

ENDODONTİ

ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

HAZİRAN 2026

EDİTÖR

Prof. Dr. Sadullah KAYA

İmtiyaz Sahibi / Yaşar Hız
Yayına Hazırlayan / Gece Kitaplığı

Birinci Basım / HAZİRAN 2026 - Ankara
ISBN / 978-625-321-142-4

© copyright

Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

0312 384 80 40

www.gecekitapligi.com / gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt

Bizim Büro

Sertifika No: 42488

ENDODONTİ
ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE
DEĞERLENDİRMELER

HAZİRAN 2026

EDİTÖR

Prof. Dr. Sadullah KAYA

gece
kitaplığı

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

ENDODONTİK MİKROBİYOLOJİDE KULLANILAN ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ VE DENEYSEL YÖNTEMLER

Adem ALTİN, Merve YENİÇERİ ÖZATA 7

BÖLÜM 2

ENDODONTİK TEDAVİ ÖNCESİ KORONAL YAPILANDIRMA (PRE-ENDODONTİK BUILD-UP): BİYOMEKANİK İLKELER VE GÜNCEL KLİNİK TEKNİKLER

Enver FAYDALI 21

BÖLÜM 3

ENDODONTİK AĞRIDA AKUPUNKTUR: GELENEKSEL YÖNTEMLERE ETKİLİ BİR DESTEK SAĞLANABİLİR Mİ?

Eray CEYLANOĞLU, Ali ERDEMİR, Dilek HANÇERLİOĞULLARI 39

BÖLÜM 4

ENDODONTİDE POST SÖKÜM YÖNTEMLERİ: BİYOMEKANİK İLKELER VE GÜNCEL KLİNİK TEKNİKLER

Enver FAYDALI 47

BÖLÜM 5

ENDODONTİDE YÜKSELEN BİR TREND: BİYOSERAMİKLER

Batuhan KÖKCİ, Serkan UÇMAK 67

BÖLÜM 6

VİTAL PULPA TEDAVİSİNDE PARADİGMA DEĞİŞİMİ: MEKANO-DUYARLI VE ÇOK FONKSİYONLU HİDROJEL SİSTEMLERİ

Eray CEYLANOĞLU, Dilek HANÇERLİOĞULLARI Ali ERDEMİR 85

BÖLÜM 7

ENDODONTİK PATLARDA YENİ NESİL YAKLAŞIM: BİYOSERAMİK ESASLI PATLAR REZİN ESASLI PATLARIN YERİNİ ALABİLİR Mİ?

Ayşegül Ece CABİOĞLU, Melek AKMAN 95

BÖLÜM 8

HORİZONTAL KÖK KIRIKLARINDA GÜNCEL KLİNİK YAKLAŞIM VE KONİK IŞINLI BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİNİN ROLÜ

Ceren TURAN GÖKDUMAN, Esra ARILI ÖZTÜRK 111

BÖLÜM 9

KRİYOTERAPİNİN FİZYOLOJİK TEMELLERİ VE ENDODONTİDE KULLANIMI

Mehmet Eren GÜNNER , Öznur ERASLAN 123

BÖLÜM 10

EKSOZOMLAR: DIŞ HEKİMLİĞİ VE ENDODONTİDE REJENERATİF UYGULAMALAR

Esra ARILI ÖZTÜRK , Ceren TURAN GÖKDUMAN 143

BÖLÜM 11

KÖK KANAL TEDAVİSİNDE ANKSİYETE: TETİKLEYİCİLER, KLİNİK ETKİLER VE YÖNETİM

Mehmet Eren GÜNNER..... 153

BÖLÜM 1

ENDODONTİK MİKROBİYOLOJİDE KULLANILAN ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ VE DENEYSEL YÖNTEMLER

Adem ALTIN¹, Merve YENİÇERİ ÖZATA²

¹ Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Diyarbakır, Türkiye ORCID: 0009-0009-1364-2188

² Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Diyarbakır, Türkiye ORCID: 0000-0003-3619-3118

1. Giriş

1.1. Endodontik enfeksiyonların klinik önemi

Apikal periodontitis (AP), en yaygın oral inflamatuvar hastalıklardan biridir (Rôças, 2022). Bu hastalık, diş pulpası ve kök kanal sistemini istila eden bakterilerin neden olduğu, diş periradiküler dokularının iltihaplanma durumudur (Manoil, Al - Manei, & Belibasakis, 2020). Endodontik enfeksiyonlar, dental pulpaya ulaşarak kök kanal sistemini kolonize eden mikroorganizmalar tarafından oluşturulmakta; primer endodontik enfeksiyonlar ise başlangıçtaki pulpa invazyonunda yer alan ve ardından nekrotik dokuları kolonize eden mikroorganizmalarla ilişkilendirilmektedir (Wong, Manoil, Näsman, Belibasakis, & Neelakantan, 2021). AP gelişiminde başlıca enfeksiyöz etkenler bakterilerdir ve bu mikroorganizmalar sıklıkla kanal duvarlarına tutunan biyofilm toplulukları şeklinde bulunur (Rôças, 2022). AP'nin aynı zamanda biyofilm kaynaklı bir hastalık olduğu gösterilmiştir (de Paz, 2007). Ağız boşluğundaki enfeksiyonlar, farklı türlerden oluşan çeşitli mikrobiyal topluluklarla ilişkilidir. Bu oral bakteriler, sert ve yumuşak dokular dahil olmak üzere farklı yüzeylerde biyofilm oluşturma kapasitesine sahiptir (Jhajharia, Parolia, Shetty, & Mehta, 2015). Biyofilm şeklinde büyüme, mikroorganizmalar açısından avantaj sağlar; çünkü substratların, atık ürünlerin ve sinyal moleküllerinin taşınmasına olanak sağlayan sıvı kanallarını içeren üç boyutlu, yapılandırılmış topluluklar oluştururlar (Ricucci & Siqueira Jr, 2010; Usha, 2010). Ek olarak, apikal kök yüzeyine yapışan biyofilmler (ekstraradiküler biyofilmler) bildirilmiş ve tedavi sonrası AP'in olası bir nedeni olarak kabul edilmiştir (Ricucci & Siqueira Jr, 2010). Persistan AP ile ilişkili kök kanal, ekstraradiküler biyofilm ve periapikal lezyonlardaki mikrobiyom karakterize edilmiştir (Sun, Yang, Nie, & Hou, 2022).

Konvansiyonel yöntemler, farklı endodontik enfeksiyonların mikrobiyal kompozisyonu ve çeşitliliğine ilişkin önemli bilgiler sunmuş olsa da, bu yaklaşımların yapısal bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Nitekim kültür teknikleri henüz kültive edilemeyen mikrobiyotanın tanımlanmasına olanak vermezken, hedefe yönelik moleküler yöntemlerde primer ve problemlerin önceden seçilmesi, mikrobiyal tanımlamanın önceden hedeflenen türlerle sınırlı kalmasına ve daha az çalışılmış veya beklenmeyen taksonların gözden kaçmasına neden olabilmektedir (Wong et al., 2021). İntrakanal patojenlerin incelenmesi, kültür tabanlı laboratuvar tekniklerinden moleküler stratejilere ve günümüzde mikrobiyom temelli, yeni nesil sekanslama (NGS) gibi kültürden bağımsız yaklaşımlara doğru evrilmiştir (Shin et al., 2018). Endodontik mikrobiyoloji araştırmalarında ileri moleküler yöntemlerin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, AP ile ilişkili olası patojenlerin tanımlanmasında belirgin bir artış ve çeşitlenme ortaya çıkmıştır (Siqueira Jr et al., 2024). Son yıllarda NGS endodontik enfeksiyonlarda yaygın olarak araştırılmaktadır (Alquria, Acharya, Tordik, Griffin, & Martinho, 2024). Endodontide mikrobiyal tanımlama çoğunlukla 16S ribozomal RNA (16S rRNA) geninin kısmi dizilenmesine dayanmaktadır. Bu gen, bakteriler arasında yaygın olarak bulunması ve örnekteki taksonların saptanmasında kullanılabilen korunmuş bölgeler ile taksonlar arasında ayırım yapılmasını sağlayan değişken bölgeleri bir arada bulundurması nedeniyle uygun bir moleküler hedef olarak kabul edilmektedir (Wong et al., 2021). AP ile ilişkili primer ve sekonder intraradiküler enfeksiyonlarda bulunan mikrobiyotayı 16S rRNA gen amplikon dizilemesi kullanarak karakterize etmek amaçlanmıştır (Bouillaguet et al., 2018). Endodontik enfeksiyonların apikal bölümündeki mikrobiyal topluluklar, Illumina

platformunda gerçekleştirilen 16S rRNA dizilemesi ile araştırılmıştır (De Brito et al., 2020). Günümüzde insan mikrobiyom örneklerine ilişkin geniş açık veritabanları mevcuttur ve çalışmalar, vücudun bölgesine, hastalık durumuna ve çevresel koşullara bağlı olarak belirli mikrobiyota profillerinin saptanabildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, farklı endodontik durumlarla ilişkili mikrobiyom profilleri yeterince iyi karakterize edilmemiştir. Bu nedenle, farklı kök kanal polimikrobiyal topluluklarının ekolojik yönlerini daha iyi anlayabilmek amacıyla derin dizilemeye dayalı NGS yaklaşımlarının uygulanabileceği düşünülmektedir (Shin et al., 2018). Bu çerçevede, AP ile ilişkili mikrobiyal yapının klasik yöntemlerle tam olarak açıklanmasının güç olduğu ve endodontik enfeksiyonların daha kapsamlı biçimde anlaşılmasında ileri moleküler yaklaşımların giderek daha merkezi bir yer kazandığı anlaşılmaktadır.

