRØNNINGSÆTER, 1989). Perforasyonun ilk klinik görünümü sıklıkla pulpa odası veya kanal içindeki defektten gelen yoğun kanama ile ilişkilidir (Alhadainy & Himel, 1994; Bryan, Woollard, & Mitchell, 1999). Perforasyon yönetiminin amacı, kalıcı inflamasyon veya periodontal atışman kaybı olmadan perforasyona bitişik sağlıklı periodontal dokuları korumaktır (Pitt Ford, Torabinejad, McKendry, Hong, & Kariyawasam, 1995; Silva et al., 2019). Bu nedenle, başarılı perforasyon onarımı, perforasyonu kapatma ve sağlıklı bir periodontal ligamenti yeniden yeniden oluşturma yeteneğine bağlıdır (Seltzer, Sinai, & August, 1970). İdeal bir tedavi stratejisi belirlemek için Fuss ve Trope, onarım süresi, perforasyonun boyutu ve perforasyonun yeri dahil olmak üzere perforasyonların ve tedavilerinin prognozunu etkileyen faktörlere dayalı bir sınıflandırma sistemi sunmuştur (Fuss & Trope, 1996). Ancak yakın tarihli çalışmalar, MTA tanıtıldıktan sonra perforasyon onarımının dişler için tarihsel prognostik faktörlerin, öncesinde olduğu kadar önemli olmadığını göstermektedir (Mente, Leo, Panagidis, Saure, & Pfefferle, 2014). Çünkü MTA etkili bir sızdırmazlık sağlamakla beraber perforasyon onarımının prognozunu iyileştirmektedir (Hamad, Tordik, & McClanahan, 2006a, 2006b; Kennethweldonjr, Pashley, Loushine, Normanweller, & Frankkimbrough, 2002; Main, Mirzayan, Shabahang, & Torabinejad, 2004; M. Torabinejad, Parirokh, & Dummer, 2018a). Fakat bazı endikasyonlarda, MTA'nın dezavantajları vardır ve diğer malzemelere öncelik verilmelidir. MTA'nın bir sınırlaması, 3 saate kadar uzun sertleşme süresidir (Torabinejad, Hong, Lee, Monsef, & Pittford, 1995; Torabinejad, Hong, McDonald, & Pittford, 1995). Bir diğer dezavantaj ise MTA'nın rengi ve renk değiştirme potansiyelidir ve bu da estetik kaygılara

neden olabilir. Biodentin, BC Endosequence RRM gibi diğer biyoaktif endodontik simanların renk değiştirme potansiyeli daha düşüktür (Kohli, Yamaguchi, Setzer, & Karabucak, 2015; Możyńska, Metlerski, Lipski, & Nowicka, 2017; M. Torabinejad, Parirokh, & Dummer, 2018b). MTA'nın uygulama güçlüğü, geç sertleşmesi ve kolay renklenmesi gibi dezavantajlarını ortadan kaldırmak üzere geliştirilen Biodentin; tek seansta tamamlanabilen pulpa kuafajı, amputasyon, retrograd dolgu, apeksifikasyon, kök perforasyonu, internal ve eksternal rezorbsiyon vakalarında geniş bir uygulama alanı bulmuştur ve dişlerde renk değişikliğine neden olmaz (Nowicka, Wilk, Lipski, Kołdecki, & Buczkowska-Radlińska, 2015). Üreticiye göre, biodentinin başlangıç sertleşme süresi 12 dakika olup, bu süre MTA da 3-4 saattir (Asgary, Shahabi, Jafarzadeh, Amini, & Kheirieh, 2008). Yapılan bir çalışmada kök perforasyonlarının onarımında kullanılan materyallerin kan kontaminasyonuna karşı gösterdiği performans incelenmiş, MTA'nın kan varlığına rağmen yüksek bağlanma yeteneğini koruduğu, buna karşın Biodentin'in kontaminasyon durumunda daha düşük yapışma dayanımı sergilediği rapor edilmiştir. Bununla birlikte, ideal koşullarda değerlendirildiğinde, Biodentin'in MTA'ya kıyasla daha üstün adezyon özelliklerine sahip olduğu bildirilmektedir (Üstün, S. Topçuoğlu, Akpek, & Aslan, 2015). Nosrat ve ark. gerçekleştirdiği bir çalışmada, pulpa perforasyonlarının tedavisinde kullanılan Biodentin'in, pulpa dokusunun revaskülarizasyonunu desteklemede ve kök hücre canlılığını sürdürmede MTA'ya kıyasla daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Nosrat, Seifi, & Asgary, 2011). Alsubait, erken sertleşme aşamasında %2,5 NaOCl maruziyetinden sonra perforasyon onarım malzemesi olarak NeoMTA Plus, EndoSequence Root Repair Material, Biodentine ve ProRoot MTA materyallerinin bağlanma dayanımını değerlendirmiştir. Çalışmanın sonucunda NaOCl maruziyetinden sonra ProRoot MTA diğer üç materyale kıyasla önemli ölçüde daha yüksek

bağlanma dayanımı göstermiş, kontrol grubunda da Biodentine diğer üç materyalden daha yüksek bağlanma dayanımı göstermiştir (S. A. Alsubait, 2017).

3.6. Retrograd Dolgu (Apikal Cerrahi)

Endodontik tedavinin temel amacı, kök kanal sisteminin mekanik preparasyonu sırasında mikroorganizmalar ile bunlara ait yan ürünlerin etkin şekilde uzaklaştırılması ve ardından, üç boyutlu bir sızdırmazlık sağlayacak biyouyumlu materyaller ile kanal sisteminin hermetik olarak doldurulmasıdır (Spångberg & Haapasalo, 2002b; Mahmoud Torabinejad & Chivian, 1999). Birincil kök kanal tedavileri yüksek başarı oranlarına sahip olsa da, endodontik başarısızlıklar halen klinik pratiğin bir parçası olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu başarısızlıkların başlıca nedenleri arasında; kök kanal sisteminin kompleks anatomisi nedeniyle tam olarak ulaşılamayan alanlarda persistan bakteriyel invazyon, kanal dolgu materyalinin taşkınlığı, köklerde oluşan fraktürler ve ekstra-radiküler biyofilm gibi yabancı cisim reaksiyonları yer almaktadır (Foster & Harrison, 2008a; Friedman, 2002; M. Torabinejad, Watson, & Pitt Ford, 1993).

Genel olarak, apikal cerrahi, ortograd yolla uygulanan kök kanal tedavisine rağmen periapikal hastalık devam ettiğinde uygulanır (Kadić et al., 2018). Bu tedavi periapikal hastalık durumunda tedavinin ilk aşaması olarak kabul edilmez ve genellikle (birincil) kanal tedavisini veya (ikincil) yeniden kanal tedavisini takip eder. Kanal tedavisi veya yeniden kanal tedavisini takiben yüksek ve öngörülebilir periapikal iyileşme oranları (%80'in üzerinde) göz önüne alındığında, cerrahi endodonti gerektiren vaka sayısı, periapikal hastalığı olanların nispeten küçük bir oranını oluşturmaktadır (Ng, Mann, & Gulabivala, 2011). Bu cerrahi işlemin başarı oranı yaklaşık %91,9 olup, bu yüksek başarı oranı büyük ölçüde retrograd kavitenin uygun şekilde hazırlanmasına atfedilmektedir. Retrograd kavite hazırlığı, dolgu

materyalinin üç boyutlu olarak marjinal adaptasyonunu sağlayarak kök kanalının etkin bir şekilde sızdırmazlığını temin eder ve mikroorganizmaların periapikal dokulara geçişini engelleyerek mikrosızıntının önüne geçer (Biočanin et al., 2018a; Kadić et al., 2018). Bu nedenle, kullanılan retrograd dolgu materyalinin; radyoopasite, biyouyumluluk, antimikrobiyal aktivite, biyoaktivite ve çözünürlük gibi temel fizikokimyasal özelliklerin yanı sıra; düşük sitotoksiste, etkin marjinal sızdırmazlık sağlama kapasitesi, kök dentinine adezyon, yüksek basınç direnci, boyutsal stabilite, uygun sertleşme süresi ve biyomimetik davranış gibi kriterleri karşılaması gerekmektedir (Kadić et al., 2018; Soundappan, Sundaramurthy, Raghu, & Natanasabapathy, 2014). Bu nedenle, kullanılan biyomalzemelerin bakteri geçirgenliğini azaltmak amacıyla düşük poroziteye sahip olması ve dentin tübüllerine penetrasyon ile sızdırmazlık yeteneği arasında pozitif bir korelasyon sunacak şekilde yüksek ıslanabilirliğe sahip olmalıdır (Biočanin et al., 2018b). Periapikal cerrahide amalgam, gutta-perka, çinko oksit ojenol, can iyonomer ve IRM gibi birçok retrograd dolgu malzemesi kullanılmıştır (Foster & Harrison, 2008b). Biyoaktif özellikleri, pulpa ve periradiküler dokularla temas ettiğinde doku rejenerasyonunu destekleyen osseoindüktif ve osteokondüktif etkileri, büyük sızdırmazlık kapasitesi ve antimikrobiyal etkisi sayesinde günümüzde altın standart olarak kabul edilen MTA retrograd dolgu materyali olarak kullanılmaktadır (Akçay, Arslan, Akçay, Mese, & Sahin, 2016; Soundappan et al., 2014). MTA ile ilgili klinik sorunları çözmek için çok çeşitli kalsiyum silikat esaslı materyaller geliştirilmiştir (Butt et al., 2014). EndoSequence BC RRM- fast set putty retrograd dolgu materyali için kullanılan kullanıma hazır bir materyaldir. EndoSequence BC RRM- fast set putty biyouyumludur, hidrofiliktir, çözünmez, boyutsal olarak kararlıdır, yüksek bir pH'a sahiptir, dokularla karşılaştığı andan itibaren 20 dakikalık bir sertleşme süresi vardır (Adamo, Buruiana, Schertzer, & Boylan, 1999; Johnson, 1999;

Wang, 2015b). Yapılan bir çalışmada MTA ve EndoSequence BC RRM-fast set putty materyallerinin *Enterococcus faecalis*'in mikro sızıntısını önleme yeteneği karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda EndoSequence BC RRM-fast set putty gözlem süresi boyunca bakteriyel mikro sızıntıya karşı direnç göstermede MTA Angelus ile karşılaştırılabilir olduğu bulunmuştur (Arvelaiz, 2022). Shahbaz ve ark. MTA, Kalsiyumdan Zenginleştirilmiş Karışım ve EndoSequence Kök Onarım Materyali (ERRM)'nin smear varlığında veya yokluğundaki sızdırmazlığını incelemek için yaptıkları çalışmada; smear tabakası çıkarıldığında, apikal sızıntı miktarı ERRM tarafından en az görülürken MTA' da en fazla görülmüş, smear tabakası varlığında da MTA en iyi sızdırmazlık özelliği göstermiştir (Shahbaz, Iftekhar, Alam, & Mishra, 2022)

KAYNAKÇA

- Adamo, H. L., Buruiana, R., Schertzer, L., & Boylan, R. J. (1999). A comparison of MTA, Super-EBA, composite and amalgam as root-end filling materials using a bacterial microleakage model. *International Endodontic Journal*, 32(3), 197–203. doi:10.1046/j.1365-2591.1999.00214.x
- Agrafioti, A., Tzimpoulas, N., Chatzitheodoridis, E., & Kontakiotis, E. G. (2016). Comparative evaluation of sealing ability and microstructure of MTA and Biodentine after exposure to different environments. *Clinical Oral Investigations*, 20(7), 1535–1540. doi:10.1007/s00784-015-1638-6
- Ahmed, H. M. A., & Dummer, P. M. H. (Eds.). (2022). *Endodontic Advances and Evidence-Based Clinical Guidelines*. Wiley. doi:10.1002/9781119553939
- Akcay, H., Arslan, H., Akcay, M., Mese, M., & Sahin, N. N. (2016). Evaluation of the bond strength of root-end placed mineral trioxide aggregate and Biodentine in the absence/presence of blood contamination. *European Journal of Dentistry*, 10(03), 370–375. doi:10.4103/1305-7456.184150
- Akshay, K., Jerry, J., Kavalipurapu-Venkata, T., & Ajitha, P. (2022). Comparative evaluation of postoperative pain and periapical healing after root canal treatment using three different base endodontic sealers – A randomized control clinical trial. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e144–e152. doi:10.4317/jced.59034
- Aktemur Türker, S., Uzunoğlu, E., Deniz Sungur, D., & Tek, V. (2018). Fracture Resistance of Teeth with Simulated Perforating Internal Resorption Cavities Repaired with Different Calcium Silicate-based Cements and Backfilling

- Materials. *Journal of Endodontics*, 44(5), 860–863. doi:10.1016/j.joen.2018.01.019
- Alazrag, M. A., Abu-Seida, A. M., El-Batouty, K. M., & El Ashry, S. H. (2020). Marginal adaptation, solubility and biocompatibility of TheraCal LC compared with MTA-angelus and biodentine as a furcation perforation repair material. *BMC Oral Health*, 20(1), 298. doi:10.1186/s12903-020-01289-y
- Aldakak, M. M. N., Capar, I. D., Rekab, M. S., & Abboud, S. (2016). Single-visit pulp revascularization of a nonvital immature permanent tooth using biodentine. *Iranian Endodontic Journal*, 11(3), 246–249. doi:10.7508/iej.2016.03.020
- Algarni, A. A., Yassen, G. H., & Gregory, R. L. (2015). Inhibitory effect of gels loaded with a low concentration of antibiotics against biofilm formation by enterococcus faecalis and porphyromonas gingivalis. *Journal of Oral Science*, 57(3), 213–218. doi:10.2334/josnurd.57.213
- Alhadainy, H. A. (1994). Root perforations. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 78(3), 368–374. doi:10.1016/0030-4220(94)90070-1
- Alhadainy, H. A., & Himel, V. T. (1994). An in vitro evaluation of plaster of paris barriers used under amalgam and glass ionomer to repair furcation perforations. *Journal of Endodontics*, 20(9), 449–452. doi:10.1016/S0099-2399(06)80036-1
- Alsubait, S. A. (2017). Effect of Sodium Hypochlorite on Push-out Bond Strength of Four Calcium Silicate-based Endodontic Materials when used for repairing Perforations on Human Dentin: An in vitro Evaluation. *The Journal of*

- Contemporary Dental Practice*, 18(4), 289–294.
doi:10.5005/jp-journals-10024-2033
- Alsubait, S., Alhathlol, N., Alqedairi, A., & Alfawaz, H. (2021). A micro-computed tomographic evaluation of retreatability of BioRoot RCS in comparison with AH Plus. *Australian Endodontic Journal*, 47(2), 222–227. doi:10.1111/aej.12456
- Alsubait, S., Alsaad, N., Alahmari, S., Alfaraj, F., Alfawaz, H., & Alqedairi, A. (2020). The effect of intracanal medicaments used in Endodontics on the dislocation resistance of two calcium silicate-based filling materials. *BMC Oral Health*, 20(1), 57. doi:10.1186/s12903-020-1044-6
- Alves, R. A. A., Morais, A. L. G., Izelli, T. F., Estrela, C. R. A., & Estrela, C. (2021). A Conservative Approach to Surgical Management of Root Canal Perforation. *Case Reports in Dentistry*, 2021, 1–6. doi:10.1155/2021/6633617
- Andelin, W., Browning, D., Hsu, G., Roland, D., & Torabinejad, M. (2002). Microleakage of Resected MTA. *Journal of Endodontics*, 28(8), 573–574. doi:10.1097/00004770-200208000-00002
- Andreasen, J. O., Farik, B., & Munksgaard, E. C. (2002). Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dental Traumatology*, 18(3), 134–137. doi:10.1034/j.1600-9657.2002.00097.x
- Andreasen, J. O., Munksgaard, E. C., & Bakland, L. K. (2006). Comparison of fracture resistance in root canals of immature sheep teeth after filling with calcium hydroxide or MTA. *Dental Traumatology*, 22(3), 154–156. doi:10.1111/j.1600-9657.2006.00419.x
- Angerame, D., De Biasi, M., Lenhardt, M., Porrelli, D., Bevilacqua, L., Generali, L., ... Pedullà, E. (2022). Root-end resection with or without retrograde obturation after