2. Kök Kanal Ekosistemi ve Biyofilm Temeli

2.1. Primer ve persistan enfeksiyonlar

Primer AP ile sekonder/persistan AP olgularında kök kanal mikrobiyotası yüksek çeşitlilik göstermektedir. Enfeksiyon tipleri arasında bazı taksonların göreceli bolluğu farklılık gösterebilse de, mikrobiyal profiller her zaman keskin biçimde ayrılmamaktadır. Bu nedenle, primer ve persistan enfeksiyonlar arasındaki fark, yalnızca belirli tek bir mikroorganizmaya indirgenemeyecek kadar karmaşık görünmektedir (Manoil et al., 2020). Persistan endodontik enfeksiyonların doğası, yalnızca enfekte bölgedeki mikroorganizmaların yüksek direnç göstermesine değil, tedavi sonrasında oluşan yeni çevresel koşullara fizyolojik olarak uyum sağlayabilmelerine de bağlıdır. Bu nedenle persistan enfeksiyonlar, tek ya da birkaç dirençli türden çok, yeni koşullara adapte olabilen polimikrobiyal biyofilm toplulukları çerçevesinde değerlendirilmelidir (de Paz, 2007). Persistan endodontik enfeksiyonların polimikrobiyal bir profil gösterdiği ve *Enterococcus faecalis*'in en sık bildirilen türlerden biri olmasına karşın bu enfeksiyonların mikrobiyal yapısının yalnızca bu mikroorganizma ile açıklanamayacağı bildirilmektedir. Ayrıca bildirilen mikrobiyal profilin, kullanılan tanımlama yöntemlerinin sınırlılıklarından etkilenebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Pinto, Barbosa, Silva, Santos, & Sassone, 2023). NGS temelli analizler, persistan apikal periodontitis olgularında yüksek mikrobiyal çeşitlilik bulunduğunu göstermiştir. Persistan enfeksiyonlarda çok sayıda farklı taksonun saptanması, bu enfeksiyonların sınırlı sayıdaki tekil türlerle değil, çevresel değişimlere uyum sağlayabilen daha karmaşık mikrobiyal topluluklarla ilişkili olduğunu göstermektedir (Sánchez - Sanhueza et al., 2018). Bu bulgular, persistan endodontik enfeksiyonların yalnızca belirli dirençli türlerle değil, çevresel değişimlere uyum sağlayabilen karmaşık mikrobiyal topluluklarla ilişkili olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

3. Çalışma Tasarımı ve Standardizasyon

3.1. Örnek seçimi ve kanal standardizasyonu

Deneyisel endodonti çalışmalarında, in vivo koşulları olabildiğince taklit etmek ve farklı araştırmalar arasında karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmek için örneklerin ve deney protokollerinin standardizasyonu temel bir gerekliliktir. Özellikle kullanılan modelin klinik koşullara yakınlığı ile örneklerin geometrik ve yapısal özelliklerinin standardize edilmesi,

elde edilen bulguların güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir (Boutsioukis, Arias - Moliz, & Chávez de Paz, 2022). Laboratuvar kök kanal biyofilm modellerinde mikrobiyal kompozisyon, kullanılan substrat, inkübasyon koşulları, doğrulama ve kantifikasyon yöntemleri açısından belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Deneysel parametrelerdeki bu geniş değişkenlik, çalışmalar arasında doğrudan karşılaştırma yapılmasını güçleştirmekte ve daha standardize edilmiş, valide edilmiş model sistemlere duyulan gereksinimi ortaya koymaktadır (Swimberghe, Coenye, De Moor, & Meire, 2019). Örnek seçimi aşamasında, tek köklü insan dişlerinin tercih edilmesi; olgun apeks varlığı, çatlak, çürük ve daha önce endodontik tedavi görmemiş olma gibi dahil etme kriterlerinin açık biçimde tanımlanması, deneysel gruplar arasında anatomik heterojenliği azaltmak açısından önemlidir. Bu yaklaşım, çalışmanın başlangıcında örnekler arasında karşılaştırılabilir bir temel oluşturmaktadır (Alelyani, 2024). Deneysel enfeksiyon çalışmalarında örneklerin kanal morfolojisine göre gruplandırılması ve kök uzunluğunun sabitlenmesi, örnekler arası anatomik farklılıkların etkisini azaltmak için yararlı bir yaklaşımdır. Bunun yanında, kök kanallarının belirli bir apikal çap ve taper değerine kadar hazırlanması, mikrobiyal yük azaltımı gibi sonuçların daha standart koşullarda değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır (Dewsnup et al., 2010). Bu nedenle endodontik mikrobiyoloji araştırmalarında örnek seçimi ve kanal standardizasyonu yalnızca yöntemsel bir ayrıntı değil, elde edilen bulguların geçerliliğini ve karşılaştırılabilirliğini belirleyen temel unsurlardan biri olarak değerlendirilmelidir.

3.2. Kontroller, tekrarlanabilirlik ve kontaminasyon kontrolü

Endodontik antimikrobiyal çalışmalarda standart protokollerin kullanılması ve tamamlayıcı değerlendirme yöntemlerinin birlikte uygulanması, sonuçların güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini artırmaktadır (Boutsioukis et al., 2022). Biyofilm çalışmalarında modelin ve değerlendirme tekniğinin uygun seçilmesi, elde edilen sonuçların tutarlılığı ve yorumlanabilirliği açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle model özellikleri ile analiz tekniklerinin avantaj ve sınırlılıklarının önceden dikkate alınması, daha güvenilir ve tekrarlanabilir çalışmalar açısından önemlidir (Ramachandra et al., 2023). İn vitro kontaminasyon modellerinde, enfeksiyonun oluşturulması tek başına yeterli değildir; kontaminasyonun örnekler arasında tutarlı biçimde sağlandığının ve deney modelinin geçerli olduğunun da gösterilmesi gerekir. Bu nedenle kontaminasyon protokollerinin doğrulanması, deneysel sonuçların güvenilirliği açısından temel bir basamak olarak değerlendirilmektedir (Barros et al., 2023). Mikrobiyolojik örnekleme yöntemlerinde tekrarlanabilirliğin korunması ve dış kontaminasyon riskinin en aza indirilmesi, elde edilen verilerin doğruluğu açısından kritik önemdedir. Özellikle sınırlı alanlardan örnekleme yapılırken, yöntemin tutarlı sonuç vermesi ve kontaminasyonu azaltacak şekilde tasarlanması, analiz güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir (Schoppmeier et al., 2025). Bu açıdan, kontrollerin uygun biçimde planlanması, kontaminasyonun doğrulanması ve örnekleme sürecinin standartlaştırılması, endodontik mikrobiyoloji çalışmalarında güvenilir sonuçlara ulaşmanın temel koşulları arasında yer almaktadır.

4. Deneysel Modeller

4.1. Biyofilm modelleri

Kök kanal dezenfeksiyonu araştırmalarında kullanılan biyofilm modelleri; mikrobiyal kompozisyon, substrat, inkübasyon koşulları ve değerlendirme yöntemleri bakımından farklılık göstermektedir. Bu nedenle biyofilm modelinin araştırma sorusuna uygun biçimde seçilmesi ve model özelliklerinin açıkça tanımlanması önem taşımaktadır (Swimberghe et al., 2019). Endodontide biyofilm modelleri, kök kanal enfeksiyonlarının biyofilm temelli doğasının deneysel olarak incelenmesine olanak sağlamakta; hem enfeksiyon dinamiklerinin anlaşılmasında hem de dezenfeksiyon yaklaşımlarının değerlendirilmesinde önemli araştırma araçları olarak kullanılmaktadır (Garg, Mala, & Kamath, 2021). Ayrıca irrigantların ve irrigasyon sistemlerinin antimikrobiyal etkinliğini değerlendiren çalışmalarda, olgun ve çok türlü biyofilm modellerinin kullanılması önerilmekte; bu yaklaşımın deneysel koşulların klinik duruma daha fazla benzemesine katkı sağladığı bildirilmektedir (Boutsioukis et al., 2022). Sonuç olarak, biyofilm modelinin uygun biçimde seçilmesi, endodontik dezenfeksiyon çalışmalarında elde edilen bulguların klinik duruma ne ölçüde uyarlanabileceğini belirleyen temel unsurlardan biridir.

4.2. Enfekte çekilmiş diş (ex vivo) modelleri

Ex vivo modellerde, dentin üzerinde veya kök kanalları içinde büyütölmüş olgun çok türlü biyofilmler kullanılabilmektedir ve in vivo koşulların mümkün olduğunca taklit edilmesi ile örnekler ve deney protokollerinin standardizasyonu temel gereklilikler arasında gösterilmektedir (Boutsioukis et al., 2022). Bu kapsamda, çekilmiş insan dişlerinin kök kanalları içinde büyütölmüş ex vivo çok türlü biyofilm modelleri kullanılmakta; ayrıca kök kanal enfeksiyonu bulunan dişlerden elde edilen intrakanal içeriklerin birleştirilerek çekilmiş ve enstrümanite edilmiş insan dişlerinin kök kanallarında büyütöldüğü modeller de tanımlanmaktadır (Schaudinn et al., 2013). Öte yandan, endodontik enfeksiyonların polimikrobiyal doğasını yansıtabilecek yeterli karmaşıklığa sahip model sistemlere ihtiyaç bulunduğu, bu nedenle klinik enfeksiyon örneklerinden doğrudan geliştirilen ex vivo biyofilm modellerinin önem taşıdığı ve önceden seçilmiş bakteri türlerine dayalı modellere kıyasla in vivo durumu daha iyi yansıtabileceği bildirilmektedir (Nassar, Nassar, Mohamed, Senok, & Williams, 2025). Bu durum, ex vivo modellerin endodontik enfeksiyonların polimikrobiyal ve biyofilm temelli yapısını klinik duruma daha yakın koşullarda incelemede önemli bir araştırma yaklaşımı olduğunu göstermektedir.

5. Örnekleme ve Analiz Yöntemleri

Kök kanal mikrobiyotasının değerlendirilmesine yönelik metodolojik çalışmalarda, paper point ve endodontik enstrüman ile yapılan örneklemenin mikrobiyom analizinde geçerli örnekler sağlayabildiği bildirilmiştir. Ayrıca endodontik enstrüman ile örneklemenin uygulama açısından daha kolay olabileceği belirtilmiştir (Donnermeyer et al., 2025). Bununla birlikte, sistematik derlemelerde özellikle apikal kök kanal mikrobiyomu çalışmalarında örnek toplama ve mikrobiyal tanımlama yöntemleri arasındaki heterojenliğin, bulguların karşılaştırılabilirliğini sınırlandıran önemli bir metodolojik kısıtlılık olduğu vurgulanmıştır (Siqueira Jr et al., 2024). Bu nedenle, endodontik mikrobiyoloji çalışmalarında in vivo

koşulların mümkün olduğunca taklit edilmesi, örneklerin standardizasyonu ve deney protokollerinin dikkatle planlanması önem taşımaktadır (Boutsouk et al., 2022). Bu durum, örnekleme yönteminin endodontik mikrobiyoloji çalışmalarında önemli bir metodolojik değişken olduğunu göstermektedir.

5.1. Kültür tabanlı yöntemler (CFU ve sınırlılıklar)

Endodontik mikrobiyoloji araştırmalarında bakteriyel değerlendirme amacıyla farklı analitik yöntemler kullanılmaktadır. Bakteriyel kantifikasyonun kültür temelli koloni oluşturan birim (CFU) sayımı ve gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu (qPCR) ile gerçekleştirilebildiği, ancak başlangıç örneklerinde qPCR'nin kültüre göre daha yüksek bakteri sayımları gösterebildiği bildirilmiştir (Alves et al., 2012). Endodontik mikrobiyoloji araştırmalarında yıllar boyunca farklı analitik yöntemler kullanılmıştır ve bu yöntemlerin her birinin kendine özgü avantajları ile sınırlılıkları bulunmaktadır (Siqueira Jr & Rôças, 2022). Bu durum, kültür tabanlı yöntemlerin endodontik enfeksiyonlardaki bakteriyel yükün değerlendirilmesinde yararlı olmakla birlikte, mikrobiyal çeşitliliğin ve canlılık durumunun tek başına tam olarak ortaya konmasında sınırlı kalabildiğini düşündürmektedir.

5.2. Biyofilm değerlendirme ve görüntüleme (CLSM/SEM; temel ölçütler)

Endodontik biyofilm modelleri oluşturulduktan sonra, bu modeller üzerinde gelişen biyo-filmelerin değerlendirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir ve bu değerlendirme, biyofilm modelinin doğrulanması açısından önem taşımaktadır (Garg et al., 2021). Endodontik araştırmalar, kök kanal biyofilmelerinin karakterizasyonuna ve biyofilmeleri bozmayı amaçlayan yöntemlerin değerlendirilmesine odaklanmaktadır (Neelakantan et al., 2017). Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve konfokal lazer tarama mikroskobu (CLSM), biyofilm yapısı ile bakteriyel hücre canlılığının değerlendirilmesinde birlikte kullanılabilmektedir; ayrıca bu yöntemlerle tedavi öncesi olgun biyofilm yapısı gösterilebilmekte ve tedavi sonrası biyofilm azalması değerlendirilebilmektedir (Kishen, Shrestha, & Del Carpio-Perochena, 2018). SEM, biyofilm morfolojisinin değerlendirilmesinde kullanılırken, CLSM bakteriyel hücre canlılığının incelenmesine olanak sağlamakta; ayrıca canlı bakteri oranı ve toplam biyohacim gibi ölçütlerin değerlendirilmesine de olanak vermektedir (Hasna et al., 2020). Bu çerçevede, biyofilm değerlendirmesinde morfolojik ve canlılık temelli ölçütlerin birlikte kullanılması, endodontik dezenfeksiyon yaklaşımlarının etkinliğinin daha kapsamlı biçimde ortaya konmasına katkı sağlamaktadır.

5.3. ATP/ADP/AMP temelli biyoluminesans analizi

ATP/ADP/AMP temelli analizin, organik kalıntılarda bulunan adenozin trifosfat (ATP), adenozin difosfat (ADP) ve adenozin monofosfatın (AMP) enzim döngüsü yöntemiyle oluşan luminesans sinyali üzerinden değerlendirildiği; bu sayede daha geniş bir organik kalıntı aralığının yüksek duyarlılıkla analiz edilebildiği bildirilmiştir (Arcuri et al., 2024). Ayrıca ATP saptama yönteminin, kök kanal tedavisi sırasında canlı bakterilerin varlığının hızlı biçimde değerlendirilmesinde tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Tan, Yu, Quah, & Bergenholtz, 2015). Klinik ortamda uygulanan ATP testinin, kök

kanalındaki organik debris miktarının değerlendirilmesinde, kontamine kalmış kanalların belirlenmesinde ve dezenfeksiyon stratejilerinin yönlendirilmesinde etkili olduğu; ayrıca kontaminasyon düzeyi hakkında gerçek zamanlı geri bildirim sağladığı bildirilmiştir (Bolla et al., 2025). Bu durum, ATP/ADP/AMP temelli biyoluminesans analizlerinin endodontik dezenfeksiyonun hızlı ve tamamlayıcı değerlendirilmesinde yararlı olduğunu, ancak bulguların diğer mikrobiyolojik ve moleküler yöntemlerle birlikte yorumlanmasının daha kapsamlı sonuçlar sağlayabileceğini düşündürmektedir.