- orthograde filling with two techniques: A <scp>micro-CT</scp> study. *Australian Endodontic Journal*, 48(3), 423–430. doi:10.1111/aej.12634
- Antunes, T. B. M., Janini, A. C. P., Pelepenko, L. E., Abuna, G. F., Paiva, E. M., Sinhoreti, M. A. C., ... Marciano, M. A. (2021). Heating stability, physical and chemical analysis of calcium silicate-based endodontic sealers. *International Endodontic Journal*, 54(7), 1175–1188. doi:10.1111/iej.13496
- Arandi, N. Z., & Rabi, T. (2018). TheraCal LC: From Biochemical and Bioactive Properties to Clinical Applications. *International Journal of Dentistry*, 2018, 1–6. doi:10.1155/2018/3484653
- Arvelaiz, C. (2022). In Vitro Comparison of MTA and BC RRM-Fast Set Putty as Retrograde Filling Materials. *European Endodontic Journal*. doi:10.14744/eej.2022.36036
- Asgary, S., Eghbal, M. J., Ghoddusi, J., & Yazdani, S. (2013). One-year results of vital pulp therapy in permanent molars with irreversible pulpitis: an ongoing multicenter, randomized, non-inferiority clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 17(2), 431–439. doi:10.1007/s00784-012-0712-6
- Asgary, S., Eghbal, M. J., Shahravan, A., Saberi, E., Baghban, A. A., & Parhizkar, A. (2022). Outcomes of root canal therapy or full pulpotomy using two endodontic biomaterials in mature permanent teeth: a randomized controlled trial. *Clinical Oral Investigations*, 26(3), 3287–3297. doi:10.1007/s00784-021-04310-y
- Asgary, S., Fazlyab, M., & Nosrat, A. (2016). Regenerative Endodontic Treatment versus Apical Plug in Immature Teeth: Three-Year Follow-Up. *Journal of Clinical Pediatric*

- Dentistry*, 40(5), 356–360. doi:10.17796/1053-4628-40.5.356
- Asgary, S., Hassanizadeh, R., Torabzadeh, H., & Eghbal, M. J. (2018). Treatment Outcomes of 4 Vital Pulp Therapies in Mature Molars. *Journal of Endodontics*, 44(4), 529–535. doi:10.1016/j.joen.2017.12.010
- Asgary, S., Shahabi, S., Jafarzadeh, T., Amini, S., & Kheirieh, S. (2008). The Properties of a New Endodontic Material. *Journal of Endodontics*, 34(8), 990–993. doi:10.1016/j.joen.2008.05.006
- Avram, A., Gorea, M., Balint, R., Timis, L., Jitaru, S., Mocanu, A., & Tomoaia-Cotișel, M. (2017). Portland cement enriched with hydroxyapatite for endodontic applications. *Studia Universitatis Babeș-Bolyai Chimia*, 62(4), 81–92. doi:10.24193/subbchem.2017.4.07
- Baek, S.-H., Lee, W. C., Setzer, F. C., & Kim, S. (2010). Periapical Bone Regeneration after Endodontic Microsurgery with Three Different Root-end Filling Materials: Amalgam, SuperEBA, and Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics*, 36(8), 1323–1325. doi:10.1016/j.joen.2010.04.008
- Bakhtiar, H., Esmacili, S., Fakhr Tabatabayi, S., Ellini, M. R., Nekoofar, M. H., & Dummer, P. M. H. (2017). Second-generation Platelet Concentrate (Platelet-rich Fibrin) as a Scaffold in Regenerative Endodontics: A Case Series. *Journal of Endodontics*, 43(3), 401–408. doi:10.1016/j.joen.2016.10.016
- Barnes, I. E., & Kidd, E. A. (1979). Disappearing Dycal. *British Dental Journal*, 147(5), 111–111. doi:10.1038/sj.bdj.4804296

- Bergenholtz, G., Axelsson, S., Davidson, T., Frisk, F., Hakeberg, M., Kvist, T., ... Mejare, I. (2013). Treatment of pulps in teeth affected by deep caries – A systematic review of the literature. *Singapore Dental Journal*, 34(1), 1–12. doi:10.1016/j.sdj.2013.11.001
- Biočanin, V., Antonijević, Đ., Poštić, S., Ilić, D., Vuković, Z., Milić, M., ... Đurić, M. (2018). Marginal Gaps between 2 Calcium Silicate and Glass Ionomer Cements and Apical Root Dentin. *Journal of Endodontics*, 44(5), 816–821. doi:10.1016/j.joen.2017.09.022
- Birant, S., Gokalp, M., Duran, Y., Koruyucu, M., Akkoc, T., & Seymen, F. (2021). Cytotoxicity of NeoMTA Plus, ProRoot MTA and Biodentine on human dental pulp stem cells. *Journal of Dental Sciences*, 16(3), 971–979. doi:10.1016/j.jds.2020.10.009
- Borges, Á. H., Orçati Dorileo, M. C. G., Villa, R. D., Borba, A. M., Semenoff, T. A. D. V., Guedes, O. A., ... Bandeca, M. C. (2014). Physicochemical Properties and Surfaces Morphologies Evaluation of MTA FillApex and AH Plus. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–6. doi:10.1155/2014/589732
- Bryan, E. B., Woollard, G., & Mitchell, W. C. (1999). Nonsurgical repair of furcal perforations: a literature review. *General Dentistry*, 47(3), 274–278; quiz 279–280.
- Bukhari, S., Kohli, M. R., Setzer, F., & Karabucak, B. (2016). Outcome of Revascularization Procedure: A Retrospective Case Series. *Journal of Endodontics*, 42(12), 1752–1759. doi:10.1016/j.joen.2016.06.021
- Butt, N., Talwar, S., Chaudhry, S., Nawal, R., Yadav, S., & Bali, A. (2014). Comparison of physical and mechanical properties of mineral trioxide aggregate and Biodentine.

- Indian Journal of Dental Research*, 25(6), 692.
doi:10.4103/0970-9290.152163
- Byström, A., & Sundqvist, G. (1983). Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 55(3), 307–312. doi:10.1016/0030-4220(83)90333-X
- Camilleri, J. (2008). Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal*, 41(5), 408–417. doi:10.1111/j.1365-2591.2007.01370.x
- Camilleri, Josette. (2014a). Color Stability of White Mineral Trioxide Aggregate in Contact with Hypochlorite Solution. *Journal of Endodontics*, 40(3), 436–440. doi:10.1016/j.joen.2013.09.040
- Camilleri, Josette. (2014b). Hydration characteristics of Biodentine and Theracal used as pulp capping materials. *Dental Materials*, 30(7), 709–715. doi:10.1016/j.dental.2014.03.012
- Camilleri, Josette, Sorrentino, F., & Damidot, D. (2013). Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dental Materials*, 29(5), 580–593. doi:10.1016/j.dental.2013.03.007
- Chaniotis, A. (2017). Treatment Options for Failing Regenerative Endodontic Procedures: Report of 3 Cases. *Journal of Endodontics*, 43(9), 1472–1478. doi:10.1016/j.joen.2017.04.015
- Chauhan, S., Chauhan, R., Bhasin, P., & Sharaf, B. G. (2025). Present status and future directions: Apexification. *World Journal of Methodology*, 15(1). doi:10.5662/wjm.v15.i1.96923

- Chunawala, Y., Vanishree, B., Dighe, S. S., & Saha, R. (2025). Clinical and Radiographic Evaluation between Conventional Mineral Trioxide Aggregate and Gel-based Mineral Trioxide Aggregate in Indirect Pulp Therapy: A Randomized Clinical Trial. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 17(12), 1383–1387. doi:10.5005/jp-journals-10005-3018
- Cox, C. F., Keall, C. L., Keall, H. J., Ostro, E., & Bergenholtz, G. (1987). Biocompatibility of surface-sealed dental materials against exposed pulps. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 57(1), 1–8. doi:10.1016/0022-3913(87)90104-1
- Cvek, M. (1992). Prognosis of luxated non-vital maxillary incisors treated with calcium hydroxide and filled with gutta-percha. A retrospective clinical study. *Dental Traumatology*, 8(2), 45–55. doi:10.1111/j.1600-9657.1992.tb00228.x
- Cytotoxicity and Bioactivity of Calcium Silicate-based Cements in a Culture of Stem Cells from the Apical Papilla.* (2021). *IEJ Iranian Endodontic Journal* (Vol. 16).
- Davaie, S., Hooshmand, T., & Ansarifard, S. (2021). Different types of bioceramics as dental pulp capping materials: A systematic review. *Ceramics International*, 47(15), 20781–20792. doi:10.1016/j.ceramint.2021.04.193
- Dawood, A. E., Parashos, P., Wong, R. H. K., Reynolds, E. C., & Manton, D. J. (2017). Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 8(2). doi:10.1111/jicd.12195
- de Souza, G. L., Freitas, G. A. N., Ribeiro, M. T. H., Lemus, N. X. A., Soares, C. J., & Moura, C. C. G. (2023). Effects of different calcium-silicate based materials on fracture

resistance of immature permanent teeth with replacement root resorption and osteoclastogenesis. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 48(2). doi:10.5395/rde.2023.48.e21

Dentistry-Root canal sealing materials INTERNATIONAL STANDARD ISO 6876. (2012).

Didilescu, A. C., Cristache, C. M., Andrei, M., Voicu, G., & Perlea, P. (2018a). The effect of dental pulp-capping materials on hard-tissue barrier formation. *The Journal of the American Dental Association*, 149(10), 903-917.e4. doi:10.1016/j.adaj.2018.06.003

Diogenes, A., & Ruparel, N. B. (2017). Regenerative Endodontic Procedures. *Dental Clinics of North America*, 61(1), 111–125. doi:10.1016/j.cden.2016.08.004

Dioguardi, M., Quarta, C., Sovereto, D., Troiano, G., Zhurakivska, K., Bizzoca, M., ... Lo Russo, L. (2021). Calcium Silicate Cements vs. Epoxy Resin Based Cements: Narrative Review. *Oral*, 1(1), 23–35. doi:10.3390/oral1010004

Donnermeyer, D., Bunne, C., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2018). Retreatability of three calcium silicate-containing sealers and one epoxy resin-based root canal sealer with four different root canal instruments. *Clinical Oral Investigations*, 22(2), 811–817. doi:10.1007/s00784-017-2156-5

Donnermeyer, D., Bürklein, S., Dammaschke, T., & Schäfer, E. (2019). Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology*, 107(4), 421–436. doi:10.1007/s10266-018-0400-3

Doranala, S., Surakanti, J., Vemisetty, H., Loka, S., Sudireddy, K., & Punna, R. (2021). Comparative assessment of titanium-prepared platelet-rich fibrin, EndoSequence root repair

- material, and calcium hydroxide as pulpotomy agents in permanent teeth with irreversible pulpitis: A randomized controlled trial. *Journal of Conservative Dentistry*, 24(6), 606. doi:10.4103/jcd.jcd_264_21
- Duarte, M. A. H., Marciano, M. A., Vivan, R. R., Tanomaru Filho, M., Tanomaru, J. M. G., & Camilleri, J. (2018). Tricalcium silicate-based cements: properties and modifications. *Brazilian Oral Research*, 32(suppl 1). doi:10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0070
- Dudulwar, D., Patil, S., Bandekar, S., Patil, M., Gupta, D., & Gupta, R. (2024). A Comparative Evaluation of Push-Out Bond Strength of Six Different Root Canal Sealers: An In-Vitro Study. *Cureus*. doi:10.7759/cureus.56481
- Eleazer, P. D., Glickman, G. N., Scott, J. D., Mcclanahan, B., Terry, M. S., Webb, D., ... Odom, A. (n.d.). *American Association of Endodontists 2 Preface Special Committee on Cracked Tooth Initiative (2015)*.
- Elsayed, M. (2020). Aging of bioceramic and MTA-based sealers in simulated body fluid. *European Endodontic Journal*. doi:10.14744/eej.2020.43043
- Eramo, S., Natali, A., Pinna, R., & Milia, E. (2018). Dental pulp regeneration via cell homing. *International Endodontic Journal*, 51(4), 405–419. doi:10.1111/iej.12868
- Ersahan, S., & Aydin, C. (2010). Dislocation Resistance of iRoot SP, a Calcium Silicate-based Sealer, from Radicular Dentine. *Journal of Endodontics*, 36(12), 2000–2002. doi:10.1016/j.joen.2010.08.037
- Farzaneh, M., Abitbol, S., & Friedman, S. (2004). Treatment Outcome in Endodontics: The Toronto Study. Phases I and II: Orthograde Retreatment. *Journal of Endodontics*, 30(9), 627–633. doi:10.1097/01.DON.0000129958.12388.82

- Felman, D., & Parashos, P. (2013). Coronal Tooth Discoloration and White Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics*, 39(4), 484–487. doi:10.1016/j.joen.2012.11.053
- Ford, T. R. P., Torabinejad, M., Abedi, H. R., Bakland, L. K., & Kariyawasam, S. P. (1996). Using Mineral Trioxide Aggregate as a Pulp-Capping Material. *The Journal of the American Dental Association*, 127(10), 1491–1494. doi:10.14219/jada.archive.1996.0058
- Foster, K. H., & Harrison, E. (2008a). Effect of presentation bias on selection of treatment option for failed endodontic therapy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 106(5), e36–e39. doi:10.1016/j.tripleo.2008.06.018
- Foster, K. H., & Harrison, E. (2008b). Effect of presentation bias on selection of treatment option for failed endodontic therapy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 106(5), e36–e39. doi:10.1016/j.tripleo.2008.06.018
- Fransson, H., Petersson, K., & Davies, J. R. (2011). Dentine sialoprotein and Collagen I expression after experimental pulp capping in humans using Emdogain®Gel. *International Endodontic Journal*, 44(3), 259–267. doi:10.1111/j.1365-2591.2010.01824.x
- Friedman, S. (2002). Considerations and concepts of case selection in the management of post-treatment endodontic disease (treatment failure). *Endodontic Topics*, 1(1), 54–78. doi:10.1034/j.1601-1546.2002.10105.x
- Fuss, Z., & Trope, M. (1996). Root perforations: classification and treatment choices based on prognostic factors. *Dental*

Traumatology, 12(6), 255–264. doi:10.1111/j.1600-9657.1996.tb00524.x

- Gabrielli, E. S., Lima, A. R., Francisco, P. A., Herrera, D. R., de-Jesus-Soares, A., Ferraz, C. C. R., ... Gomes, B. P. F. A. (2022). Comparative analysis of bacterial content, levels of lipopolysaccharides and lipoteichoic acid in symptomatic and asymptomatic endodontic infections at different stages of endodontic treatment. *Clinical Oral Investigations*, 26(1), 287–302. doi:10.1007/s00784-021-03998-2
- Galler, K. M., Krastl, G., Simon, S., Van Gorp, G., Meschi, N., Vahedi, B., & Lambrechts, P. (2016). European Society of Endodontology position statement: Revitalization procedures. *International Endodontic Journal*, 49(8), 717–723. doi:10.1111/iej.12629
- Gandolfi, M. G., Taddei, P., Tinti, A., & Prati, C. (2010). Apatite-forming ability (bioactivity) of ProRoot MTA. *International Endodontic Journal*, 43(10), 917–929. doi:10.1111/j.1365-2591.2010.01768.x
- Gandolfi, Maria Giovanna, Iacono, F., Agee, K., Siboni, F., Tay, F., Pashley, D. H., & Prati, C. (2009). Setting time and expansion in different soaking media of experimental accelerated calcium-silicate cements and ProRoot MTA. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 108(6), e39–e45. doi:10.1016/j.tripleo.2009.07.039
- Gandolfi, Maria Giovanna, Siboni, F., Botero, T., Bossù, M., Riccitiello, F., & Prati, C. (2015). Calcium Silicate and Calcium Hydroxide Materials for Pulp Capping: Biointeractivity, Porosity, Solubility and Bioactivity of Current Formulations. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 13(1), 43–60. doi:10.5301/jabfm.5000201