6. Moleküler Analizler ve Mikrobiyom Yaklaşımları

6.1. PCR/qPCR ile tespit ve kantifikasyon

Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR), endodontik patojenlerin tanımlanmasında kullanılan, yüksek duyarlılık, özgüllük ve doğruluk sağlayan bir mikrobiyal tanımlama yöntemi olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle PCR temelli yaklaşımlar, kök kanal enfeksiyonlarında mikroorganizmaların tespitine yönelik moleküler analizlerin temel bileşenleri arasında yer almaktadır (Siqueira Jr & Ras, 2003). PCR temelli yöntemler, nekrotik pulpalı kök kanallarında belirli bakteriyel türlerin tespitinde kullanılabilmektedir. Bu yaklaşım, hedef gen bölgelerine yönelik primerler aracılığıyla endodontik enfeksiyonlarla ilişkili olası patojenlerin tanımlanmasına olanak sağlamaktadır (Fouad et al., 2002). qPCR, belirli mikroorganizmaların yalnızca saptanmasına değil, aynı zamanda kantitatif olarak değerlendirilmesine de olanak sağlamaktadır. Bunun yanında, RT-PCR (ters transkriptaz polimeraz zincir reaksiyonu) temelli yaklaşımlar, canlı ancak kültüre edilemeyen bakterilerin gösterilmesinde ek bilgi sunabilmektedir (Williams, Trope, Caplan, & Shugars, 2006). qPCR'nin endodontik tedavi sırasında *E. faecalis*'in tespiti ve kantifikasyonunda kültür yöntemi ile karşılaştırmalı olarak kullanılabildiği; ayrıca başlangıç örneklerinde kültüre kıyasla daha yüksek bakteri sayımları gösterebildiği bildirilmiştir (Alves et al., 2012; Williams et al., 2006). Canlı/l qPCR yaklaşımının, diş sert dokularında canlı ve canlı olmayan mikroorganizmalar arasında kantitatif ayırım yapabildiği bildirilmiştir. Bu durum, qPCR tabanlı yöntemlerin yalnızca tespit değil, canlılıkla ilişkili kantifikasyon amacıyla da kullanılabildiğini göstermektedir (Sterzenbach et al., 2024). Bu erevede, PCR temelli yöntemler endodontik enfeksiyonlarda mikrobiyal tespit ve kantifikasyon açısından önemli avantajlar sağlamakla birlikte, elde edilen bulguların hedeflenen analiz yaklaşımı ve canlılık değerlendirmesi bağlamında yorumlanması gerekmektedir.

6.2. 16S rRNA temelli mikrobiyom profilleme

16S rRNA temelli NGS yaklaşımlarının, enfekte kök kanallarının mikrobiyota kompozisyonunu karakterize etmek amacıyla yaklaşık on yıldır kullanıldığı bildirilmektedir (Manoil et al., 2020). Ayrıca 16S rRNA Illumina dizilemesinin, endodontik enfeksiyonların apikal bölümündeki mikrobiyal toplulukları araştırmak ve çekirdek mikrobiyomu belirlemek amacıyla kullanılabildiği bildirilmiştir (De Brito et al., 2020). Bu yaklaşımın, kültive edilebilen ve kültive edilemeyen mikroorganizmaların birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayarak mikrobiyal çeşitliliğin daha kapsamlı biçimde ortaya konmasına katkı sağladığı belirtilmiştir (Qian et al., 2019). Bu bulgular, 16S rRNA temelli mikrobiyom profillemenin

endodontik enfeksiyonlardaki mikrobiyal çeşitliliğin daha ayrıntılı biçimde ortaya konmasında önemli bir araç olduğunu göstermektedir.

7. Dezenfeksiyon Çalışmalarında Müdahale Protokolleri

7.1. İrrigantların antimikrobiyal değerlendirilmesi

Kök kanal irrigasyonunun fiziksel amacının, irrigantın tüm kök kanal sistemi boyunca akışını sağlamak ve kök kanal duvarlarıyla yeterli fiziksel etkileşim oluşturarak etkili debridman gerçekleştirmek olduğu bildirilmiştir. Kimyasal amacının ise bakteriyel biyofilmleri bozmak, endotoksinleri inaktive etmek ve kanal duvarlarındaki doku artıkları ile smear tabakasını çözmek olduğu belirtilmiştir (Gomes, Aveiro, & Kishen, 2023). İrrigantların antimikrobiyal değerlendirilmesinde, dentin üzerinde veya kök kanalı içinde geliştirilmiş olgun çok türlü biyofilm modellerinin kullanılması ve etkinliğin en az iki tamamlayıcı yöntemle değerlendirilmesi önerilmektedir (Boutsioukis et al., 2022). Sodyum hipoklorit (NaOCl) ve klorheksidin (CHX) antimikrobiyal etkinliğinin; kullanılan konsantrasyona, mikroorganizma modeline ve temas süresi gibi deneysel koşullara bağlı olduğu bildirilmektedir. Agar difüzyon ve direkt temas testlerinin irrigantların antibakteriyel etkinliğini değerlendirmede yararlı olduğu, ancak güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar için standart protokoller gerektirdiği vurgulanmıştır (Luddin & Ahmed, 2013). Ayrıca bakterilerin yerleşim bölgesinin de önemli olduğu; yüzeyde bulunan mikroorganizmaların irrigantlardan daha fazla etkilenebildiği, dentin tübülleri veya derin tabakalarda yerleşen mikroorganizmaların ise daha dirençli olabildiği bildirilmiştir. Bu nedenle irrigantların antimikrobiyal etkinliği dezenfeksiyon öncesi ve sonrası örneklerin kültür veya PCR ile karşılaştırılması ya da in vitro agar disk difüzyon yöntemi gibi laboratuvar testleriyle değerlendirilebilmektedir (Estrela, Silva, Alencar, Leles, & Decurcio, 2008; Kaushik, Rehani, Agarwal, Kaushik, & Adlakha, 2013). Bu durum, irrigantların antimikrobiyal etkinliğinin değerlendirilmesinde yalnızca kullanılan solüsyonun değil, biyofilm modeli, temas süresi, değerlendirme yöntemi ve mikroorganizmaların yerleşim derinliği gibi değişkenlerin de birlikte dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

7.2. İrrigant aktivasyon yöntemleri

Manuel dinamik aktivasyon (MDA), pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) ve sonik irrigasyon (SI), irrigant aktivasyon yöntemleri arasında en yaygın kullanılan ve üzerinde en fazla çalışılan yaklaşımlar arasında yer almaktadır (Gomes et al., 2023). PUI'nin kanal temizliğini artırdığı, irrigantın kanal sistemine daha iyi ulaşmasına katkı sağladığı ve smear tabakası ile bakterilerin uzaklaştırılmasında etkili olduğu bildirilmiştir (Mozo, Llena, & Forner, 2011). Ayrıca lazer destekli irrigasyonun debris ve smear tabakası uzaklaştırılmasında etkili olduğu, PUI'nin ise konvansiyonel irrigasyona kıyasla daha fazla debris ve smear tabakası kaldıracabildiği belirtilmiştir (Badami et al., 2023). Bu nedenle, irrigant aktivasyon yöntemleri değerlendirilirken yalnızca kullanılan sistemin tipi değil, irrigantın kanal içindeki dağılımını ve temizleme etkinliğini ne ölçüde artırdığı da dikkate alınmalıdır.

8. Sonlanım Ölçütleri ve Metodolojik Standardizasyon

8.1. Primer sonlanım ölçütlerinin seçimi

Endodontik araştırmalarda, periradiküler lezyonların iyileşmesi primer sonlanım ölçütü olarak değerlendirilmektedir. Buna karşılık, mikrobiyal yükteki azalma tedavinin etkisini dolaylı

olarak yansıtan bir değerlendirme ölçütü olarak kullanılabilir. Ayrıca postoperatif ağrı da hasta odaklı önemli bir klinik sonuç göstergesi olarak kabul edilmektedir (Cheung, Lee, & Cheung, 2021). İrrigasyon çalışmalarında primer sonlanım ölçütleri arasında toplam bakteri sayısı ile irrigasyon sonrası pozitif bakteriyel üreme gösteren örnek sayısının yer aldığı bildirilmiştir (Tonini et al., 2022). Antimikrobiyal etkinlik çalışmalarında, inhibisyon zonu büyüklüğü, koloni oluşturan birim sayısı, dentin tübüllerindeki ölü hücre yüzdesi ve canlı hücre biyohacmindeki değişiklikler gibi farklı değerlendirme ölçütleri kullanılabilir (Šimundić Munitić, Poklepović Perićić, Utrobičić, Bago, & Puljak, 2019). Ayrıca antibiyofilm etkinliğin kapsamlı değerlendirilmesinde, tek bir ölçüt yerine mikrobiyolojik, moleküler ve görüntüleme temelli ölçütlerin birlikte kullanılmasının yararlı olduğu bildirilmiştir (Kishen et al., 2018).

8.2. Metodolojik standardizasyon ve öneriler

İrrigantların antimikrobiyal etkisini inceleyen çalışmalarda, olgun çok türlü biyofilm modellerinin kullanılması ve etkinliğin en az iki tamamlayıcı yöntemle değerlendirilmesi önerilmektedir (Boutsioukis et al., 2022). Agar difüzyon ve direkt temas yöntemleri, kemoterapötik ajanların antibakteriyel etkinliğini değerlendirme ve karşılaştırmada yararlı yöntemler olarak kabul edilmekle birlikte, çalışmalar arasında yüksek düzeyde güvenilirlik ve tekrarlanabilirliğin sağlanabilmesi için kapsamlı ve ayrıntılı standart protokollerin oluşturulması gerekmektedir (Luddin & Ahmed, 2013). Bu nedenle, endodontik araştırmalarda in vivo koşulların mümkün olduğunca taklit edilmesi ile örneklerin ve deney protokollerinin standardize edilmesi önem taşımaktadır (Boutsioukis et al., 2022). Antibiyofilm etkinliğin kapsamlı biçimde değerlendirilebilmesi için, tek bir ölçüte dayalı yaklaşımlar yerine mikrobiyolojik ve moleküler kantifikasyon yöntemlerinin CLSM ile birlikte kullanılması önerilmektedir (Kishen et al., 2018).

9. Sonuç ve Güncel Eğilimler

9.1. Güncel eğilimler: mikrobiyom ve ileri görüntüleme

16S rRNA gen amplikon dizilemesinin, tedavi sonrası enfeksiyonlarda kök kanalı ve periapikal lezyon mikrobiyomunun karşılaştırmalı olarak incelenmesinde ve kilit mikroorganizmaların belirlenmesinde kullanılabildiği bildirilmiştir (Arias - Moliz et al., 2024). CLSM'nin, endodontik dokuların üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü görüntülenmesine olanak sağlaması nedeniyle, endodontide kullanılan materyal ve yapıların değerlendirilmesinde önemli bir yöntem olduğu bildirilmiştir (Yolcu, Tartuk, Kaya, & Eskibağlar, 2021). Micro-CT'nin ise kök kanal anatomisinin yüksek çözünürlüklü ve ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayan doğru bir araştırma aracı olduğu bildirilmiştir (Karobari et al., 2024). Benzer şekilde, NGS yaklaşımlarının yalnızca kök kanal mikrobiyotasının tanımlanmasında değil, aynı zamanda sistemik durumlar ve tedavi yanıtı ile ilişkili mikrobiyal değişimlerin değerlendirilmesinde de kullanılabildiği bildirilmiştir (Uğur Aydın, Korucu, Bulak Yeliz, Demirkaya, & Can Demirdöğen, 2026). Bu bulgular, endodontik mikrobiyoloji araştırmalarında mikrobiyom temelli analizlerin ve ileri görüntüleme yöntemlerinin birlikte kullanımının, kök kanal enfeksiyonlarının daha kapsamlı değerlendirmesine olanak sağladığını göstermektedir.

9.2. Endocator ile kanal temizliğinin değerlendirilmesi

Endocator'un, kök kanalındaki ATP düzeylerinin 10–15 saniye içinde hızlı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayan bir sistem olarak endodontiye tanıtıldığı bildirilmiştir (Singh & Bolla, 2024). Cihazın, kök kanal temizliğini klinik olarak değerlendirmek ve sonucu objektif bir skor şeklinde sunmak üzere geliştirildiği belirtilmiştir (Arcuri et al., 2024). Bu bağlamda, Endocator ATP analizinin kök kanal dezenfeksiyonunun değerlendirilmesine yönelik yeni bir klinik test olarak tanıtıldığı bildirilmiştir (Bolla et al., 2025). Ayrıca bazı çalışmalarda, %5.25 NaOCl ve 30-gauge kapalı uçlu iğne irrigasyonu ile sonik aktivasyon protokollerinin karşılaştırıldığı; dezenfeksiyon etkinliğinin ise tedavinin temel aşamalarında relatif ışık birimi (RLU) cinsinden ölçülen ATP düzeyleri üzerinden değerlendirildiği gösterilmiştir (Basam et al., 2025). Bunun yanında, daha düşük ATP düzeylerine ulaşılabilmesi amacıyla bazı olgularda ek NaOCl aktivasyon uygulamalarının gerekli olduğu bildirilmiştir (Bolla et al., 2025). Bu veriler, Endocator'un kök kanal temizliğinin ve dezenfeksiyon etkinliğinin klinik olarak hızlı ve objektif biçimde değerlendirilmesinde kullanılabildiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, endodontik mikrobiyoloji araştırmaları; kök kanal enfeksiyonlarının polimikrobiyal yapısının, biyofilm organizasyonunun ve tedaviye direnç mekanizmalarının daha doğru anlaşılabilmesi için giderek daha bütüncül ve çok yönlü yöntemlere yönelmektedir. Bu süreçte, elde edilen bulguların geçerliliği yalnızca kullanılan ileri analiz tekniklerine değil; aynı zamanda örnek seçiminin, deneysel modelin, kontaminasyon kontrolünün, değerlendirme yöntemlerinin ve raporlama standartlarının uygun biçimde planlanmasına da bağlıdır. Bu nedenle endodontik araştırmalarda kültür temelli, moleküler ve görüntüleme temelli yaklaşımların birbirini tamamlayacak şekilde birlikte kullanılması; hem mikrobiyal çeşitliliğin daha doğru ortaya konmasına hem de dezenfeksiyon stratejilerinin gerçek etkinliğinin daha güvenilir biçimde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Bunun yanında, ATP/ADP/AMP temelli biyoluminesans analizleri gibi hızlı değerlendirme yöntemleri, kanal içi organik kontaminasyonun ve canlı bakteri varlığının tamamlayıcı biçimde incelenmesine olanak sağlayarak endodontik dezenfeksiyon çalışmalarına yeni bir boyut kazandırmaktadır. Benzer şekilde, Endocator gibi güncel klinik cihazlar, kök kanal temizliğinin ve dezenfeksiyon etkinliğinin gerçek zamanlı ve objektif biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayan yeni araçlar olarak dikkat çekmektedir. Bu çerçevede, klinik durumu daha iyi yansıtan standardize ex vivo/in vitro modellerin, yüksek çözünürlüklü görüntüleme yöntemlerinin, mikrobiyom odaklı ileri analizlerin ve klinik kullanımda uygulanabilir güncel değerlendirme sistemlerinin birlikte kullanıldığı araştırmaların artması, endodontik enfeksiyonların patogenezinin aydınlatılmasına ve daha etkili, kanıta dayalı tedavi protokollerinin geliştirilmesine önemli katkılar sunacaktır.

KAYNAKÇA

- Alelyani, A. A. (2024). Evaluation of smear layer removal and antimicrobial efficacy of intracanal herbal irrigants. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 16(Suppl 4), S3139-S3141.
- Alquria, T. A., Acharya, A., Tordik, P., Griffin, I., & Martinho, F. C. (2024). Impact of root canal disinfection on the bacteriome present in primary endodontic infection: A next generation sequencing study. *International endodontic journal*, 57(8), 1124-1135.
- Alves, F., Rôças, I., Almeida, B., Neves, M., Zoffoli, J., & Siqueira Jr, J. (2012). Quantitative molecular and culture analyses of bacterial elimination in oval-shaped root canals by a single-file instrumentation technique. *International endodontic journal*, 45(9), 871-877.
- Arcuri, L., Gambarini, G., Zanza, A., Testarelli, L., Arcuri, C., Cross, R., & Galli, M. (2024). Experimental evaluation of a novel device to quantify canal cleanliness: An in vitro study. *Oral*, 4(2), 163-172.
- Arias-Moliz, M. T., Pérez-Carrasco, V., Uroz-Torres, D., Santana Ramos, J. D., García-Salcedo, J. A., & Soriano, M. (2024). Identification of keystone taxa in root canals and periapical lesions of post-treatment endodontic infections: Next generation microbiome research. *International endodontic journal*, 57(7), 933-942.
- Badami, V., Akarapu, S., Kethineni, H., Mittapalli, S. P., Bala, K. R., Fatima, S. F., . . . reddy Bala, K. (2023). Efficacy of laser-activated irrigation versus ultrasonic-activated irrigation: A systematic review. *Cureus*, 15(3).
- Barros, M. C., Pedrinha, V. F., Graeff, M. S. Z., Bramante, C. M., Duarte, M. A. H., & de Andrade, F. B. (2023). A new model of in vitro dentin intratubular contamination for *Fusobacterium nucleatum*: Validation by confocal laser scanning microscopy. *Heliyon*, 9(7).
- Basam, R. C., Bolla, N., Cross, R., Vemuri, S., Bolla, L., & Vajrala, N. R. (2025). Evaluation of efficacy of SmartLite Pro EndoActivator sonic activation using adenosine triphosphate bioluminescence meter: A randomized clinical trial. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 28(7), 619-625.
- Bolla, N., Cross, R., Basam, R. C., Vemuri, S., Bolla, L., & Chukka, R. (2025). Chairside ATP assessment of root canal disinfection: a clinical evaluation of six irrigation protocols. *Annali di stomatologia*, 16(3), 221-233.
- Bouillaguet, S., Manoil, D., Girard, M., Louis, J., Gaïa, N., Leo, S., . . . Lazarevic, V. (2018). Root microbiota in primary and secondary apical periodontitis. *Frontiers in microbiology*, 9, 2374.
- Boutsioukis, C., Arias-Moliz, M. T., & Chávez de Paz, L. E. (2022). A critical analysis of research methods and experimental models to study irrigants and irrigation systems. *International endodontic journal*, 55, 295-329.
- Cheung, A. W. T., Lee, A. H. C., & Cheung, G. S. P. (2021). Clinical efficacy of activated irrigation in endodontics: a focused review. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46(1).
- De Brito, L. C. N., Doolittle-Hall, J., Lee, C.-T., Moss, K., Bambirra Junior, W., Tavares, W. L. F., . . . Teles, F. R. F. (2020). The apical root canal system microbial communities determined by next-generation sequencing. *Scientific Reports*, 10(1), 10932.
- de Paz, L. C. (2007). Redefining the persistent infection in root canals: possible role of biofilm communities. *Journal of Endodontics*, 33(6), 652-662.
- Dewsnup, N., Pileggi, R., Haddix, J., Nair, U., Walker, C., & Varella, C. H. (2010). Comparison of bacterial reduction in straight and curved canals using erbium, chromium: yttrium-scandium-gallium-garnet laser treatment versus a traditional irrigation technique with sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 36(4), 725-728.
- Donnermeyer, D., Matern, J., Prior, K., Ibing, M., Hagenfeld, D., Schäfer, E., . . . Ehmke, B. (2025). A Methodological Study on Microbial In Vivo Sampling Methods of Root Canal Microbiota for Next-Generation Gene Sequencing Analysis. *Journal of Endodontics*, 51(2), 164-171.
- Estrela, C., Silva, J. A., Alencar, A. H. G. d., Leles, C. R., & Decurcio, D. A. (2008). Efficacy of sodium hypochlorite and chlorhexidine against *Enterococcus faecalis*: a systematic review. *Journal of applied oral science*, 16(6), 364-368.
- Fouad, A. F., Barry, J., Caimano, M., Clawson, M., Zhu, Q., Carver, R., . . . Radolf, J. D. (2002). PCR-based identification of bacteria associated with endodontic infections. *Journal of clinical microbiology*, 40(9), 3223-3231.