- Gandolfi, Maria Giovanna, Taddei, P., Siboni, F., Modena, E., Ciapetti, G., & Prati, C. (2011). Development of the foremost light-curable calcium-silicate MTA cement as root-end in oral surgery. Chemical–physical properties, bioactivity and biological behavior. *Dental Materials*, 27(7), e134–e157. doi:10.1016/j.dental.2011.03.011
- Gill, I., Mittal, S., Kumar, T., & Keshav, V. (2024). Open Apex and its Management: Review Article. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 16(Suppl 1), S31–S34. doi:10.4103/jpbs.jpbs_615_23
- Guo, Y., Du, T., Li, H., Shen, Y., Mobuchon, C., Hieawy, A., ... Haapasalo, M. (2016). Physical properties and hydration behavior of a fast-setting bioceramic endodontic material. *BMC Oral Health*, 16(1), 23. doi:10.1186/s12903-016-0184-1
- Gupta, R., Prasad, A. B., Raisingani, D., Srivastava, H., Mital, P., & Moryani, V. (2023). Evaluation of calcium ion release from apical plugs formed by Biodentine and MTA with and without incorporation of triple antibiotic powder and modified triple antibiotic powder (cefaclor) using atomic absorption spectrophotometry-An in vitro study. doi:10.4103/jcd.jcd_250_23
- Güven, Y., Tuna, E. B., Dincol, M. E., & Aktoren, O. (2014). X-ray diffraction analysis of MTA-Plus, MTA-Angelus and DiaRoot BioAggregate. *European Journal of Dentistry*, 08(02), 211–215. doi:10.4103/2278-344X.130603
- HA, W., KAHLER, B., & WALSH, L. J. (2017). Classification and Nomenclature of Commercial Hygroscopic Dental Cements. *European Endodontic Journal*, 2(1), 27–27. doi:10.5152/eej.2017.17006

- Hamad, H. A., Tordik, P. A., & McClanahan, S. B. (2006a). Furcation Perforation Repair Comparing Gray and White MTA: A Dye Extraction Study. *Journal of Endodontics*, 32(4), 337–340. doi:10.1016/j.joen.2005.10.002
- Hamad, H. A., Tordik, P. A., & McClanahan, S. B. (2006b). Furcation Perforation Repair Comparing Gray and White MTA: A Dye Extraction Study. *Journal of Endodontics*, 32(4), 337–340. doi:10.1016/j.joen.2005.10.002
- Han, L., & Okiji, T. (2013). Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials. *International Endodontic Journal*, 46(9), 808–814. doi:10.1111/iej.12062
- Hargreaves, K. M., Diogenes, A., & Teixeira, F. B. (2013). Treatment Options: Biological Basis of Regenerative Endodontic Procedures. *Journal of Endodontics*, 39(3), S30–S43. doi:10.1016/j.joen.2012.11.025
- Harinkhere, C., Patni, P. M., Jain, P., Raghuwanshi, S., Pandey, S. H., & Bilaiya, S. (2024). Comparison of the sealing ability amongst orthograde apical plugs of mineral trioxide aggregate plus, mineral trioxide aggregate repair HP, and Biodentine after root resection: a bacterial leakage study. *Odontology*, 112(2), 364–371. doi:10.1007/s10266-023-00847-4
- He, L., Zhong, J., Gong, Q., Kim, S. G., Zeichner, S. J., Xiang, L., ... Mao, J. J. (2017). Treatment of Necrotic Teeth by Apical Revascularization: Meta-analysis. *Scientific Reports*, 7(1), 13941. doi:10.1038/s41598-017-14412-x
- Hinata, G., Yoshiba, K., Han, L., Edanami, N., Yoshiba, N., & Okiji, T. (2017). Bioactivity and biomineralization ability of calcium silicate-based pulp-capping materials after subcutaneous implantation. *International Endodontic Journal*, 50(S2). doi:10.1111/iej.12802

- HOSHINO, E., KURIHARA-ANDO, N., SATO, I., UEMATSU, H., SATO, M., KOTA, K., & IWAKU, M. (1996). *In-vitro* antibacterial susceptibility of bacteria taken from infected root dentine to a mixture of ciprofloxacin, metronidazole and minocycline. *International Endodontic Journal*, 29(2), 125–130. doi:10.1111/j.1365-2591.1996.tb01173.x
- Islam, R., Toida, Y., Chen, F., Tanaka, T., Inoue, S., Kitamura, T., ... Sano, H. (2021). Histological evaluation of a novel phosphorylated pullulan-based pulp capping material: An *in vivo* study on rat molars. *International Endodontic Journal*, 54(10), 1902–1914. doi:10.1111/iej.13587
- Jafari, F., Jafari, S., & Etesamnia, P. (2017, September 1). Genotoxicity, bioactivity and clinical properties of calcium silicate based sealers: A literature review. *Iranian Endodontic Journal*. Iranian Association of Endodontics. doi:10.22037/iej.v12i4.17623
- Jamleh, A., Nassar, M., Alfadley, A., Alanazi, A., Alotiabi, H., Alghilan, M., & Alfouzan, K. (2022). Assessment of Bioceramic Sealer Retreatability and Its Influence on Force and Torque Generation. *Materials*, 15(9), 3316. doi:10.3390/ma15093316
- Jeeruphan, T., Jantararat, J., Yanpiset, K., Suwannapan, L., Khewsawai, P., & Hargreaves, K. M. (2012). Mahidol Study 1: Comparison of Radiographic and Survival Outcomes of Immature Teeth Treated with Either Regenerative Endodontic or Apexification Methods: A Retrospective Study. *Journal of Endodontics*, 38(10), 1330–1336. doi:10.1016/j.joen.2012.06.028
- Jiménez-Martín, C., Martín-González, J., Crespo-Gallardo, I., Montero-Miralles, P., Cabanillas-Balsera, D., & Segura-Egea, J. J. (2024). Elective full pulpotomy in mature permanent teeth diagnosed with symptomatic irreversible

- pulpitis: a two years retrospective study. *Clinical Oral Investigations*, 28(8), 421. doi:10.1007/s00784-024-05814-z
- Jiménez-Pinzón, A., Segura-Egea, J. J., Poyato-Ferrera, M., Velasco-Ortega, E., & Ríos-Santos, J. V. (2004). Prevalence of apical periodontitis and frequency of root-filled teeth in an adult Spanish population. *International Endodontic Journal*, 37(3), 167–173. doi:10.1111/j.0143-2885.2004.00759.x
- Jitaru, S., Hodisan, I., Timis, L., Lucian, A., & Bud, M. (2016a). The Use Of Bioceramics In Endodontics - Literature Review. *Medicine and Pharmacy Reports*, 89(4), 470–473. doi:10.15386/cjmed-612
- Johnson, B. R. (1999). Considerations in the selection of a root-end filling material. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 87(4), 398–404. doi:10.1016/S1079-2104(99)70237-4
- Kadić, S., Baraba, A., Miletić, I., Ionescu, A., Brambilla, E., Ivanišević Malčić, A., & Gabrić, D. (2018). Push-out bond strength of three different calcium silicate-based root-end filling materials after ultrasonic retrograde cavity preparation. *Clinical Oral Investigations*, 22(3), 1559–1565. doi:10.1007/s00784-017-2244-6
- Kalaoglu, E. E., Duman, C., Capan, B. S., Ocak, M., & Bilecenoglu, B. (2023). Comparison of three different biomaterials used in in vitro molar apexification models. *BMC Oral Health*, 23(1), 434. doi:10.1186/s12903-023-03180-y
- Kangseng, T., Banomyong, D., Osiri, S., & Jantararat, J. (2025). Outcomes and prognostic factors of endodontically treated teeth filled with calcium silicate- or epoxy resin-based root

- canal sealers: A retrospective cohort study. *International Endodontic Journal*, 58(1), 84–96. doi:10.1111/iej.14155
- Karaoğlu, F., Miçoğulları Kurt, S., & Çalışkan, M. K. (2022). Outcome of single- versus two-visit root canal retreatment in teeth with periapical lesions: A randomized clinical trial. *International Endodontic Journal*, 55(8), 833–843. doi:10.1111/iej.13758
- Kato, G., Gomes, P. S., Neppelenbroek, K. H., Rodrigues, C., Fernandes, M. H., & Grenho, L. (2023). Fast-Setting Calcium Silicate-Based Pulp Capping Cements—Integrated Antibacterial, Irritation and Cytocompatibility Assessment. *Materials*, 16(1), 450. doi:10.3390/ma16010450
- Kaur, M. (2017). MTA versus Biodentine: Review of Literature with a Comparative Analysis. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*. doi:10.7860/JCDR/2017/25840.10374
- Kawashima, N., & Okiji, T. (2016). Odontoblasts: Specialized hard-tissue-forming cells in the dentin-pulp complex. *Congenital Anomalies*, 56(4), 144–153. doi:10.1111/cga.12169
- Kennethweldonjr, J., Pashley, D., Loushine, R., Normanweller, R., & Frankkimbrough, W. (2002). Sealing Ability of Mineral Trioxide Aggregate and Super-EBA When Used as Furcation Repair Materials: A Longitudinal Study. *Journal of Endodontics*, 28(6), 467–470. doi:10.1097/00004770-200206000-00013
- Kharouf, N., Cardinali, F., Al-Rayesse, R., Eid, A., Moujaes, Z., Nafash, M., ... Haikel, Y. (2024a). Mechanical and Physicochemical Characteristics of a Novel Premixed Calcium Silicate Sealer. *Materials*, 17(13), 3374. doi:10.3390/ma17133374

- Kharouf, N., Cardinali, F., Al-Rayesse, R., Eid, A., Moujaes, Z., Nafash, M., ... Haikel, Y. (2024b). Mechanical and Physicochemical Characteristics of a Novel Premixed Calcium Silicate Sealer. *Materials*, 17(13), 3374. doi:10.3390/ma17133374
- Kim, S. G., Malek, M., Sigurdsson, A., Lin, L. M., & Kahler, B. (2018). Regenerative endodontics: a comprehensive review. *International Endodontic Journal*, 51(12), 1367–1388. doi:10.1111/iej.12954
- Kirthiga, M., Thomas, G., Jose, S., Adarsh, V. J., & Nair, S. (2024). Antimicrobial efficacy of calcium silicate-based bioceramic sealers against *Enterococcus faecalis* and *Staphylococcus aureus* – An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27(7), 737–742. doi:10.4103/JCDE.JCDE_215_24
- Kitagawa, H., Kitagawa, R., Tsuboi, R., Hirose, N., Thongthai, P., Sakai, H., ... Imazato, S. (2021). Development of endodontic sealers containing antimicrobial-loaded polymer particles with long-term antibacterial effects. *Dental Materials*, 37(8), 1248–1259. doi:10.1016/j.dental.2021.04.008
- Kohli, M. R., Yamaguchi, M., Setzer, F. C., & Karabucak, B. (2015). Spectrophotometric Analysis of Coronal Tooth Discoloration Induced by Various Bioceramic Cements and Other Endodontic Materials. *Journal of Endodontics*, 41(11), 1862–1866. doi:10.1016/j.joen.2015.07.003
- Kontakiotis, E. G., Filippatos, C. G., Tzanetakakis, G. N., & Agrafioti, A. (2015). Regenerative Endodontic Therapy: A Data Analysis of Clinical Protocols. *Journal of Endodontics*, 41(2), 146–154. doi:10.1016/j.joen.2014.08.003

- Kot, K., Kucharski, Ł., Marek, E., Safranow, K., & Lipski, M. (2022). Alkalizing Properties of Six Calcium-Silicate Endodontic Biomaterials. *Materials*, 15(18), 6482. doi:10.3390/ma15186482
- Küden, C., Karakaş, S. N., & Batmaz, S. G. (2022). Comparative chemical properties, bioactivity, and cytotoxicity of resin-modified calcium silicate-based pulp capping materials on human dental pulp stem cells. *Clinical Oral Investigations*, 26(11), 6839–6853. doi:10.1007/s00784-022-04713-5
- Kvinnslund, I., Oswald, R. J., Halse, A., & Grønningsæter, A. G. (1989). A clinical and roentgenological study of 55 cases of root perforation. *International Endodontic Journal*, 22(2), 75–84. doi:10.1111/j.1365-2591.1989.tb00509.x
- Lee, J. K., Kwak, S. W., Ha, J.-H., Lee, W., & Kim, H.-C. (2017). Physicochemical Properties of Epoxy Resin-Based and Bioceramic-Based Root Canal Sealers. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2017, 1–8. doi:10.1155/2017/2582849
- Lee, W., & Yoo, Y.-J. (2020). Effect of apexification on occlusal resistance of immature teeth. *BMC Oral Health*, 20(1), 325. doi:10.1186/s12903-020-01317-x
- Lee, Y. (2004). Effects of physiological environments on the hydration behavior of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials*, 25(5), 787–793. doi:10.1016/S0142-9612(03)00591-X
- Lim, M., Jung, C., Shin, D.-H., Cho, Y., & Song, M. (2020a). Calcium silicate-based root canal sealers: a literature review. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 45(3). doi:10.5395/rde.2020.45.e35
- Lim, M., Jung, C., Shin, D.-H., Cho, Y., & Song, M. (2020b). Calcium silicate-based root canal sealers: a literature review.

Restorative Dentistry & Endodontics, 45(3).
doi:10.5395/rde.2020.45.e35

- Lima, A. R., Herrera, D. R., Francisco, P. A., Pereira, A. C., Lemos, J., Abranches, J., & Gomes, B. P. F. A. (2021). Detection of *Streptococcus mutans* in symptomatic and asymptomatic infected root canals. *Clinical Oral Investigations*, 25(6), 3535–3542. doi:10.1007/s00784-020-03676-9
- Lin, X., Chi, D., Gong, Q., & Tong, Z. (2021). An in vitro study on the effects of serum proteins on *Enterococcus faecalis* adhesion to three types of root sealers and gutta-percha. *BMC Oral Health*, 21(1), 622. doi:10.1186/s12903-021-01992-4
- Lin, Y.-Y., Zhang, P., Cheon, K., Jackson, J. G., & Lawson, N. C. (n.d.). *IN VITRO STUDY PEDIATRIC DENTISTRY V 44 / NO 3 MAY / JUN 22 PROPERTIES OF PULP CAPPING MATERIAL 207 Chemical and Physical Properties of Contemporary Pulp Capping Materials*.
- Linda, L., & Sechrist, C. M. (2005). *Creative Works Creative Works The Outcome of MTA as a Root End Filling Material: A Long Term The Outcome of MTA as a Root End Filling Material: A Long Term Evaluation Evaluation*. Retrieved from <https://scholarsrepository.llu.edu/etd>
- Linsuwanont, P., Kulvitit, S., & Santiwong, B. (2018). Reinforcement of Simulated Immature Permanent Teeth after Mineral Trioxide Aggregate Apexification. *Journal of Endodontics*, 44(1), 163–167. doi:10.1016/j.joen.2017.08.031
- Liu, M., He, L., Wang, H., Su, W., & Li, H. (2021). Comparison of in vitro biocompatibility and antibacterial activity of two calcium silicate-based materials. *Journal of Materials*

- Science: Materials in Medicine*, 32(5), 52.
doi:10.1007/s10856-021-06523-9
- Lolato, A., Bucci, C., Taschieri, S., Kabbaney, A. El, & Fabbro, M. Del. (2016). Platelet concentrates for revitalization of immature necrotic teeth: a systematic review of the clinical studies. *Platelets*, 27(5), 383–392.
doi:10.3109/09537104.2015.1131255
- López-García, S., Rodríguez-Lozano, F. J., Sanz, J. L., Forner, L., Pecci-Lloret, M. P., Lozano, A., ... Oñate-Sánchez, R. E. (2023). Biological properties of Ceraputty as a retrograde filling material: an in vitro study on hPDLSCs. *Clinical Oral Investigations*, 27(8), 4233–4243. doi:10.1007/s00784-023-05040-z
- Maharti, I. D., Rosseti, R., Asrianti, D., Herdianto, N., & Rianti, W. (2025). Calcium Silicate-Based Sealers: Apatite Deposition on Root Canal Dentin and pH Variation Analysis. *European Journal of Dentistry*, 19(02), 374–381.
doi:10.1055/s-0044-1788685
- MAIN, C., MIRZAYAN, N., SHABAHANG, S., & TORABINEJAD, M. (2004). Repair of Root Perforations Using Mineral Trioxide Aggregate: A Long-term Study. *Journal of Endodontics*, 30(2), 80–83.
doi:10.1097/00004770-200402000-00004
- Malta, C. P., Santi, S. S., Barcelos, R. C. S., Zanatta, F. B., Bier, C. A. S., & Morgental, R. D. (2024). Premixed calcium silicate-based root canal sealers have better biological properties than AH Plus: A systematic review and meta-analysis of in vivo animal studies and in vitro laboratory studies. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27(4), 345–359. doi:10.4103/JCDE.JCDE_24_24

- Manaspon, C., Jongwannasiri, C., Chumprasert, S., Sa-Ard-Iam, N., Mahanonda, R., Pavasant, P., ... Osathanon, T. (2021a). Human dental pulp stem cell responses to different dental pulp capping materials. *BMC Oral Health*, 21(1), 209. doi:10.1186/s12903-021-01544-w
- Manaspon, C., Jongwannasiri, C., Chumprasert, S., Sa-Ard-Iam, N., Mahanonda, R., Pavasant, P., ... Osathanon, T. (2021b). Human dental pulp stem cell responses to different dental pulp capping materials. *BMC Oral Health*, 21(1), 209. doi:10.1186/s12903-021-01544-w
- Mansour, M. M., Moussa, S. M., Meheissen, M. A., & Aboelseoud, M. R. (2024). Bacterial sealing ability of calcium silicate-based sealer for endodontic surgery: an in-vitro study. *BMC Oral Health*, 24(1), 584. doi:10.1186/s12903-024-04309-3
- Marciano, M. A., Duarte, M. A. H., & Camilleri, J. (2015). Dental discoloration caused by bismuth oxide in MTA in the presence of sodium hypochlorite. *Clinical Oral Investigations*, 19(9), 2201–2209. doi:10.1007/s00784-015-1466-8
- Marques Ferreira, M., Martinho, J. P., Duarte, I., Mendonça, D., Craveiro, A. C., Botelho, M. F., ... Abrantes, A. M. (2022). Evaluation of the Sealing Ability and Bond Strength of Two Endodontic Root Canal Sealers: An In Vitro Study. *Dentistry Journal*, 10(11), 201. doi:10.3390/dj10110201
- Mente, J., Hufnagel, S., Leo, M., Michel, A., Gehrig, H., Panagidis, D., ... Pfefferle, T. (2014). Treatment Outcome of Mineral Trioxide Aggregate or Calcium Hydroxide Direct Pulp Capping: Long-term Results. *Journal of Endodontics*, 40(11), 1746–1751. doi:10.1016/j.joen.2014.07.019

- Mente, J., Leo, M., Panagidis, D., Saure, D., & Pfefferle, T. (2014). Treatment Outcome of Mineral Trioxide Aggregate: Repair of Root Perforations—Long-term Results. *Journal of Endodontics*, 40(6), 790–796. doi:10.1016/j.joen.2014.02.003
- Meredith, P., Donald, A. M., & Luke, K. (1995). Pre-induction and induction hydration of tricalcium silicate: an environmental scanning electron microscopy study. *Journal of Materials Science*, 30(8), 1921–1930. doi:10.1007/BF00353014
- Moazami, F., Sahebi, S., Sobhnamayan, F., & Alipour, A. (2011). *Success Rate of Nonsurgical Endodontic Treatment of Nonvital Teeth with Variable Periradicular Lesions. Iranian Endodontic Journal* (Vol. 6).
- Molven, O., Halse, A., Fristad, I., & MacDonald-Jankowski, D. (2002). Periapical changes following root-canal treatment observed 20-27 years postoperatively. *International Endodontic Journal*, 35(9), 784–790. doi:10.1046/j.1365-2591.2002.00568.x
- Mora, A., García-Bernal, D., Rodríguez-Lozano, F. J., Sanz, J. L., Forner, L., Ghilotti, J., ... López-García, S. (2024a). Biocompatibility, bioactivity and immunomodulatory properties of three calcium silicate-based sealers: an in vitro study on hPDLSCs. *Clinical Oral Investigations*, 28(8), 416. doi:10.1007/s00784-024-05812-1
- Mora, A., García-Bernal, D., Rodríguez-Lozano, F. J., Sanz, J. L., Forner, L., Ghilotti, J., ... López-García, S. (2024b). Biocompatibility, bioactivity and immunomodulatory properties of three calcium silicate-based sealers: an in vitro study on hPDLSCs. *Clinical Oral Investigations*, 28(8), 416. doi:10.1007/s00784-024-05812-1

- Możyńska, J., Metlerski, M., Lipski, M., & Nowicka, A. (2017a). Tooth Discoloration Induced by Different Calcium Silicate-based Cements: A Systematic Review of In Vitro Studies. *Journal of Endodontics*, 43(10), 1593–1601. doi:10.1016/j.joen.2017.04.002
- Możyńska, J., Metlerski, M., Lipski, M., & Nowicka, A. (2017b). Tooth Discoloration Induced by Different Calcium Silicate-based Cements: A Systematic Review of In Vitro Studies. *Journal of Endodontics*, 43(10), 1593–1601. doi:10.1016/j.joen.2017.04.002
- Nagpal, R., Manuja, N., Pandit, I. K., & Rallan, M. (2013). Surgical management of iatrogenic perforation in maxillary central incisor using mineral trioxide aggregate. *BMJ Case Reports*, 2013, bcr2013200124. doi:10.1136/bcr-2013-200124
- Nair, P. N. R., Duncan, H. F., Pitt Ford, T. R., & Luder, H. U. (2008a). Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: a randomized controlled trial. *International Endodontic Journal*, 41(2), 128–150. doi:10.1111/j.1365-2591.2007.01329.x
- Nair, P. N. R., Duncan, H. F., Pitt Ford, T. R., & Luder, H. U. (2008b). Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: a randomized controlled trial. *International Endodontic Journal*, 41(2), 128–150. doi:10.1111/j.1365-2591.2007.01329.x
- Namazikhah, M. S., Nekoofar, M. H., Sheykhrezae, M. S., Salariyeh, S., Hayes, S. J., Bryant, S. T., ... Dummer, P. M. H. (2008). The effect of pH on surface hardness and

- microstructure of mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal*, 41(2), 108–116. doi:10.1111/j.1365-2591.2007.01325.x
- Nayak, G., & Hasan, M. F. (2014). Biodentine-a novel dentinal substitute for single visit apexification. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 39(2), 120. doi:10.5395/rde.2014.39.2.120
- Nekoofar, M. H., Davies, T. E., Stone, D., Basturk, F. B., & Dummer, P. M. H. (2011). Microstructure and chemical analysis of blood-contaminated mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal*, 44(11), 1011–1018. doi:10.1111/j.1365-2591.2011.01909.x
- Ng, Y.-L., Mann, V., & Gulabivala, K. (2011). A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. *International Endodontic Journal*, 44(7), 583–609. doi:10.1111/j.1365-2591.2011.01872.x
- Njeh, A., Uzunoğlu, E., Ardila-Osorio, H., Simon, S., Berdal, A., Kellermann, O., & Goldberg, M. (2016). Reactionary and reparative dentin formation after pulp capping: Hydrogel vs. Dycal. *Evidence-Based Endodontics*, 1(1), 3. doi:10.1186/s41121-016-0003-9
- Nosrat, A., Kolahdouzan, A., Khatibi, A. H., Verma, P., Jamshidi, D., Nevins, A. J., & Torabinejad, M. (2019). Clinical, Radiographic, and Histologic Outcome of Regenerative Endodontic Treatment in Human Teeth Using a Novel Collagen-hydroxyapatite Scaffold. *Journal of Endodontics*, 45(2), 136–143. doi:10.1016/j.joen.2018.10.012
- Nosrat, A., Seifi, A., & Asgary, S. (2011a). Regenerative Endodontic Treatment (Revascularization) for Necrotic Immature Permanent Molars: A Review and Report of Two

- Cases with a New Biomaterial. *Journal of Endodontics*, 37(4), 562–567. doi:10.1016/j.joen.2011.01.011
- Nosrat, A., Seifi, A., & Asgary, S. (2011b). Regenerative Endodontic Treatment (Revascularization) for Necrotic Immature Permanent Molars: A Review and Report of Two Cases with a New Biomaterial. *Journal of Endodontics*, 37(4), 562–567. doi:10.1016/j.joen.2011.01.011
- Nowicka, A., Wilk, G., Lipski, M., KołECKI, J., & Buczkowska-Radlińska, J. (2015). Tomographic Evaluation of Reparative Dentin Formation after Direct Pulp Capping with Ca(OH)₂, MTA, Biodentine, and Dentin Bonding System in Human Teeth. *Journal of Endodontics*, 41(8), 1234–1240. doi:10.1016/j.joen.2015.03.017
- Ok, E., Altunsoy, M., Tanriver, M., Capar, I. D., Kalkan, A., & Gok, T. (2016). Fracture resistance of simulated immature teeth after apexification with calcium silicate-based materials. *European Journal of Dentistry*, 10(02), 188–192. doi:10.4103/1305-7456.178301
- Okiji, T., & Yoshiba, K. (2009). Reparative Dentinogenesis Induced by Mineral Trioxide Aggregate: A Review from the Biological and Physicochemical Points of View. *International Journal of Dentistry*, 2009, 1–12. doi:10.1155/2009/464280
- Oliveira, L. V., de Souza, G. L., da Silva, G. R., Magalhães, T. E. A., Freitas, G. A. N., Turrioni, A. P., ... Moura, C. C. G. (2021). Biological parameters, discolouration and radiopacity of calcium silicate-based materials in a simulated model of partial pulpotomy. *International Endodontic Journal*, 54(11), 2133–2144. doi:10.1111/iej.13616

- Ørstavik, D. (2005a). Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing. *Endodontic Topics*, 12(1), 25–38. doi:10.1111/j.1601-1546.2005.00197.x
- Ørstavik, D. (2005b). Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing. *Endodontic Topics*, 12(1), 25–38. doi:10.1111/j.1601-1546.2005.00197.x
- Özcan, E., Eldeniz, A. U., & Arı, H. (2011). Bacterial killing by several root filling materials and methods in an *ex vivo* infected root canal model. *International Endodontic Journal*, 44(12), 1102–1109. doi:10.1111/j.1365-2591.2011.01928.x
- Palczewska-Komsa, M., Kaczor-Wiankowska, K., & Nowicka, A. (2021). New Bioactive Calcium Silicate Cement Mineral Trioxide Aggregate Repair High Plasticity (MTA HP)—A Systematic Review. *Materials*, 14(16), 4573. doi:10.3390/ma14164573
- Panda, P., Mishra, L., Govind, S., Panda, S., & Lapinska, B. (2022). Clinical Outcome and Comparison of Regenerative and Apexification Intervention in Young Immature Necrotic Teeth—A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 11(13), 3909. doi:10.3390/jcm11133909
- Paños-Crespo, A., Sánchez-Torres, A., & Gay-Escoda, C. (2021). Retrograde filling material in periapical surgery: a systematic review. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 26(4), e422–e429. doi:10.4317/medoral.24262
- Parirokh, M., Torabinejad, M., & Dummer, P. M. H. (2018). Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview – part I: vital pulp therapy. *International Endodontic Journal*, 51(2), 177–205. doi:10.1111/iej.12841

- Parirokh, Masoud, & Torabinejad, M. (2010a). Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part I: Chemical, Physical, and Antibacterial Properties. *Journal of Endodontics*, 36(1), 16–27. doi:10.1016/j.joen.2009.09.006
- Parirokh, Masoud, & Torabinejad, M. (2010b). Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part I: Chemical, Physical, and Antibacterial Properties. *Journal of Endodontics*, 36(1), 16–27. doi:10.1016/j.joen.2009.09.006
- Parirokh, Masoud, & Torabinejad, M. (2010c). Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part III: Clinical Applications, Drawbacks, and Mechanism of Action. *Journal of Endodontics*, 36(3), 400–413. doi:10.1016/j.joen.2009.09.009
- Patel, S., Ricucci, D., Durak, C., & Tay, F. (2010). Internal Root Resorption: A Review. *Journal of Endodontics*, 36(7), 1107–1121. doi:10.1016/j.joen.2010.03.014
- Patrícia Correia de Siqueira, Ana Helena Gonçalves de Alencar, Daniel de Almeida Decurcio, Julio Almeida Silva, & Carlos Estrela. (2022). Characterization of chemical elements of calcium silicate-based cements. *RSBO*, 19(2). doi:10.21726/rsbo.v19i2.1870
- Paula, A. B., Laranjo, M., Marto, C.-M., Paulo, S., Abrantes, A. M., Casalta-Lopes, J., ... Carrilho, E. (2018). Direct Pulp Capping: What is the Most Effective Therapy?—Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Evidence Based Dental Practice*, 18(4), 298–314. doi:10.1016/j.jebdp.2018.02.002
- Peñarrocha Diago, M., Ortega Sánchez, B., García Mira, B., Martí Bowen, E., von Arx, T., & Gay Escoda, C. (2008). Evaluation of healing criteria for success after periapical

- surgery. *Medicina Oral, Patologia Oral y Cirugia Bucal*, 13(2), E143-7.
- Peters, O. A., Boessler, C., & Paqué, F. (2010). Root Canal Preparation with a Novel Nickel-Titanium Instrument Evaluated with Micro-computed Tomography: Canal Surface Preparation over Time. *Journal of Endodontics*, 36(6), 1068–1072. doi:10.1016/j.joen.2010.02.023
- Pitt Ford, T. R., Torabinejad, M., McKendry, D. J., Hong, C.-U., & Kariyawasam, S. P. (1995). Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 79(6), 756–763. doi:10.1016/S1079-2104(05)80313-0
- Poggio, C., Lombardini, M., Colombo, M., Beltrami, R., & Rindi, S. (2015). Solubility and pH of Direct pulp Capping Materials: A Comparative Study. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 13(2), 181–185. doi:10.5301/jabfm.5000230
- Prasad Kumara, P. A. A. S., Cooper, P. R., Cathro, P., Gould, M., Dias, G., & Ratnayake, J. (2025, April 1). Bioceramics in Endodontics: Limitations and Future Innovations—A Review. *Dentistry Journal*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi:10.3390/dj13040157
- Prati, C., & Gandolfi, M. G. (2015). Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dental Materials*, 31(4), 351–370. doi:10.1016/j.dental.2015.01.004
- Primus, C. M., Tay, F. R., & Niu, L. (2019). Bioactive tri/dicalcium silicate cements for treatment of pulpal and periapical tissues. *Acta Biomaterialia*, 96, 35–54. doi:10.1016/j.actbio.2019.05.050

- Puppala, R., Kethineni, B., Raghavendra, K. J., Abbas, A., Birapu, U. C., & Reddy, P. (2021). Efficacy of Mineral Trioxide Aggregate and Biodentine as Apical Barriers in Immature Permanent Teeth: A Microbiological Study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 13(6), 656–662. doi:10.5005/jp-journals-10005-1853
- Rahman, B., & Goswami, M. (2021). Comparative Evaluation of Indirect Pulp Therapy in Young Permanent Teeth using Biodentine and Theracal: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 45(3), 158–164. doi:10.17796/1053-4625-45.3.3
- Rajasekharan, S., Martens, L. C., Cauwels, R. G. E. C., & Verbeeck, R. M. H. (2014a). Biodentine™ material characteristics and clinical applications: a review of the literature. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 15(3), 147–158. doi:10.1007/s40368-014-0114-3
- Rajasekharan, S., Martens, L. C., Cauwels, R. G. E. C., & Verbeeck, R. M. H. (2014b). Biodentine™ material characteristics and clinical applications: a review of the literature. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 15(3), 147–158. doi:10.1007/s40368-014-0114-3
- Rao, Q., Kuang, J., Mao, C., Dai, J., Hu, L., Lei, Z., ... Yuan, G. (2020). Comparison of iRoot BP Plus and Calcium Hydroxide as Pulpotomy Materials in Permanent Incisors with Complicated Crown Fractures: A Retrospective Study. *Journal of Endodontics*, 46(3), 352–357. doi:10.1016/j.joen.2019.12.010
- Reszka, P., Nowicka, A., Lipski, M., Dura, W., Drożdżik, A., & Woźniak, K. (2016). A Comparative Chemical Study of Calcium Silicate-Containing and Epoxy Resin-Based Root Canal Sealers. *BioMed Research International*, 2016, 1–8. doi:10.1155/2016/9808432

- Roghanizadeh, L., & Fazlyab, M. (2018). Revascularization and apical plug in an immature molar. *Iranian Endodontic Journal*, 13(1), 139–142. doi:10.22037/iej.v13i1.19666
- Roscoe, M. G., Meira, J. B. C., & Cattaneo, P. M. (2015). Association of orthodontic force system and root resorption: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 147(5), 610–626. doi:10.1016/j.ajodo.2014.12.026
- Rosenberg, B., Murray, P. E., & Namerow, K. (2007). The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. *Dental Traumatology*, 23(1), 26–29. doi:10.1111/j.1600-9657.2006.00453.x
- Roy, M., Bailwad, S. A., Bhatnagar, A., Singh, S., Assiry, A. A., Mohamed, R. N., ... Karobari, M. I. (2024). Evaluation of microleakage of mineral trioxide aggregate and biodentine as apical barriers in simulated young permanent teeth. *BMC Oral Health*, 24(1), 1100. doi:10.1186/s12903-024-04817-2
- S, A., Azhar, S., Manan, R., Bansal, N., Singh, D., & Chauhan, B. (2023). Comparison of the Microleakages of Four Root-End Filling Materials: An In Vitro Study. *Cureus*. doi:10.7759/cureus.40461
- Saavedra, F. M., Pelepenko, L. E., Boyle, W. S., Zhang, A., Staley, C., Herzberg, M. C., ... Lima, B. P. (2022). *In vitro* physicochemical characterization of five root canal sealers and their influence on an *ex vivo* oral multi-species biofilm community. *International Endodontic Journal*, 55(7), 772–783. doi:10.1111/iej.13742
- Saghiri, M. A., Asgar, K., Lotfi, M., & Garcia-Godoy, F. (2012). Nanomodification of mineral trioxide aggregate for enhanced physiochemical properties. *International*