- Garg, A., Mala, K., & Kamath, P. M. (2021). Biofilm models in endodontics-A narrative review. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 24(1), 2-9.
- Gomes, B. P., Aveiro, E., & Kishen, A. (2023). Irrigants and irrigation activation systems in endodontics. *Brazilian dental journal*, 34, 1-33.
- Hasna, A. A., Khoury, R. D., Toia, C. C., Gonçalves, G. B., de Andrade, F. B., Carvalho, C. A. T., . . . Valera, M. C. (2020). In vitro evaluation of the antimicrobial effect of N-acetylcysteine and photodynamic therapy on root canals infected with enterococcus faecalis. *Iranian Endodontic Journal*, 15(4), 236.
- Jhajharia, K., Parolia, A., Shetty, K. V., & Mehta, L. K. (2015). Biofilm in endodontics: a review. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 5(1), 1-12.
- Karobari, M. I., Batul, R., Khan, M., Patil, S. R., Basheer, S. N., Rezallah, N. N. F., . . . Noorani, T. Y. (2024). Micro computed tomography (Micro-CT) characterization of root and root canal morphology of mandibular first premolars: a systematic review and meta-analysis. *BMC oral health*, 24(1), 1.
- Kaushik, N., Rehani, U., Agarwal, A., Kaushik, M., & Adlakha, V. (2013). Antimicrobial efficacy of endodontic irrigants against Enterococcus faecalis and Escherichia coli: an in vitro study. *International journal of clinical pediatric dentistry*, 6(3), 178.
- Kishen, A., Shrestha, A., & Del Carpio-Perochena, A. (2018). Validation of biofilm assays to assess antibiofilm efficacy in instrumented root canals after syringe irrigation and sonic agitation. *Journal of Endodontics*, 44(2), 292-298.
- Luddin, N., & Ahmed, H. M. A. (2013). The antibacterial activity of sodium hypochlorite and chlorhexidine against Enterococcus faecalis: A review on agar diffusion and direct contact methods. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 16(1), 9-16.
- Manoil, D., Al-Manei, K., & Belibasakis, G. N. (2020). A systematic review of the root canal microbiota associated with apical periodontitis: lessons from next-generation sequencing. *PROTEOMICS-Clinical Applications*, 14(3), 1900060.
- Mozo, S., Llena, C., & Forner, L. (2011). Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Medicina oral, patologia oral y cirugia bucal*, 17(3), e512.
- Nassar, R., Nassar, M., Mohamed, L., Senok, A., & Williams, D. (2025). Characterization and ex vivo modelling of endodontic infections from the Arabian Gulf region. *International endodontic journal*, 58(7), 1091-1108.
- Neelakantan, P., Romero, M., Vera, J., Daoood, U., Khan, A. U., Yan, A., & Cheung, G. S. P. (2017). Biofilms in endodontics—current status and future directions. *International journal of molecular sciences*, 18(8), 1748.
- Pinto, K., Barbosa, A., Silva, E., Santos, A., & Sassone, L. (2023). What is the microbial profile in persistent endodontic infections? A scoping review. *Journal of Endodontics*, 49(7), 786-798. e787.
- Qian, W., Ma, T., Ye, M., Li, Z., Liu, Y., & Hao, P. (2019). Microbiota in the apical root canal system of tooth with apical periodontitis. *BMC genomics*, 20(Suppl 2), 189.
- Ramachandra, S. S., Wright, P., Han, P., Abdal-hay, A., Lee, R. S., & Ivanovski, S. (2023). Evaluating models and assessment techniques for understanding oral biofilm complexity. *MicrobiologyOpen*, 12(4), e1377.
- Ricucci, D., & Siqueira Jr, J. F. (2010). Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *Journal of Endodontics*, 36(8), 1277-1288.
- Rôças, I. (2022). Present status and future directions: Microbiology of endodontic infections.
- Sánchez-Sanhueza, G., Bello-Toledo, H., González-Rocha, G., Gonçalves, A., Valenzuela, V., & Gallardo-Escárate, C. (2018). Metagenomic study of bacterial microbiota in persistent endodontic infections using next-generation sequencing. *International endodontic journal*, 51(12), 1336-1348.
- Schaudinn, C., Jaramillo, D., Freire, M., Sedghizadeh, P., Nguyen, A., Webster, P., . . . Jiang, C. (2013). Evaluation of a nonthermal plasma needle to eliminate ex vivo biofilms in root canals of extracted human teeth. *International endodontic journal*, 46(10), 930-937.

- Schoppmeier, C. M., Classen, G. L., Contini, S., Rebmann, P., Brendlen, D., Wicht, M. J., & Barbe, A. G. (2025). Introducing a Novel Paper Point Method for Isolated Apical Sampling—The Controlled Apical Sampling Device: A Methodological Study. *Biomedicines*, 13(6), 1477.
- Shin, J. M., Luo, T., Lee, K. H., Guerreiro, D., Botero, T. M., McDonald, N. J., & Rickard, A. H. (2018). Deciphering endodontic microbial communities by next-generation sequencing. *Journal of Endodontics*, 44(7), 1080-1087.
- Šimundić Munitić, M., Poklepović Perićić, T., Utrobičić, A., Bago, I., & Puljak, L. (2019). Antimicrobial efficacy of commercially available endodontic bioceramic root canal sealers: A systematic review. *PLoS One*, 14(10), e0223575.
- Singh, S., & Bolla, N. (2024). Endocator-paradigm shift in the evaluation of microbial load in root canals. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27(2), 111-112.
- Siqueira Jr, J. F., & Rôças, I. N. (2003). PCR methodology as a valuable tool for identification of endodontic pathogens. *Journal of Dentistry*, 31(5), 333-339.
- Siqueira Jr, J. F., & Rôças, I. N. (2022). A critical analysis of research methods and experimental models to study the root canal microbiome. *International endodontic journal*, 55, 46-71.
- Siqueira Jr, J. F., Silva, W. O., Romeiro, K., Gominho, L. F., Alves, F. R., & Rôças, I. N. (2024). Apical root canal microbiome associated with primary and posttreatment apical periodontitis: A systematic review. *International endodontic journal*, 57(8), 1043-1058.
- Sterzenbach, T., Neumann, V., Trips, E., Basche, S., Hannig, C., & Kühne, M.-T. (2024). Establishment of a protocol for viability qPCR in dental hard tissues. *Microorganisms*, 12(7), 1400.
- Sun, X., Yang, Z., Nie, Y., & Hou, B. (2022). Microbial communities in the extraradicular and intraradicular infections associated with persistent apical periodontitis. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 11, 798367.
- Swimberghe, R., Coenye, T., De Moor, R., & Meire, M. (2019). Biofilm model systems for root canal disinfection: a literature review. *International endodontic journal*, 52(5), 604-628.
- Tan, K. S., Yu, V. S. H., Quah, S. Y., & Bergenholtz, G. (2015). Rapid method for the detection of root canal bacteria in endodontic therapy. *Journal of Endodontics*, 41(4), 447-450.
- Tonini, R., Salvadori, M., Audino, E., Sauro, S., Garo, M. L., & Salgarello, S. (2022). Irrigating solutions and activation methods used in clinical endodontics: a systematic review. *Frontiers in Oral Health*, 3, 838043.
- Uğur Aydın, Z., Korucu, H., Bulak Yeliz, S., Demirkaya, K., & Can Demirdöğen, B. (2026). A clinical next-generation sequencing study on the microbial profiles of asymptomatic apical periodontitis in type 2 diabetic and systemically healthy individuals following adjuvant antimicrobial photodynamic therapy. *Clinical Oral Investigations*, 30(2), 75.
- Usha, H. (2010). Biofilm in endodontics: New understanding to an old problem. *International Journal of Contemporary Dentistry*, 1(3).
- Williams, J. M., Trope, M., Caplan, D. J., & Shugars, D. C. (2006). Detection and quantitation of *E. faecalis* by real-time PCR (qPCR), reverse transcription-PCR (RT-PCR), and cultivation during endodontic treatment. *Journal of Endodontics*, 32(8), 715-721.
- Wong, J., Manoel, D., Näsman, P., Belibasakis, G. N., & Neelakantan, P. (2021). Microbiological aspects of root canal infections and disinfection strategies: an update review on the current knowledge and challenges. *Frontiers in Oral Health*, 2, 672887.
- Yolcu, E. N., Tartuk, G. A., Kaya, S., & Eskibağlar, M. (2021). The use of confocal laser scanning microscopy in endodontics: A literature review. *Turk Endod J*, 6(2), 55-60.