Endodontic Journal, 45(11), 979–988. doi:10.1111/j.1365-2591.2012.02056.x

Saghiri, Mohammad Ali, Gutmann, J. L., Orangi, J., Asatourian, A., & Sheibani, N. (2015). Radiopacifier Particle Size Impacts the Physical Properties of Tricalcium Silicate-based Cements. *Journal of Endodontics*, 41(2), 225–230. doi:10.1016/j.joen.2014.09.025

Saghiri, Mohammad Ali, Lotfi, M., Joupari, M. D., Aeinehchi, M., & Saghiri, A. M. (2010). Effects of Storage Temperature on Surface Hardness, Microstructure, and Phase Formation of White Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics*, 36(8), 1414–1418. doi:10.1016/j.joen.2010.04.022

Sahin, N., Saygili, S., & Akcay, M. (2021). Clinical, radiographic, and histological evaluation of three different pulp-capping materials in indirect pulp treatment of primary teeth: a randomized clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 25(6), 3945–3955. doi:10.1007/s00784-020-03724-4

Saoud, T., Ricucci, D., Lin, L., & Gaengler, P. (2016). Regeneration and Repair in Endodontics—A Special Issue of the Regenerative Endodontics—A New Era in Clinical Endodontics. *Dentistry Journal*, 4(1), 3. doi:10.3390/dj4010003

Sarkar, N., Caicedo, R., Ritwik, P., Moiseyeva, R., & Kawashima, I. (2005). Physicochemical Basis of the Biologic Properties of Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics*, 31(2), 97–100. doi:10.1097/01.DON.0000133155.04468.41

Savitri, D., Suprastiwi, E., & Margono, A. (2017). Applying glass ionomer cement to MTA flowTM and biodentineTM and its effects on the interface layer. *Journal of Physics: Conference Series*, 884, 012109. doi:10.1088/1742-6596/884/1/012109

- Scarpato, R. K., Dondoni, L., Böttcher, D. E., Grecca, F. S., Figueiredo, J. A. P., & Batista, E. L. (2012). Apical Periodontium Response to Enamel Matrix Derivative as an Intracanal Medication in Rat Immature Teeth with Pulp Necrosis: Radiographic and Histologic Findings. *Journal of Endodontics*, 38(4), 449–453. doi:10.1016/j.joen.2011.12.041
- Schäfer, E., Schrenker, C., Zupanc, J., & Bürklein, S. (2016). Percentage of Gutta-percha Filled Areas in Canals Obturated with Cross-linked Gutta-percha Core-carrier Systems, Single-Cone and Lateral Compaction Technique. *Journal of Endodontics*, 42(2), 294–298. doi:10.1016/j.joen.2015.10.018
- Schwendicke, F., Brouwer, F., & Stolpe, M. (2015). Calcium Hydroxide versus Mineral Trioxide Aggregate for Direct Pulp Capping: A Cost-effectiveness Analysis. *Journal of Endodontics*, 41(12), 1969–1974. doi:10.1016/j.joen.2015.08.019
- Seltzer, S., Sinai, I., & August, D. (1970). Periodontal Effects of Root Perforations Before and During Endodontic Procedures. *Journal of Dental Research*, 49(2), 332–339. doi:10.1177/00220345700490022301
- Shah, P. M. M., Chong, B. S., Sidhu, S. K., & Pitt Ford, T. R. (1996a). Radiopacity of potential root-end filling materials. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 81(4), 476–479. doi:10.1016/S1079-2104(96)80028-X
- Shahbaz, S., Iftekhhar, H., Alam, S., & Mishra, S. K. (2022). Comparative Evaluation of the Apical Leakage of Different Bioceramic Retrofilling Materials with and without Smear Layer. *Indian Journal of Dental Research*, 33(1), 46–51. doi:10.4103/ijdr.ijdr_313_21

- Shahi, S., Ghasemi, N., Rahimi, S., Yavari, H., Janani, M., Mokhtari, H., ... Rabbani, P. (2015). The effect of different mixing methods on working time, setting time, dimensional changes and film thickness of mineral trioxide aggregate and calcium-enriched mixture. *Iranian Endodontic Journal*, 10(4), 248–251. doi:10.7508/iej.2015.04.008
- Sheehy, E. C., & Roberts, G. J. (1997). Use of calcium hydroxide for apical barrier formation and healing in non-vital immature permanent teeth: a review. *British Dental Journal*, 183(7), 241–246. doi:10.1038/sj.bdj.4809477
- Sheela, S., Nassar, M., AlGhalban, F. M., & Gorduysus, M. O. (2023). In Vitro Cytotoxicity and Mineralization Potential of an Endodontic Bioceramic Material. *European Journal of Dentistry*, 17(02), 548–555. doi:10.1055/s-0042-1750778
- Shenoy, A., & Shenoy, N. (2010). Dental ceramics: An update. *Journal of Conservative Dentistry*, 13(4), 195. doi:10.4103/0972-0707.73379
- Sheykhrezae, M. S., Meraji, N., Ghanbari, F., Nekoofar, M. H., Bolhari, B., & Dummer, P. M. H. (2018). Effect of blood contamination on the compressive strength of three calcium silicate-based cements. *Australian Endodontic Journal*, 44(3), 255–259. doi:10.1111/aej.12227
- Shim, E., Son, J. W., Kwon, J., Kim, H.-J., Jang, J.-H., Chang, S. W., & Oh, S. (2025). Retrieval of AH Plus Bioceramic and Ceraseal Versus AH Plus in Endodontic Retreatment. *Journal of Clinical Medicine*, 14(6), 1826. doi:10.3390/jcm14061826
- Shokouhinejad, N., Nekoofar, M. H., Pirmoazen, S., Shamshiri, A. R., & Dummer, P. M. H. (2016). Evaluation and Comparison of Occurrence of Tooth Discoloration after the Application of Various Calcium Silicate-based Cements: An

- Ex Vivo Study. *Journal of Endodontics*, 42(1), 140–144.
doi:10.1016/j.joen.2015.08.034
- Silujjai, J., & Linsuwanont, P. (2017). Treatment Outcomes of Apexification or Revascularization in Nonvital Immature Permanent Teeth: A Retrospective Study. *Journal of Endodontics*, 43(2), 238–245.
doi:10.1016/j.joen.2016.10.030
- Silva Almeida, L. H., Moraes, R. R., Morgental, R. D., & Pappen, F. G. (2017a). Are Premixed Calcium Silicate-based Endodontic Sealers Comparable to Conventional Materials? A Systematic Review of In Vitro Studies. *Journal of Endodontics*, 43(4), 527–535.
doi:10.1016/j.joen.2016.11.019
- Silva Almeida, L. H., Moraes, R. R., Morgental, R. D., & Pappen, F. G. (2017b). Are Premixed Calcium Silicate-based Endodontic Sealers Comparable to Conventional Materials? A Systematic Review of In Vitro Studies. *Journal of Endodontics*, 43(4), 527–535.
doi:10.1016/j.joen.2016.11.019
- Silva, R. A. B., Borges, A. T. N., Hernández-Gatón, P., de Queiroz, A. M., Arzate, H., Romualdo, P. C., ... Silva, L. A. B. (2019). Histopathological, histoenzymological, immunohistochemical and immunofluorescence analysis of tissue response to sealing materials after furcation perforation. *International Endodontic Journal*, 52(10), 1489–1500. doi:10.1111/iej.13145
- Singla, R., Laller, V., Gill, G. S., Jain, N., Kumar, T., & Dhillon, J. S. (2023). Comparative assessment of the outcome of complete pulpotomy using mineral trioxide aggregate and Biodentine in mature permanent mandibular molars with symptomatic irreversible pulpitis: A randomized clinical

trial with 18 months of follow-up.
doi:10.4103/jcd.jcd_170_23

- Siqueira, J. F., & Lopes, H. P. (1999). Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *International Endodontic Journal*, 32(5), 361–369. doi:10.1046/j.1365-2591.1999.00275.x
- Slaboseviciute, M., Vasiliauskaite, N., Drukteinis, S., Martens, L., & Rajasekharan, S. (2021). Discoloration Potential of Biodentine: A Systematic Review. *Materials*, 14(22), 6861. doi:10.3390/ma14226861
- Song, W., Sun, W., Chen, L., & Yuan, Z. (2020, October 29). In vivo Biocompatibility and Bioactivity of Calcium Silicate-Based Bioceramics in Endodontics. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. Frontiers Media S.A. doi:10.3389/fbioe.2020.580954
- Song, X., Segura-Egea, J. J., & Díaz-Cuenca, A. (2023). Sol–Gel Technologies to Obtain Advanced Bioceramics for Dental Therapeutics. *Molecules*, 28(19), 6967. doi:10.3390/molecules28196967
- Soundappan, S., Sundaramurthy, J. L., Raghu, S., & Natanasabapathy, V. (2014). Biodentine versus Mineral Trioxide Aggregate versus Intermediate Restorative Material for Retrograde Root End Filling: An Invitro Study. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*, 11(2), 143–149.
- Spångberg, L. S. W., & Haapasalo, M. (2002). Rationale and efficacy of root canal medicaments and root filling materials with emphasis on treatment outcome. *Endodontic Topics*, 2(1), 35–58. doi:10.1034/j.1601-1546.2002.20104.x
- Surya Raghavendra, S., Jadhav, G. R., Gathani, K. M., & Kotadia, P. (2017). Bioceramics In Endodontics – A Review. *Journal*

of Istanbul University Faculty of Dentistry, 51(0).
doi:10.17096/jiufd.63659

- Taha, N. A., Ahmad, M. B., & Ghanim, A. (2017). Assessment of Mineral Trioxide Aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures. *International Endodontic Journal*, 50(2), 117–125. doi:10.1111/iej.12605
- Taha, Nessrin A., Abuzaid, A. M., & Khader, Y. S. (2023). A Randomized Controlled Clinical Trial of Pulpotomy versus Root Canal Therapy in Mature Teeth with Irreversible Pulpitis: Outcome, Quality of Life, and Patients' Satisfaction. *Journal of Endodontics*, 49(6), 624-631.e2. doi:10.1016/j.joen.2023.04.001
- Taha, Nessrin A., Al-Rawash, M. H., & Imran, Z. A. (2022). Outcome of full pulpotomy in mature permanent molars using 3 calcium silicate-based materials: A parallel, double blind, randomized controlled trial. *International Endodontic Journal*, 55(5), 416–429. doi:10.1111/iej.13707
- Taha, Nessrin A., Hamdan, A. M., & Al-Hiyasat, A. S. (2022). Coronal discoloration induced by calcium silicate-based cements used in full pulpotomy in mature permanent molars: a randomized clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 27(4), 1723–1730. doi:10.1007/s00784-022-04799-x
- Talabani, R. M., Garib, B. T., & Masaeli, R. (2020). Bioactivity and Physicochemical Properties of Three Calcium Silicate-Based Cements: An In Vitro Study. *BioMed Research International*, 2020(1). doi:10.1155/2020/9576930
- Tanomaru DDS, M. P. M., Viapiana DDS, M. P. R., & Guerreiro DDS, M. P. J. (2016). From MTA to New Biomaterials Based on Calcium Silicate. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 18(1), 18. doi:10.15517/ijds.v18i1.23483

- Tay, F. R., Pashley, D. H., Rueggeberg, F. A., Loushine, R. J., & Weller, R. N. (2007). Calcium Phosphate Phase Transformation Produced by the Interaction of the Portland Cement Component of White Mineral Trioxide Aggregate with a Phosphate-containing Fluid. *Journal of Endodontics*, 33(11), 1347–1351. doi:10.1016/j.joen.2007.07.008
- 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. *International Endodontic Journal*, 54(5), 712–735. doi:10.1111/iej.13467
- Tolibah, Y. A., Kouchaji, C., Lazkani, T., Ahmad, I. A., & Baghdadi, Z. D. (2022). Comparison of MTA versus Biodentine in Apexification Procedure for Nonvital Immature First Permanent Molars: A Randomized Clinical Trial. *Children*, 9(3), 410. doi:10.3390/children9030410
- Tong, H. J., Rajan, S., Bhujel, N., Kang, J., Duggal, M., & Nazzal, H. (2017). Regenerative Endodontic Therapy in the Management of Nonvital Immature Permanent Teeth: A Systematic Review—Outcome Evaluation and Meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 43(9), 1453–1464. doi:10.1016/j.joen.2017.04.018
- Torabinejad, M., & Ford, T. R. P. (1996). Root end filling materials: a review. *Dental Traumatology*, 12(4), 161–178. doi:10.1111/j.1600-9657.1996.tb00510.x
- Torabinejad, M., Hong, C., Lee, S., Monsef, M., & Pittford, T. (1995). Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *Journal of Endodontics*, 21(12), 603–608. doi:10.1016/S0099-2399(06)81112-X
- Torabinejad, M., Hong, C., McDonald, F., & Pittford, T. (1995). Physical and chemical properties of a new root-end filling

- material. *Journal of Endodontics*, 21(7), 349–353. doi:10.1016/S0099-2399(06)80967-2
- Torabinejad, M., Parirokh, M., & Dummer, P. M. H. (2018). Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview – part II: other clinical applications and complications. *International Endodontic Journal*, 51(3), 284–317. doi:10.1111/iej.12843
- Torabinejad, M., Watson, T. F., & Pitt Ford, T. R. (1993). Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *Journal of Endodontics*, 19(12), 591–595. doi:10.1016/S0099-2399(06)80271-2
- Torabinejad, Mahmoud, & Chivian, N. (1999). Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics*, 25(3), 197–205. doi:10.1016/S0099-2399(99)80142-3
- Torabinejad, Mahmoud, Higa, R. K., McKendry, D. J., & Pitt Ford, T. R. (1994). Dye leakage of four root end filling materials: Effects of blood contamination. *Journal of Endodontics*, 20(4), 159–163. doi:10.1016/S0099-2399(06)80326-2
- Torabinejad, Mahmoud, Smith, P. W., Kettering, J. D., & Pitt Ford, T. R. (1995). Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *Journal of Endodontics*, 21(6), 295–299. doi:10.1016/S0099-2399(06)81004-6
- Trope, M. (2010). Treatment of the Immature Tooth with a Non-Vital Pulp and Apical Periodontitis. *Dental Clinics of North America*, 54(2), 313–324. doi:10.1016/j.cden.2009.12.006
- Ürkmez, E. Ş., & Pınar Erdem, A. (2020). Bioactivity evaluation of calcium silicate-based endodontic materials used for

- apexification. *Australian Endodontic Journal*, 46(1), 60–67. doi:10.1111/aej.12367
- Üstün, Y., S. Topçuoğlu, H., Akpek, F., & Aslan, T. (2015). The effect of blood contamination on dislocation resistance of different endodontic reparative materials. *Journal of Oral Science*, 57(3), 185–190. doi:10.2334/josnurd.57.185
- Vital Pulp Therapy for Endodontic Treatment of Mature Teeth: A Review of Clinical Effectiveness, Cost-Effectiveness, and Guidelines.* (2019).
- von Arx, T., Jensen, S. S., Hänni, S., & Friedman, S. (2012). Five-Year Longitudinal Assessment of the Prognosis of Apical Microsurgery. *Journal of Endodontics*, 38(5), 570–579. doi:10.1016/j.joen.2012.02.002
- Waltimo, T., Trope, M., Haapasalo, M., & Ørstavik, D. (2005). Clinical Efficacy of Treatment Procedures in Endodontic Infection Control and One Year Follow-Up of Periapical Healing. *Journal of Endodontics*, 31(12), 863–866. doi:10.1097/01.don.0000164856.27920.85
- Wang, H. H., Sarmast, N. D., Shadmehr, E., Angelov, N., Shabahang, S., & Torabinejad, M. (2018). Application of Enamel Matrix Derivative (Emdogain) in Endodontic Therapy: A Comprehensive Literature Review. *Journal of Endodontics*, 44(7), 1066–1079. doi:10.1016/j.joen.2018.02.012
- Wang, Y., Zhao, Y., & Ge, L. (2014). Effects of the enamel matrix derivative on the proliferation and odontogenic differentiation of human dental pulp cells. *Journal of Dentistry*, 42(1), 53–59. doi:10.1016/j.jdent.2013.10.020
- Wang, Z. (2015). Bioceramic materials in endodontics. *Endodontic Topics*, 32(1), 3–30. doi:10.1111/etp.12075

- Ward, J. (2002). Vital Pulp Therapy In Cariously Exposed Permanent Teeth And Its Limitations. *Australian Endodontic Journal*, 28(1), 29–37. doi:10.1111/j.1747-4477.2002.tb00364.x
- Watts, J. D., Holt, D. M., Beeson, T. J., Kirkpatrick, T. C., & Rutledge, R. E. (2007). Effects of pH and Mixing Agents on the Temporal Setting of Tooth-colored and Gray Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics*, 33(8), 970–973. doi:10.1016/j.joen.2007.01.024
- Wigler, R., Kaufman, A. Y., Lin, S., Steinbock, N., Hazan-Molina, H., & Torneck, C. D. (2013). Revascularization: A Treatment for Permanent Teeth with Necrotic Pulp and Incomplete Root Development. *Journal of Endodontics*, 39(3), 319–326. doi:10.1016/j.joen.2012.11.014
- Wolters, W. J., Duncan, H. F., Tomson, P. L., Karim, I. E., McKenna, G., Dorri, M., ... van der Sluis, L. W. M. (2017). Minimally invasive endodontics: a new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *International Endodontic Journal*, 50(9), 825–829. doi:10.1111/iej.12793
- Youness, R. A., Tag El-deen, D. M., & Taha, M. A. (2023). A Review on Calcium Silicate Ceramics: Properties, Limitations, and Solutions for Their Use in Biomedical Applications. *Silicon*, 15(6), 2493–2505. doi:10.1007/s12633-022-02207-3
- Yune, J.-Y., Lee, D., & Kim, S.-Y. (2023). The Combined Effects of Hydraulic Calcium Silicate Cement and Enamel Matrix Derivative Regarding Osteogenic and Dentinogenic Differentiation on Human Dental Pulp Stem Cells. *Materials*, 16(11), 4003. doi:10.3390/ma16114003

- Zamparini, F., Prati, C., Taddei, P., Spinelli, A., Di Foggia, M., & Gandolfi, M. G. (2022). Chemical-Physical Properties and Bioactivity of New Premixed Calcium Silicate-Bioceramic Root Canal Sealers. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(22), 13914. doi:10.3390/ijms232213914
- Zanjad, S. R., Justin, R. M., Patil, P. N., Sarda, A. S., Srivastava, H. M., & Darade, L. D. (2023). Comparison of Fracture Resistance of Simulated Immature Teeth Using Four Different Commercially Available Apexification Materials - An in Vitro Study. *Indian Journal of Dental Research*, 34(1), 75–79. doi:10.4103/ijdr.ijdr_763_22
- Zhang, W., Li, Z., & Peng, B. (2009). Assessment of a new root canal sealer's apical sealing ability. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 107(6), e79–e82. doi:10.1016/j.tripleo.2009.02.024
- Zhekov, K., & Stefanova, V. P. (2021). Definition and Classification of Bioceramic Endodontic Sealers. *Folia Medica*, 63(6), 901–904. doi:10.3897/folmed.63.e58912
- Zhou, H., Shen, Y., Zheng, W., Li, L., Zheng, Y., & Haapasalo, M. (2013). Physical Properties of 5 Root Canal Sealers. *Journal of Endodontics*, 39(10), 1281–1286. doi:10.1016/j.joen.2013.06.012
- Zordan-Bronzel, C. L., Esteves Torres, F. F., Tanomaru-Filho, M., Chávez-Andrade, G. M., Bosso-Martelo, R., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2019). Evaluation of Physicochemical Properties of a New Calcium Silicate-based Sealer, Bio-C Sealer. *Journal of Endodontics*, 45(10), 1248–1252. doi:10.1016/j.joen.2019.07.006

ENDODONTİDE PERİAPİKAL CERRAHİ

Tunahan DÖKEN¹

1. GİRİŞ

Endodontik tedavinin amacı apikal periodontitisin önlenmesi ve ortadan kaldırılmasıdır. Yüksek başarı oranlarına karşın bazen kök kanal tedavilerinde başarısızlıklar görülebilir. Kök kanal tedavisi sonrası iyileşmeyen persiste veya refrakte periradiküler patolojilerde periapikal cerrahi gerekebilir (Karabucak & Setzer, 2007). En sık görülen başarısızlık nedenleri apikal bölgenin karmaşık bir kök anatomisine sahip olması ve mikrobiyal floranın kök kanallarından yeterince temizlenmemiş olmasıdır (P. R. Nair, Sjögren, Krey, Kahnberg, & Sundqvist, 1990). Bunlara ek olarak ekstaradiküler enfeksiyonlar, apikal kök yüzeyindeki bakteriyel plak veya lezyonun içindeki bakterilerin elimine edilememesi sayılabilir (P. R. Nair, 1987; Ricucci & Siqueira Jr, 2008; Sjögren, Happonen, Kahnberg, & Sundqvist, 1988; Sunde et al., 2003; Tronstad, Barnett, & Cervone, 1990).

Son 150 yılda cerrahi endodontik müdahale, dişlerin ağızda sağlıklı bir şekilde tutulmasında önemli bir tedavi yöntemi olarak ortaya çıkmıştır (J. L. Gutmann & Harrison, 1991). 1884'te John Farrar, kök ameliyatının “tüm nedeni ortadan kaldıran ve kalıcı bir tedaviye yol açan cesur bir hareket olduğunu, yalnızca en iyisi değil, en insancıl olan” olarak tanımlanmıştır (FERARA, 1884).

Cerrahi tedavinin tarihsel odağı, kök apeksini çevreleyen yumuşak dokunun ortadan kaldırılmasını, kanal içi iritanlarının

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD., dtunahandoken@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0008-0130.

çıkarılmasını ve apikal foramenlerin uygun şekilde kapatılmasını gözardı etmekteydi. Oysa bugün, apikal cerrahiyle tüm kanal içi iritanlar ve mikroorganizmaları tamamen ortadan kaldırılarak ve öngörülebilir bir apikal tıkaç oluşturularak apikal bölgedeki iyileşme sağlanabilmektedir (Ramsey, 1982; Wu, Dummer, & Wesselink, 2006).

1.1. Periapikal Cerrahi Amacı ve Önemi

Son yıllarda endodontik tedavinin başarı oranı %90 üzerinde rapor edilmiştir (Naito, 2008; Suchina, Levine, Flaitz, Nichols, & Hicks, 2006). Bu başarı oranına rağmen, kanal tedavisi ile kurtarılamayacak durumlarda veya histolojik değerlendirmelerin yapılabilmesinde periapikal cerrahiye ihtiyaç duyulabilir (Rubinstein & Kim, 2002).

Cerrahi tekniklerin, enstrümanların ve rejeneratif doku tekniklerinin gelişmesiyle endodontik cerrahide, çekimi planlanmış dişlerin bile kurtarılması mümkün hale gelmiştir (Monaghan, Jadun, & Darcey, 2019).

Klinikte en fazla uygulanan endodontik cerrahi işlem; acil endodontik cerrahi (insizyon ve drenaj), periradiküler küretaj ve kök ucu rezeksiyonudur. Bunun dışında perforasyon tamiri, hemiseksiyon, kron boyu uzatılması, kasıtlı replantasyon, kortikal trepinasyon, marsupyalizasyon, endodontik implantlar ve rejeneratif işlemler de sayılabilir (J. L. Gutmann, 2014).

1.2. Periapikal Cerrahi Endikasyonları

1.2.1. Ortograd tedaviyi önleyen iyatrojenik veya gelişimsel anomaliler.

Klinisyenin apikal anatomiye ve periapekteki enfeksiyon alanına erişmesini önleyebilecek bazı faktörler şunlardır: basamak, kırık aletler, post restorasyonlu dişler ve ağır sklerozlu kanallar. Bu durumda apikal cerrahi mutlak endikasyonlardandır

(Dickie & McCrosson, 2014; McGuigan, Louca, & Duncan, 2013).

1.2.2.Ortograd tedavinin yeniden yapıldığında başarılı olma olasılığı düşük olduğu durumlar.

Bir kök kanal tedavisinin kalitesi hakkındaki karar, ilk tedaviyi yapan klinisyenin tekniğine ve becerisine ek olarak radyografik muayenesi yapılarak karar verilir. Ancak ilk tedaviyi gerçekleştiren klinisyen ve protokolün objektif olarak uygulandığı onaylayamadıkça, kanalların ne kadar iyi şekillendirildiğini, temizlendiğini ve tıklandığını bilmek imkansızdır. Hekim ilk tedaviden eminse ve lezyon boyutunda küçülme görülmemişse, periapikal cerrahi tercih edilen tedavi haline gelir (Monaghan et al., 2019).

1.2.3. Uzun süreli tedaviyi önleyen hasta faktörleri

Trismus hastaları, rubber-dam uygulamasını tolere edemeyen hastalar veya sadece kronik ağrı koşulları ile uzun süreli sabit kalamayan fakat yeniden tedavi edilmesi gereken hastalar olabilir. Bu vakalarda, cerrahi tedavi en mantıklı seçenek olabilir (Monaghan et al., 2019).

1.2.4.Apeks dışına çıkmış materyallerin veya enstrümanların tamamen çıkarılamaması

Ekstrüde olmuş materyaller veya aletler etrafında yabancı cisim reaksiyonları veya biyofilm gelişimi, iyileşmeyen lezyonlara neler olabilir. Bunlar kanal sistemi yoluyla çıkarılamazsa cerrahi tek seçenek olabilir (Monaghan et al., 2019).

1.2.5.Cerrahi araştırma

Şüpheli kırık veya perforasyonun olduğu durumlarda, CBCT görüntülemesine rağmen tanı net olmayabilir. Bu vakalarda cerrahi konsülte yaklaşım çok değerli olabilir (Monaghan et al., 2019).

1.3. Periapikal Cerrahi Kontendikasyonları

1.3.1. Hekime bağlı sebepler

Yetersiz cerrahi bilgi, deneyim ve cerrahi malzeme eksikliğinde periapikal cerrahi yapılması önerilmez (J. L. Gutmann & Harrison, 1991).

1.3.2. Ameliyat öncesi tıbbi veya psikolojik faktörler

Dental işlem kaygısı, hastanın mevcut durumunu devam ettirmesine ve cerrahi tedaviyi istememesine neden olabilir. Hastanın onam vermemesi veya anamnezi cerrahi tedaviyi kontrendike hale getirebilir (Monaghan et al., 2019).

1.3.3. Dişe bağlı faktörler

Oral hijyeni

Endodontik cerrahi karmaşık bir tedavi prosedürü olduğundan, periodontal ve oral hijyeni sağlanmamış hastalarda cerrahiden kaçınılmalıdır. Ağız sağlığının sağlanması ve idame ettirilmesi, cerrahi için temel bir ön koşuldur (Monaghan et al., 2019).

Anatomik yapılarla yakınlık

Kökler cerrahi alanın hazırlanması ve erişimi açısından değerlendirilmelidir. Ekarte etme zorluğu ve tükürük birikiminden dolayı alt kesici dişler, alt molar dişlere, bukkal kemiğin kalınlığından ve maxillar bölgedeki palatinal arter mevcudiyetinden dolayı ise üst dişlerin palatinal köklerine erişmek zor olabilir. Uzun kökler veya sınırlı ağız açıklığı da cerrahi tedaviyi daha karmaşık hale getirebilir (J. L. Gutmann, 2014).

Mandibular, mental ve lingual sinirler ve maksiller sinüslere yakın dişlerin köklerinde apikal lezyon görülebilir. Bu yapıları içeren potansiyel hasar riski onam belgesinde belirtilmeli

ve riskin çok yüksek olduğu düşünülürse ameliyattan kaçınılmalıdır (Monaghan et al., 2019).

Dişin periodontal durumu

Apikal cerrahi veya amputasyon yapılacak dişte periodontal destek yoksa veya yeterli değilse, cerrahiden kaçınılmalıdır (J. L. Gutmann, 2014; Monaghan et al., 2019).

Postoperatif restorasyon durumu

Koronal bölgedeki kalan doku, restorasyon yapılamayacağı kadar tahrip olmuşsa cerrahi kontrendikedir (Monaghan et al., 2019).

1.3.4. Sistemik Kontrendikasyonlar

Kök kanal tedavisine yönelik tıbbi kontrendikasyonlar oldukça sınırlıyken endodontik cerrahiye yönelik mutlak kontrendikasyonları değerlendirmek için ayrıntılı bir tıbbi öykü gereklidir. Genel olarak, ASA sınıf I ve II'deki hastalar birinci basamakta güvenle tedavi edilebilir. ASA Sınıf III hastalarının endodontik cerrahi geçirmeye uygunluğu, gerektiğinde uzman tıp meslektaşlarından gelen konsültasyon raporuna göre yapılması gerekecektir. IV. Sınıfta olanlar endodontik cerrahi için uygun görülmemektedir ve acil olmayan diş tedavileri, hastanın genel fiziksel durumunun iyileştiği bir zamana kadar ertelenmelidir (Fitz-Henry, 2011; Sankar, Johnson, Beattie, Tait, & Wijesundera, 2014).

Kanama, kesi yapılan herhangi bir ameliyat sırasında bir risktir ve bu kanama riskini artırabilecek bir dizi durum ve ilaç vardır (Tablo 1). Bu konu hakkında genel bir rehber dizi mevcut olsa da, endodontik cerrahi esnasında oluşabilecekler hakkında kesin bir bilgi bulunmamaktadır.

Tablo 1. Yaygın Kanama Riskleri ve Yönetimi

Potansiyel Kanama Riski	Endodontik Cerrahi için Yapılması Gereken
2 Antiplatelet Kullanımı, Örneğin Aspirin ve Clopidogrel	Hasta Kardiyoloğuna Konsülte Edilmelidir.
Yeni Antikoagülan İlaçlar (NOAC's), Örneğin dabigatran,rivaroxiban,apixaban	Diş Hekimi Hastaya Doz Değişikliği Önerebilir, Örneğin *Günde iki kez alınan ilaçlar için (örneğin, apixaban / dabigatran; sabah dozunun atlayın) *Günde bir kez alınan ilaçlar için (örneğin, rivaroxiban); ameliyat sonrası dört saate kadar dozu erteleyin.
Enjekte edilen Antikoagülanlar, Örneğin dalteparin,enoxaparin,tinzaparin	Hastanın Uzman Doktoruna konsültasyon yazın.
Vitamin K antagonisti, Örneğin Warfarin	Cerrahi randevuya 72 saat kala INR değerini kontrol edin. INR> 4 ise, INR stabil olana kadar tedavi ertelenmelidir
Kombine Tedaviler	Uzmanı ile Birlikte Hareket etmek
Kalıtsal / Kazanılmış kanama bozuklukları; örneğin, hemofili, von Willebrands hastalığı	Hematoloji Doktoru ile Birlikte Hareket etme

Kemik iyileşmesi periapikal cerrahide en önemli başarı faktörlerinden birisidir. Bazı durumlarda örneğin radyoterapi öyküsü olan veya bifosfonat kullanan hastalarda kemik iyileşmesi beklenen düzeyde olmayabilir. Bu tür hastalarda endodontik cerrahi yapılmaması önerilmektedir. Kanal tedavisini yenileme tedavisi mümkün değilse, çekimle endodontik cerrahi ile ilişkili riskleri tartışmak gerekir. Endodontik cerrahi bazı durumlarda çekimden daha az invaziv olabilir. Cerrahi sonrası kemik nekrozu riski konusunda herhangi bir şüphe varsa, ilgili hekime konsültasyon gerekebilmektedir (Borromeo, Tsao, Darby, & Ebeling, 2011).

Steroid tedavisi gören hastalarda, tedavi korkusunun neden olduğu fizyolojik stres seviyesine bağlı olarak diş tedavisi esnasında artan adrenal kriz vakaları bildirilmiştir. Bu sebeple hastalarda steroid dozu düzenlemesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Endodontik cerrahi gibi minör oral cerrahi prosedürleri için, hastanın sabah steroid dozunu alması ve ardından işlemde bir saat önce çift doz alması ve işlemde sonraki günde yine çift doz alması önerilir (Gibson & Ferguson, 2004; Henderson, 2014).