BÖLÜM 2

ENDODONTİK TEDAVİ ÖNCESİ KORONAL YAPILANDIRMA (PRE-ENDODONTİK BUILD-UP): BİYOMEKANİK İLKELER VE GÜNCEL KLİNİK TEKNİKLER

Enver FAYDALI¹

¹ Arş. Gör. Dt., Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Konya/Türkiye. ORCID: 0009-0007-6627-0723.
E-posta: enverfaydali@gmail.com

Endodontik tedavinin nihai amacı, pulpa ve periapikal dokulardaki patolojilerin önlenmesi veya iyileştirilmesidir. Geleneksel tedavi algısında endodonti ile restoratif diş hekimliği birbirini ardışık olarak izleyen iki bağımsız disiplin olarak görülmüş; yapısal bütünlüğünü büyük ölçüde yitirmiş dişlerde önce kök kanallarına erişim sağlanması, restoratif adımların ise kanal tedavisi sonrasına bırakılması standart bir protokol kabul edilmiştir. Ancak güncel kanıtlar bu “önce endodonti, sonra restorasyon” paradigmasının tedavi boyunca asepsi zincirini kırdığını, irrigasyon dinamiklerini zayıflattığını, çalışma boyu hassasiyetini bozduğunu ve dişin biyomekanik direncini tehlikeye attığını ortaya koymaktadır (Gavriil ve ark., 2021).

Bu bağlamda “Pre-Endodontik Build-Up” (endodontik tedavi öncesi koronal yapılandırma) konsepti yalnızca estetik veya restoratif bir ön hazırlık değil; kök kanal tedavisinin biyolojik, kimyasal ve mekanik hedeflerine ulaşabilmesi için gerekli altyapının kurulmasıdır. İşlem, çürük, travma veya başarısız restorasyonlar nedeniyle koronal duvarlarını yitirmiş dişlerde, kanal tedavisine başlanmadan hemen önce eksik duvarların adeziv teknikler ve uygun biyomateriyallerle yeniden inşa edilmesini ifade eder. Endodontik tedavinin kalbi olan dezenfeksiyon ve üç boyutlu obturasyon süreçleri, ancak sınırları net, sızdırmazlığı sağlanmış ve biyomekanik olarak desteklenmiş bir koronal mimari içinde öngörülebilir bir başarıya ulaşabilir (Gavriil ve ark., 2021; Khanvilkar ve ark., 2024).

Koronal sızıntının endodontik başarı üzerindeki belirleyici etkisi, literatürde bir dönüm noktası kabul edilen Ray ve Trope çalışmasıyla gösterilmiştir. Bu retrospektif değerlendirme, kusursuz bir apikal tıkanmanın dahi yetersiz bir koronal restorasyon varlığında periapikal enflamasyonu önleyemediğini saptamış; koronal sızdırmazlığın periapikal sağlık üzerinde apikal sızdırmazlık kadar, hatta bazı koşullarda daha fazla etkili olduğunu ortaya koymuştur (Ray & Trope, 1995). Kök kanal dolgusu ne denli kusursuz olursa olsun, ağız ortamından gelen bakteriler, toksinler ve tükürük enzimleri sızdıran bir koronal yapıdan geçerek apikale ulaşabilir. Pre-endodontik build-up konsepti, bu sızdırmazlık bariyerini tedavinin en başında, henüz kök kanallarına alet sokulmadan kurarak endodontik işlemin steril ve izole bir “kapalı sistem” içinde yürütülmesini hedefler (Gavriil ve ark., 2021).

Bu bölümde; pre-endodontik koronal yapılandırmanın mikrobiyal izolasyon, irrigasyon hidrodinamiği, çalışma boyu stabilizasyonu, seanslar arası mikrosızıntı kontrolü, dentin mühürleme ve biyomekanik direnç üzerindeki etkileri ele alınmakta; güncel klinik sınıflandırmalar, operasyonel teknikler ve subgingival derin marjinlerin endodontik perspektiften yönetimi kanıta dayalı literatür ışığında incelenmektedir.

1. Mikrobiyal İzolasyon ve Asepsi Zincirinin Biyomekanik Temelleri

Endodontik enfeksiyonların temel etyolojisi mikroorganizmalar ve onların oluşturduğu biyofilmlerdir. Pulpal ve periapikal hastalıkların tedavisi, mevcut mikrobiyal yükün kemomekanik yöntemlerle ortadan kaldırılmasına ve dış ortamdan yeni patojenlerin kanal sistemine girişinin engellenmesine dayanır. Çağdaş endodonti ilkeleri, tüm preparasyon ve obtürasyon aşamalarının kusursuz aseptik teknikle ve kauçuk örtü (rubber dam) izolasyonu altında gerçekteştirilmesini zorunlu kılar; ancak bu kural, yapısal bütünlüğünü yitirmiş dişlerde klinik bir çıkmaza dönüşür (Gavriil ve ark., 2021; Ray & Trope, 1995).

1.1. Rubber Dam Dinamikleri ve Diş Eti Oluğu Sıvısı Baskısı

Koronal duvarları kısmen veya tamamen eksik bir dişte rubber dam uygulandığında, metal klempin servikal bölgeye stabil tutunması biyomekanik olarak olanaksızlaşır. Sağlam duvarların yokluğu klempin diş etine kaymasına, yumuşak dokunun travmatize olmasına ve izolasyonun tam sağlanamamasına yol açar. İzolasyonun kurulamadığı ortamda tükürük ve kreviküler sıvı sürekli çalışma sahasına dolar; bu da kanal sistemine, o bölgede normalde bulunmayan ağız florası patojenlerinin girmesine ve periapikal iyileşmenin engellenmesine neden olur (Gavriil ve ark., 2021).

Pre-endodontik build-up, eksik dokuyu restoratif materyallerle tamamlayarak dişe yapay bir “dört duvarlı” anatomi kazandırır ve klempin güvenli, kaymaz biçimde yerleştirilmesine olanak tanır. Diş eti seviyesi altındaki defektler kompozit rezinle kapatıldığında, kauçuk örtü ile diş yüzeyi arasında mükemmel bir sıvı sızdırmazlık bariyeri oluşur. Bu bariyer yalnızca tükürük ve kreviküler sıvının kanala sızmasını değil, yüksek konsantrasyonlu sodyum hipoklorit gibi tahriş edici irrigasyon solüsyonlarının ağız boşluğuna veya periyodonsiyuma kaçmasını da önler. İzolasyonun sağlanamadığı bir dişin tedavisini sürdürmek bakteriyel açıdan kabul edilemez; klemp tutunmuyorsa sorun bir yalıtım meselesi değil, tedavi planının yeniden ele alınmasını gerektiren bir restore edilebilirlik problemidir (Gavriil ve ark., 2021).