Endodontik Cerrahi için kardiyovasküler hastalıklarda ise hasta kontrol altındaysa herhangi bir kontrendikasyon yoktur. Yakın zamanda miyokard enfarktüsü geçirmiş veya ciddi derecede hipertansif olduğu saptanan hastalarda durumları stabil hale gelene kadar tedavileri ertelenmelidir. Geçerli literatür, cerrahi yapılacak hastalarda rutin olarak antibiyotik profilaksisini önermemektedir. Bununla birlikte, endodontik cerrahi yüksek riskli bir prosedür olarak görüldüğünden tek doz antibiyotik profilaksisi düşünülebilir. NICE(The National Institute for Health and Care Excellence) yönergelerine ilişkin son uygulama tavsiyeleri, kalp kapağı protezi, endokardit hikayesi veya konjenital kalp hastalığı gibi belirli durumları olan hastalarda, antibiyotik profilaksisinin kardiyologlarıyla konsülte edilmesi önerilmektedir (Cahill, Dayer, Prendergast, & Thornhill, 2017; Thornhill et al., 2016).

2. PERİAPİKAL CERRAHİ PLANLANMASI

2.1. Preoperatif İşlemler

2.1.1. Ağız içi ve dental muayene

Hastaya cerrahi endikasyon koymadan önce doğru bir ayırıcı tanı belirlemek gerekir. Pulpal, periodontal ve periapikal ağrıların hepsinin karakteristik tanımlayıcı özellikleri vardır fakat bazen nöropatik, sinüzitik veya idiyopatik ağrı gibi diş ağrısını taklit edebilecek daha nadir görülen rahatsızlıkları da dikkate almak gerekir. Bazı durumlarda kesin tanıyı tespit etmek için odontojenik ağrı ile uyumlu olmayan belirti ve semptomları da

dikkatle takip etmek gerekmektedir (Ghurye & McMillan, 2017; Setzer, Shah, Kohli, Karabucak, & Kim, 2010).

Endodontik cerrahiye karar vermeden önce detaylı bir ekstra oral ve intraoral muayene yapılmalıdır. Hastanın şikayetleri dinlenmeli, klinik ve radyolojik muayenesi dikkatlice yapılmalıdır. Ekstraoral muayenede, boyun veya yüzdeki şişlik, lenfadenopati varlığı kontrol edilmelidir. Bu belirtiler persiste endodontik hastalık tanısını destekleyebilir. Ağız içi muayenede hastanın ağız hijyeni, oklüzyonu, periodontal muayenesi, çürük veya diş yüzeyi kaybının da ayrıntıları değerlendirilmelidir. Daha önce endodontik tedavi görmüş dişleri değerlendirirken; bukkal, lingual veya palatinal bölgede sinüs yollarının varlığı, bukkal sulkusta palpasyonda ağrı, mobilite, perküsyon varlığı, kök kırığını düşündüren derin cep varlığı, pdl aralığında genişleme, koronal restorasyonun kalitesi ve dişin periodontal durumu incelenmelidir (Monaghan et al., 2019).

2.1.2. Premedikasyon

Hastada cerrahi işleme başlanmadan önce oral mikroorganizmaları azaltmak için %0.12-0.2'lik klorheksidin içeren ağız gargarası ile işlemden 1 gün önce, işlemden hemen önce ve işlemden sonra hastaya 3 kez gargara yaptırılmalıdır.

Herhangi bir kontrendikasyon yoksa hasta işlemden 1 gün önce veya 1 saat önce nonsteroid antienflamatuar alabilir. Eğer herhangi bir duyarlılık yoksa en iyi antienflamatuar etki 6 saatlik arayla 800 mg ibuprofen verilmesiyle elde edilmektedir. Buna alternatif olarak 500 mg parasetamola ek olarak 400 mg ibuprofen 4-6 saat aralıklarla kullanılabilir. İşlem sonrası aynı ilaç prosedürü uygulanmalıdır (J. Gutmann & Harrison, 1994).

2.1.3. Magnifikasyon ve Büyütme

Günümüzde operasyon mikroskopları, endodontik cerrahinin başarısı için gerekli olan dezenfeksiyon, debridman

kaldırılması, membran yerleşimi, kök kanalı tıkaması ve endodontik cerrahi adımlarının etkinliğini görselleştirmek için gerekli hale gelmiştir. Etkili görselleştirme yeteneğinin yanı sıra mikroskoplara eklenen LED ışık varlığıyla refraktör ışığına duyulan ihtiyaç azalmakta ve operasyon sahası daha iyi aydınlatılmaktadır (Zuolo, Ferreira, & Gutmann, 2000). Bu gelişmelere ek olarak mikroskoplara kamera eklenmesiyle;

1. Kemik ve kök arasındaki ayrımı kolaylaştıran cerrahi alanın daha titiz bir şekilde incelenmesi sağlanır.
2. Granülasyon dokusunun çıkarılması, vertikal veya horizontal kırıkların araştırılması sağlanır.
3. Apikal preparasyon ve retrograd obtürasyonu görme sağlanır.
4. Daha küçük cerrahi alana gereksinim duyulur.
5. Ameliyat boyunca ergonomik duruş sağlanır.
6. Hasta kayıtları, öğretim ve araştırma için görüntü yakalanır ve arşivlenebilir.

2.2. Operatif İşlemler

2.2.1. Lokal Anestezi

Ağrı korkusu işlem sırasında yaşanan ağrı seviyesini arttırmaya neden olacağından dikkat edilmelidir. Lokal anestezi sadece cerrahi esnasındaki ağrı rahatlığını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda merkezi duyarlılığı azaltarak post operatif ağrıyı da azaltır (Firestone, Scheurer, & Bürgin, 1999; Khan et al., 2007).

Sık Kullanılan Lokal anesteziğin özellikleri(Jadun, Monaghan, & Darcey, 2019)					
Sık kullanılan ilaçlar	Anestezi solüsyon	Vazokonstriktör	Başlangıç hızı	Etki süresi	Apikal cerrahide kullanımı?
Lignospan, Xylocaine, Utilcaine	Lidocaine 2%	Adrenaline (1:80,000; 1:100,000)	Hızlı	1.5-2 Saat	EVET
Septanest, Espestesin, Bartinest	Articaine 4%	Adrenaline (1:100,000; 1:200,000)	Hızlı	1.5-2 Saat, Yumuşak doku anestezi ile 3-4 saat	EVET
Scandonest	Mepivacaine 3%	YOK	Yavaş	3Saat	HAYIR
Citanest	Prilocaine 3%	Felypressin (0.54 miligram)	Hızlı	2-3 Saat	HAYIR
Vivacaine	Bupivacain	Adrenaline (1:200,000)	Yavaş	10 Saat	EVET

2.2.2. Flep dizaynı ve İnsizyon

Flep planlaması yaparken iyi radyografik görüntüler gereklidir. Riskli alanlarda sinirlere ve kan damarlarına zarar vermemek için, CBCT isteyerek anatomiye incelemek mantıklı olacaktır. CBCT mevcut değilse, radyografiler, anatomik bilgi ve tecrübe kullanılmalıdır (Jadun et al., 2019). Flebin pozisyonu ve büyüklüğü minimal invaziv olacak yaklaşımla planlanmalıdır, ancak klinisyene osteotomi, apikektomi, dezenfeksiyon, debridman, apeksin tıkanması, membranlar ve malzemelerin yerleştirilmesi için cerrahi bölgeye tam erişim ve görselleştirme sağlayacak kadar boyutlandırılmalıdır. Flep tasarımının seçimi, yumuşak dokuların tüm kısımlarına yeterli bir kan desteğinin sağlanmasına izin vermelidir. Submukozal kan damarlarının paralel yolu nedeniyle dikey rahatlatma insizyonları dişlerin uzun eksenine yakın olmalıdır (Mac Phee & Cowley, 1975). Flep, submukoza ve bağlı dişeti birleşimindeki dikey rahatlatma

insizyonundan başlayarak keskin elevatörler kullanılarak kaldırılmalıdır. Eleve etme işlemi periosteumu da içermelidir. Periosteumun bütünlüğü korunduğunda, bağ doku hücrelerine karşı bir bariyer sağlanır ve bu hücrelerin kemik boşluğuna girmesi önlenir. Böylece kavite boşluğunun tamamen kemikle dolması sağlanır (Isidor, Karring, Nyman, & Lindhe, 1985). Flep kaldırılmasında Temel ilkeler:

- ✓ Papillaya asla dokunulmamalı
- ✓ İnsizyon sağlam kemik dokusu üzerinde olmalıdır.
- ✓ Epitel yüzeyine dik olarak insizyon gerçekleştirilmelidir, aksi halde yara kenarlarında nekroz meydana gelebilir.
- ✓ İnsizyon sırasında bölgedeki vital anatomik yapılar korunmalıdır.
- ✓ Dokular bistüriyle devamlı ve eşit bir baskı uygulanarak kesilmelidir.
- ✓ Operasyonun şekline ve bölgedeki dokuya uygun bistüri sapı ve bıçağı seçilmelidir.
- ✓ Flep tabanı, flebin apikal bölgesinde daha geniş olmalıdır.

Geleneksel flepler rahatlatıcı insizyonlarla yapılan yüzey sayısına göre sınıflandırılabilir. Tam kalınlık flepler ameliyat sonrası dişeti çekilmesi riskini artırabilir (Isidor et al., 1985).

2.2.3. Flep Şekilleri

Zarf flep, sık kullanılan bir flep tipidir. Serbest dişeti insizyonla bukkal ve linguale doğru esnetilerek kaldırılır. Vertikal insizyon sayısına göre 3 köşeli ve dört köşeli flep olarak isimlendirilir.

Üçgen cerrahi flep, ilgili dişin en az bir diş mezial ve distaline uzanan yatay insizyon, bir rahatlatıcı dikey insizyondan oluşur. Genellikle, rahatlatıcı insizyon flebin mesial kısmında

yapılır. Bu flep tekniği söz konusu dişin çoğunlukla marjinal bölgelerini ortaya çıkarır ve apikal bölgeye yeterli erişim sağlamaz. Üçgen flep esas olarak, servikal kök rezorpsiyonları, perforasyonlar ve çok kısa kök rezeksiyonları gibi servikal ve orta kök kısımlarındaki problemlerin düzeltilmesi için endikedir (Mörmann, Meierand, & Firestone, 1979).

Üçgen bir flep, rahatlatıcı insizyondan uzak en az iki diş uzanan bir mesial dikey ve sulküler insizyonla oluşturulur (Mörmann et al., 1979).

Dikdörtgen ve trapez kapaklar, ikinci bir dikey rahatlatıcı insizyon ile üçgen kapağın bir uzantısıdır. Dikdörtgen flepler endodontik cerrahide en sık kullanılan fleplerdir (Mörmann et al., 1979). Her iki flep de apikal bölgeye mükemmel erişim sağlar. Taban, flebin proksimal ucundan daha geniş olduğunda, mobilize dokunun kanlanması en iyidir.

Semilunar insizyonu, daha büyük cerrahi prosedürlerde, özellikle de maksiller ön alanda en sık kullanılan insizyon tasarımıdır. Bu insizyonun avantajı papilleri ve dişetini korumasıdır. Ancal cerrahi bölgeye yeterli bir erişime izin vermediği ve yaranın iyileşmesinde uzun süreli inflamasyon ve skar oluşumu ile ilişkili olduğu için artık kullanılmamaktadır (Kramper, Kaminski, Osetek, & Heuer, 1984).

Luebke-Ochsenbein Flebi olarak da bilinen sınırlı mukoperiosteal doku flepleri marjinal ve interdental diş etini içermezler. Bu fleplerin vertikal insizyonları hem yapışık dişeti hem de alveolar mukoza içerir. Bu flebin seçilebilmesi için en az 2 mm yapışık dişeti genişliği olmalıdır. Genellikle maksiller anterior ve posterior dişlerde, doku inflamasyonu veya estetik kaygı bulunması durumunda tercih edilmelidir. Anatomik faktörler ve ilgili bölgedeki kollajen liflerin kesilmesi nedeniyle tercih edilmemektedir (Ainamo & Löe, 1966; Velvart, 2002).

2.2.4. Osteotomi

Osteotomi, apekse doğrudan erişim sağlamak için kortikal ve süngerimsi kemiğin çıkarılmasını içerir. Birçok durumda, kemikte pencere şeklinde(dehiscence), kök apeksine doğrudan erişim sağlayan bir yıkım olabilir. Pencere şeklinde yıkım olmayan durumlarda, apekse erişmek için kemikte bir kavite hazırlanmalıdır. Bu, geleneksel su soğutması altında frezle yapılacağı gibi gelişen modern teknikler, piezo ultrasonik cihazların veya ultrasonik anguldruva başlıklarının kullanılması ile de hazırlanabilir. Modern teknikler ile hazırlanan preparasyonlarda daha iyi görüş alanı ve daha az kemik yıkımı görülür (Monaghan et al., 2019). Bir mikro-explorerle, ilk önce apeksin tespit edilmesi ve kortikal plakanın delinmesine yardımcı olmak için kullanılabilir. Modern cerrahi teknikler, daha hızlı iyileştiği için genellikle 4-5 mm gibi daha küçük osteotomiler önerir. Eğer apekse tam olarak erişilemiyorsa, kavite daha fazla genişletilmelidir (Rubinstein & Kim, 1999). Sekestrasyon riskini azaltmak için kavite kenarları köreltilmelidir. Kemik çekilmesi riskini azaltmak ve diş için uygun periodontal destek sağlamak için kavite hazırlanmasından sonra boşlukta en az 2-3 mm krestal kemik kalmalıdır (Jadun et al., 2019).

Kemikte preparasyon yapılırken frezin çalışmasına bağlı oluşacak ısı üretimi, kemikte geri dönüşümsüz hasara neden olabilir. Yapılan çalışmalara göre bu sınır 47 santigrat derece ve üzeridir. Doğrudan kesme yüzeyine uygulanan su veya salinin, soğutma sıvısı olarak kullanılması, kemikteki sıcaklık artışını azaltır ve kalıcı hasarı sınırlar veya önler. Dokuda buna ek olarak lokal anestezik maddenin (adrenalinin) oluşturduğu vazokonstriktif etki sebebiyle oluşan kan akımındaki azalma, kemikteki hasara karşı kemiği daha savunmasız bırakabilir (Matthews & Hirsch, 1972).

2.2.5. Küretaj ve Apikal Rezeksiyon

Apikal kök açığa çıktığında, öncelikle kök yüzeyi kırık belirtisi açısından incelenmelidir. Radyografik olarak veya inspeksiyonda herhangi bir komplikasyon görülüyorsa, apekte kökün 3 mm'lik kısmı rezeke edilmelidir. Bu 3mm'lik alan, apikal delta ve dezenfekte edilmesi zor olan yan kanalların çoğunu içeren bir bölgedir. Anatomik varyasyonlar, kırık aletler veya perforasyonlar mevcut ise, dişin stabil kalması için yeterli kron/kök oranına sahip olması koşuluyla, kökün 3 mm'den fazlası rezeke edilebilir (Kim, Pecora, & Rubinstein, 2001; Vertucci, 1984).

Kök ucu, dişin uzun eksenine dik olarak rezeke edilmelidir. Kalan alan, radiküler mikroorganizmaların ve besin artıklarının ulaşımına izin vereceğinden ve daha fazla dentin tübülü açığa çıkaracağından apikalin eğimli rezeksiyonu önerilmez. Kök ucu rezeksiyonu, geleneksel cerrahi el aletleri, ultrasonik ve piezo uçları olmak üzere üç temel cihazla yapılır. Piezo'nun rezeksiyon, osteotomi ve apikal preparasyon için kullanılması, cerrahi aletlerin azaltılması ve preparasyonu dahil birçok avantaj sağlar.(Jadun et al., 2019)

Kök rezeksiyonunu takiben kalan kemik doku, obturasyona izin vermek için kuru tutulmalıdır. Bu tür küçük osteotomilerin önemli bir dezavantajı, kanama olması durumunda, kalan dokunun hızla doldurularak kök ucu dolumunun sertleşmesini önlemelidir. Hemostazın sağlanmasında vazokonstriktör içeren lokal bir anestezi veya ferrik sülfatlı pamuk pelet veya gazlı bez ile sabit basınç da dahil olmak üzere çeşitli tedavi seçenekleri uygulanır. (Witherspoon & Gutmann, 1996).

2.2.6. Retrograd Dolgu Materyalleri

Kök ucu hazırlandıktan ve uygun hemostaz sağlandıktan sonra, kök ucu boşluğu tıkamaya ve kapatılmaya hazırdır.

Retrograd bir obtürasyon materyalinin seçilmesinde birincil husus, uzun süreli biyoyumluluk, stabilite ve uzaklaştırma kolaylığıdır. Restoratif materyallerin kök retrograd obtürasyon materyalleri olarak tarihsel kullanımına rağmen, artık altın standart biyoseramikler ve MTA'dır (Cohen, Burns, Walton, & Torabenejad, 1998; Dorn & Gartner, 1990).

MTA, 1990'larda endodontik cerrahi için kök ucu dolgu malzemesi olarak Loma Linda Üniversitesi'nde geliştirilmiştir ve şimdi birçok klinik ortamında kullanılmaktadır. MTA diğer materyallerle karşılaştırıldığında üstün biyoyumluluk gösterir ve periradiküler dokularla temas ettiğinde doku yenilenmesini destekler (Bodrumlu, 2008; Torabinejad & Chivian, 1999). Son zamanlarda, trikalsiyum silikat çimentosuna dayanan bir dizi yeni biyoaktif malzeme, çözelti içinde kalsiyum hidroksit salma kabiliyetleri nedeniyle potansiyel kök ucu dolgu malzemeleri olarak tanıtılmıştır (Grech, Mallia, & Camilleri, 2013). Bu malzemeler arasında Biodentine, Bioaggregate ve EndoSequence Kök Onarım Malzemesi(ERRM) ve EndoSequence Kök Onarım Patı (ERRP) bulunur. Üreticilere göre, hem ERRM hem de ERRP, önceden karıştırılmış, homojen ve tutarlı malzemeler olarak üretilmektedir. Fiziksel özellikleri arasında boyutsal kararlılık, yüksek mekanik bağ kuvveti, yüksek pH ve radyopak ve hidrofilik ayar özellikleri bulunur (Damas, Wheeler, Bringas, & Hoen, 2011). In vitro çalışmalar, ERRM ve ERRP'nin MTA ile istatistiksel olarak benzer sitotoksosite seviyelerine sahip olduğunu ve bu özelliğin onları güvenli kullanım için biyoyumlu malzemeler haline getirdikleri sonucuna varmıştır (Damas et al., 2011; Hirschman, Wheeler, Bringas, & Hoen, 2012). İlave yapılan in vitro çalışmalar, biyoseramik RRM'lerin MTA'dakilere benzer şekilde antibakteriyel özelliklere ve sızdırmazlık özelliğine sahip olduğunu gösterdi (Lovato & Sedgley, 2011; U. Nair et al., 2011).

Geleneksel malzemelere kıyasla hidroksiapatit oluşumu, 3 mm'nin üzerinde uygulanan MTA ile dentin ara yüzünde daha fazla gelişir. Bununla birlikte, birçok klinisyen MTA'nın işlenmesini zor bulabilmektedir. Manüplasyon sırasında toz ve su oranı doğru bir şekilde karıştırılmalı, muhafazası üretici talimatlarına göre yapılmalıdır. Malzemelerin karıştırılması esnasında toz yavaş yavaş eklenmelidir. MTA'nın kaviteye uygulanması, bir MTA taşıyıcısı veya bir Lee bloğunun kullanılmasıyla kolaylaşır. MTA, 2-3 saatlik yeterli çalışma süresine sahiptir ve uygulamadan sonra nem gereksinimi vardır. Çevredeki kan pıhtısı tarafından sağlanan nem MTA için yeterli olmaktadır (Bodrumlu, 2008; Torabinejad, Hong, Lee, Monsef, & Ford, 1995).

2.2.7. Flebin Kapatılması

Flep kapatılmadan önce, dokular arasında herhangi bir yabancı cisim kalmaması için salin çözeltisi ile yıkanır. Yara kenarları daha sonra primer iyileşmeyi desteklemek için doğru pozisyona yakınlaştırılır. Doku kenarlarına sütur atılmadan önce pasif olarak istenen yere konumlandırılmalıdır. Yara kenarları gerilimden, yırtılmadan veya distorsiyon gibi doku travmasından korunmalıdır. Dokuların ve aletlerin dikkatli bir şekilde kullanılmasıyla bu komplikasyonlardan kaçınılabilir (Peters & Wesselink, 1997).

2.2.8. Sütür Seçimi

Dişetinde yara kenarlarını suture etmek için non-absorbe materyaller önerilir, çünkü dikişler alındıktan sonra inflamasyon süreci sona erer (Selvig, Biagiotti, Leknes, & Wikesjö, 1998). Naylon, bağırsak ve çelik dahil olmak üzere monofilament sütürler, ipek ve polyester gibi multifilament muadillerine kıyasla daha küçük bir enflamatuar reaksiyon başlatır (Lilly, Armstrong, Salem, & Cutcher, 1968). Monofilament sentetik sütürlerin en az travmatik olduğu ve en az bakteriyel tutunmaya yol açtığı

görülmektedir (Selvig et al., 1998). Kullanımı sırasında küçük çaplı bir ters kesme iğnesi gereklidir, 5/0 ortak bir seçimdir. Küçük çaplı sütürler, fazla gergin yerleştirildiğinde doku yırtılmasının aksine süturun kopma eğiliminde olmasından dolayı daha az travmaya neden olur (Burkhardt, Preiss, Joss, & Lang, 2008).

Daha sonra, epitel köprü ve kollajen çapraz bağlanmanın 21-28 saat içinde gerçekleşeceği düşünüldüğü için dikişler ameliyattan en erken 7 gün sonra çıkarılmalıdır.

2.3. Postoperatif İşlemler

2.3.1. Postoperatif Ağız Bakımı

Hastaya cerrahi sonrası öneriler ve uygulamalar, cerrahi tedavi kadar önemlidir. Ameliyat sonrası yeterli öneri almayan veya bu önerileri göz ardı eden hastalarda komplikasyonlar görülebilir. Sözlü ve yazılı talimatların kritik, erken doku iyileşmesi döneminde hastanın aktivitelerini açıkça tanımlamasını sağlamak cerrahın sorumluluğundadır.

KAYNAKÇA

- Ainamo, J., & Löe, H. (1966). Anatomical characteristics of gingiva. A clinical and microscopic study of the free and attached gingiva. *The Journal of Periodontology*, 37(1), 5-13.
- Bodrumlu, E. (2008). Biocompatibility of retrograde root filling materials: a review. *Australian Endodontic Journal*, 34(1), 30-35.
- Borromeo, G. L., Tsao, C., Darby, I., & Ebeling, P. (2011). A review of the clinical implications of bisphosphonates in dentistry. *Australian dental journal*, 56(1), 2-9.
- Burkhardt, R., Preiss, A., Joss, A., & Lang, N. P. (2008). Influence of suture tension to the tearing characteristics of the soft tissues: an in vitro experiment. *Clinical oral implants research*, 19(3), 314-319.
- Cahill, T. J., Dayer, M., Prendergast, B., & Thornhill, M. (2017). Do patients at risk of infective endocarditis need antibiotics before dental procedures? *bmj*, 358, j3942.
- Cohen, S., Burns, R. C., Walton, R., & Torabeniadj, M. (1998). Pathways of the Pulp (1). *Learning*, 30, 10.
- Damas, B. A., Wheeler, M. A., Bringas, J. S., & Hoen, M. M. (2011). Cytotoxicity comparison of mineral trioxide aggregates and EndoSequence bioceramic root repair materials. *Journal of endodontics*, 37(3), 372-375.
- Dickie, J., & McCrosson, J. (2014). Post removal techniques part 1. *Dental update*, 41(6), 490-498.
- Dorn, S. O., & Gartner, A. H. (1990). Retrograde filling materials: a retrospective success-failure study of amalgam, EBA, and IRM. *Journal of endodontics*, 16(8), 391-393.

- FERARA, J. (1884). Radical and heroic treatment of alveolar abscess by amputation of roots of teeth. *Dent Cosm*, 26, 79.
- Firestone, A. R., Scheurer, P. A., & Bürgin, W. B. (1999). Patients' anticipation of pain and pain-related side effects, and their perception of pain as a result of orthodontic treatment with fixed appliances. *The European Journal of Orthodontics*, 21(4), 387-396.
- Fitz-Henry, J. (2011). The ASA classification and peri-operative risk. *The Annals of The Royal College of Surgeons of England*, 93(3), 185-187.
- Ghurye, S., & McMillan, R. (2017). Orofacial pain—an update on diagnosis and management. *British Dental Journal*, 223(9), 639.
- Gibson, N., & Ferguson, J. (2004). Steroid cover for dental patients on long-term steroid medication: proposed clinical guidelines based upon a critical review of the literature. *British Dental Journal*, 197(11), 681.
- Grech, L., Mallia, B., & Camilleri, J. (2013). Characterization of set Intermediate Restorative Material, B iodontine, B ioaggregate and a prototype calcium silicate cement for use as root-end filling materials. *International endodontic journal*, 46(7), 632-641.
- Gutmann, J., & Harrison, J. (1994). Surgical endodontics. St. Louis: Ishiyaku EuroAmerica. In: Inc.
- Gutmann, J. L. (2014). Surgical endodontics: past, present, and future. *Endodontic Topics*, 30(1), 29-43.
- Gutmann, J. L., & Harrison, J. W. (1991). *Surgical endodontics*: Blackwell scientific publications Boston.

- Henderson, S. (2014). What steroid supplementation is required for a patient with primary adrenal insufficiency undergoing a dental procedure? *Dental update*, 41(4), 342-344.
- Hirschman, W. R., Wheeler, M. A., Bringas, J. S., & Hoen, M. M. (2012). Cytotoxicity comparison of three current direct pulp-capping agents with a new bioceramic root repair putty. *Journal of endodontics*, 38(3), 385-388.
- Isidor, F., Karring, T., Nyman, S., & Lindhe, J. (1985). New attachment–reattachment following reconstructive periodontal surgery. *Journal of clinical periodontology*, 12(9), 728-735.
- Jadun, S., Monaghan, L., & Darcey, J. (2019). Endodontic microsurgery. Part two: armamentarium and technique. *British Dental Journal*, 227(2), 101-111.
- Karabucak, B., & Setzer, F. (2007). Criteria for the ideal treatment option for failed endodontics: surgical or nonsurgical? *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ: 1995)*, 28(7), 391-397; quiz 398, 407.
- Khan, A. A., Owatz, C. B., Schindler, W. G., Schwartz, S. A., Keiser, K., & Hargreaves, K. M. (2007). Measurement of mechanical allodynia and local anesthetic efficacy in patients with irreversible pulpitis and acute periradicular periodontitis. *Journal of endodontics*, 33(7), 796-799.
- Kim, S., Pecora, G., & Rubinstein, R. (2001). Osteotomy and apical root resection. *Color atlas of Microsurgery in Endodontics. Philadelphia: WB Saunders*, 85-94.
- Kramper, B. J., Kaminski, E. J., Osetek, E. M., & Heuer, M. A. (1984). A comparative study of the wound healing of

- three types of flap design used in periapical surgery. *Journal of endodontics*, 10(1), 17-25.
- Lilly, G. E., Armstrong, J. H., Salem, J. E., & Cutcher, J. L. (1968). Reaction of oral tissues to suture materials: Part II. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 26(4), 592-599.
- Lovato, K. F., & Sedgley, C. M. (2011). Antibacterial activity of endosequence root repair material and proroot MTA against clinical isolates of *Enterococcus faecalis*. *Journal of endodontics*, 37(11), 1542-1546.
- Mac Phee, T., & Cowley, G. (1975). *Essentials of periodontology and periodontics*: Blackwell scientific publications.
- Matthews, L. S., & Hirsch, C. (1972). Temperatures measured in human cortical bone when drilling. *JBJS*, 54(2), 297-308.
- McGuigan, M., Louca, C., & Duncan, H. (2013). Clinical decision-making after endodontic instrument fracture. *British Dental Journal*, 214(8), 395.
- Monaghan, L., Jadun, S., & Darcey, J. (2019). Endodontic microsurgery. Part one: diagnosis, patient selection and prognoses. *British Dental Journal*, 226(12), 940-948.
- Mörmann, W., Meierand, C., & Firestone, A. (1979). Gingival blood circulation after experimental wounds in man. *Journal of clinical periodontology*, 6(6), 417-424.
- 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., Sjögren, U., Krey, G., Kahnberg, K.-E., & Sundqvist, G. (1990). Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron

- microscopic follow-up study. *Journal of endodontics*, 16(12), 580-588.
- Nair, U., Ghattas, S., Saber, M., Natera, M., Walker, C., & Pileggi, R. (2011). A comparative evaluation of the sealing ability of 2 root-end filling materials: an in vitro leakage study using *Enterococcus faecalis*. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 112(2), e74-e77.
- Naito, T. (2008). Single or multiple visits for endodontic treatment? *Evidence-based dentistry*, 9(1), 24.
- Peters, L. B., & Wesselink, P. R. (1997). Soft tissue management in endodontic surgery. *Dental Clinics of North America*, 41(3), 513-528.
- Ramsey, W. (1982). Hermetic sealing of root canals—the Greeks had a name for it. *Journal of endodontics*, 8(3), 100.
- Ricucci, D., & Siqueira Jr, J. F. (2008). Apical actinomycosis as a continuum of intraradicular and extraradicular infection: case report and critical review on its involvement with treatment failure. *Journal of endodontics*, 34(9), 1124-1129.
- Rubinstein, R. A., & Kim, S. (1999). Short-term observation of the results of endodontic surgery with the use of a surgical operation microscope and Super-EBA as root-end filling material. *Journal of endodontics*, 25(1), 43-48.
- Rubinstein, R. A., & Kim, S. (2002). Long-term follow-up of cases considered healed one year after apical microsurgery. *Journal of endodontics*, 28(5), 378-383.
- Sankar, A., Johnson, S., Beattie, W., Tait, G., & Wijeyesundera, D. (2014). Reliability of the American Society of Anesthesiologists physical status scale in clinical practice. *British journal of anaesthesia*, 113(3), 424-432.

- Selvig, K. A., Biagiotti, G. R., Leknes, K. N., & Wikesjö, U. M. (1998). Oral tissue reactions to suture materials. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 18(5).
- Setzer, F. C., Shah, S. B., Kohli, M. R., Karabucak, B., & Kim, S. (2010). Outcome of endodontic surgery: a meta-analysis of the literature—part 1: comparison of traditional root-end surgery and endodontic microsurgery. *Journal of endodontics*, 36(11), 1757-1765.
- Sjögren, U., Happonen, R., Kahnberg, K., & Sundqvist, G. (1988). Survival of *Arachnia propionica* in periapical tissue. *International endodontic journal*, 21(4), 277-282.
- Suchina, J. A., Levine, D., Flaitz, C. M., Nichols, C., & Hicks, M. J. (2006). Retrospective clinical and radiologic evaluation of nonsurgical endodontic treatment in human immunodeficiency virus (HIV) infection. *J Contemp Dent Pract*, 7(1), 1-8.
- Sunde, P. T., Olsen, I., Göbel, U. B., Theegarten, D., Winter, S., Debelian, G. J., . . . Moter, A. (2003). Fluorescence in situ hybridization (FISH) for direct visualization of bacteria in periapical lesions of asymptomatic root-filled teeth. *Microbiology*, 149(5), 1095-1102.
- Thornhill, M. H., Dayer, M., Lockhart, P., McGurk, M., Shanson, D., Prendergast, B., & Chambers, J. (2016). A change in the NICE guidelines on antibiotic prophylaxis. *British Dental Journal*, 221(3), 112.
- Torabinejad, M., & Chivian, N. (1999). Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*, 25(3), 197-205.
- Torabinejad, M., Hong, C.-U., Lee, S.-J., Monsef, M., & Ford, T. R. P. (1995). Investigation of mineral trioxide aggregate

- for root-end filling in dogs. *Journal of endodontics*, 21(12), 603-608.
- Tronstad, L., Barnett, F., & Cervone, F. (1990). Periapical bacterial plaque in teeth refractory to endodontic treatment. *Dental Traumatology*, 6(2), 73-77.
- Velvart, P. (2002). Papilla base incision: a new approach to recession-free healing of the interdental papilla after endodontic surgery. *International endodontic journal*, 35(5), 453-460.
- Vertucci, F. J. (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 58(5), 589-599.
- Witherspoon, D., & Gutmann, J. (1996). Haemostasis in periradicular surgery. *International endodontic journal*, 29(3), 135-149.
- Wu, M. K., Dummer, P., & Wesselink, P. (2006). Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *International endodontic journal*, 39(5), 343-356.
- Zuolo, M., Ferreira, M., & Gutmann, J. (2000). Prognosis in periradicular surgery: a clinical prospective study. *International endodontic journal*, 33(2), 91-98.

ENDODONTİ DEĞERLENDİRMELERİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com