2. İrrigasyon Hidrodinamiği ve Sinerjistik Dezenfeksiyon

Kök kanal sisteminin mikro-anatomisi; ana kanalların ötesinde lateral ve aksesuar kanallar, apikal ramifikasyonlar ve isthmuslar gibi karmaşık yapılar içerir. Nikel-titanyum veya paslanmaz çelik aletlerle yapılan mekanik enstrümantasyon kanal duvarlarının yalnızca bir bölümüne temas edebildiğinden, ulaşılamayan bölgelerdeki organik artıkların ve biyofilmin uzaklaştırılması büyük ölçüde kimyasal irrigasyon solüsyonlarının doku çözücü ve

antimikrobiyal kapasitesine bağlıdır. Bir solüsyonun etkinliği yalnızca kimyasal içeriğiyle değil; kanal içindeki sıvı dinamiği, temas süresi ve etki ettiği yüzey alanıyla da doğrudan ilişkilidir.

2.1. Rezervuar Etkisi ve Kesintisiz Sıvı Sütunu

Koronal duvarları yıkılmış bir dişte erişim kavitesi açıldığında, enjekte edilen solüsyon kanal içinde tutunamaz; yerçekimi ve yüzey gerilimi nedeniyle eksik duvarlardan taşar. Bu durum aktif solüsyon hacminin kritik düzeylerin altına inmesine ve apikal üçlüye ulaşma kapasitesinin azalmasına yol açar. Koronal duvarların yeniden inşası ise pulpa odasını sürekli sıvı tutabilen yapısal bir rezervuara dönüştürür (Gavriil ve ark., 2021).

Bu rezervuar etkisi irrigasyon hidrodinamiğini birkaç mekanizma üzerinden güçlendirir. Yapılandırılmış koronal duvarların yarattığı hazne, kanalın sürekli olarak yüksek hacimli ve taze solüsyonla dolu kalmasını sağlar; biriken sıvının hidrostatik basıncı, “crown-down streaming” adı verilen mekanizmayla solüsyonun apikale doğru sürekli akışına olanak tanır. Bu basınç gradyanı, apikal üçlüde dezenfektanların dentin tübüllerine girişini engelleyen smear tabakasının daha etkili uzaklaştırılmasına ve tübül açılma oranının artmasına katkıda bulunur (Gavriil ve ark., 2021).

Solüsyonların yalnızca şırıngayla verilmesi (pozitif basınçlı irrigasyon) çoğu zaman yeterli olmaz; pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) veya sonik aktivasyon ile etkinlik artırılır. Ancak bu cihazların kanalda kavitasyon ve akustik akış üretebilmesi için ucun kesintisiz bir sıvı sütunu içinde serbestçe titreşmesi gerekir. Duvarları eksik bir dişte aktivasyon yapıldığında sıvı saçılır, sütun çöker ve aktivasyonun biyofiziksel etkileri ortadan kalkar. Korunan koronal hazne ise akustik enerjinin kayıpsız biçimde kanalın en derin ve kavisli noktalarına iletilmesini sağlar; bu sayede kanal patının dentin tübüllerine penetrasyon derinliği ve yüzdesi anlamlı ölçüde artar (Gavriil ve ark., 2021; Khanvilkar ve ark., 2024).

3. Çalışma Boyu Stabilizasyonu ve Operasyonel Hassasiyet

Kök kanal tedavisinin biyolojik sınırlarını belirleyen en kritik operasyonel adım çalışma boyu (working length) ölçümüdür. Çalışma boyu, koronaldeki sabit bir referans noktasından preparasyon ve obtürasyonun sonlandırılacağı apikal limite kadar olan mesafedir; ideal olarak apikal konstrüksiyonda çalışmak periapikal dokularda oluşacak yara yüzeyini en aza indirerek iyileşmeyi destekler (Gavriil ve ark., 2021).

3.1. Geometrik Yanılguların Önlenmesi ve Referans Noktaları

Yapısal bütünlüğü bozulmuş, çürük tüberküllere veya düzensiz kırık hatlarına sahip dişlerde, eğeler üzerindeki lastik stoperlerin her girişte hizalanacağı güvenilir ve düz bir yüzey bulunmaz. Stoperin eğimli veya ufalanan bir mine kenarına farklı açılarla teması, aletin kök içinde yarım ila bir milimetre daha derine veya yüzeye çalışmasına yol açabilir. Apikal bölgedeki bu sapma; apikal foramenin genişlemesi (zipping), transportasyon veya enfekte materyalin periapikal dokulara itilmesi gibi sonuçlar doğurarak postoperatif ağrı ve başarısızlık riskini artırır. Ayrıca çok seanslı tedavilerde desteksiz bir tüberkülün seanslar arasında kırılması, kaydedilmiş tüm çalışma boyu verilerinin geçersiz hale gelmesi anlamına gelir (Gavriil ve ark., 2021).

Pre-endodontik build-up aşamasında eksik duvarlar yüksek dirençli materyallerle yeniden inşa edildikten sonra oklüzal yüzey, elmas frezlerle düzgün bir düzleme kavuşturulur. Bu düzleştirilmiş oklüzal tabla, tüm seanslar boyunca değişmeyecek stabil bir referans düzlemi sunar; aletlerin kanala oryantasyonunu kolaylaştırır ve alet kırılmalarını azaltır (Tanikonda, 2016).

3.2. Elektronik Apeks Bulucuların Optimizasyonu

Çalışma boyu günümüzde büyük ölçüde elektronik apeks bulucularla (EAL) belirlenir. Bu cihazların empedans prensibiyle doğru çalışabilmesi için pulpa odasının görece kuru olması ve kanal içindeki sıvının ağız ortamındaki tükürükle kısa devre yapmaması gerekir. Koronal duvarları eksik bir dişte çevre dokulardan sızan kanama veya tükürük elektriksel devreyi erken tamamlayarak hatalı ölçümlere neden olur. Pre-endodontik koronal yapılandırma, dışı dış ortamdan yalıtarak sızıntı kaynaklı kısa devreleri engeller ve apeks bulucuların ölçüm hassasiyetini artırır (Gavriil ve ark., 2021).

4. Seanslar Arası Temporizasyon ve Mikrosızıntı Yönetimi

Kök kanal tedavileri; inatçı enfeksiyonlar, geniş periapikal lezyonlar veya kompleks anatomi nedeniyle çoğu zaman tek seansta tamamlanamaz. Seanslar arasında kanal sistemini dış ortamdan izole etmek için geçici dolgu (temporizasyon) kullanılır. Bu süreç en az irrigasyon kadar kritiktir; en küçük bir mikrosızıntı, kanala yerleştirilen kalsiyum hidroksit gibi medikamanların yıkanmasına ve kanalların yeniden enfekte olmasına yol açabilir (Gavriil ve ark., 2021).

4.1. Konvansiyonel Geçici Dolguların Biyomekanik Zafiyetleri

Geleneksel çinko oksit kalsiyum sülfat bazlı geçiciler veya konvansiyonel cam iyonomer simanlar, çiğneme kuvvetlerine karşı düşük dirençli ve kırılğan materyallerdir. Dört duvarı sağlam bir kavitede sızdırmazlık potansiyelleri kabul edilebilirken, duvarların eksik olduğu durumlarda materyal çevre dokudan destek bulamaz; ilk çiğneme hareketinde esner, ufalanır veya kavite duvarından ayrılarak marjinal sızıntıya kapı aralar. Ayrıca subgingival sınırlı eksik duvarlı dişlerde, seanslar arasında hipertrofik diş eti dokusu kavite içine doğru büyüyebilir; bir sonraki seansta geçici sökülürken kanamaya yatkın bu dokuyla karşılaşılır, görüş ve yeni bir izolasyon sağlamak güçleşir (Gavriil ve ark., 2021; Topçuoğlu ve ark., 2025).

4.2. Pre-Endodontik Sealing (PES) Tekniği ve Adeziv Çözümler

Pre-endodontik build-up, eksik duvarları kalıcı restoratif materyallerle inşa ederek pulpa odasını ideal bir “kutu” formuna getirir; bu dört duvarlı form, geçici dolgunun fiziksel olarak sıkışmasını ve çevresel destek bulmasını garanti eder. Geçici materyallerin sızdırmazlığını daha da artırmak için literatürde Pre-Endodontik Sealing (PES – endodontik öncesi mühürleme) tekniği tanımlanmıştır. Konvansiyonel yaklaşımda geçici doğrudan çıplak dentin üzerine yerleştirilirken, PES tekniğinde erişim kavitesinin tüm duvarlarına tedaviye başlamadan önce bir adeziv sistem ve ince bir akışkan kompozit tabakası uygulanarak yüzeyler mühürlenir (Rodriguez ve ark., 2025).

Termal siklus testleri ve metilen mavisi boya penetrasyonu kullanılan in-vitro değerlendirmelerde, polimerik bir alt yapı oluşturmaının geçici restorasyonların marjinal sızıntısını çıplak dentine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı ölçüde azalttığı gösterilmiştir. Mühürlenmiş kompozit yüzey, özellikle benzer termal genleşme katsayısına sahip polimer bazlı veya rezin modifiye geçicilerle mükemmel kenar uyumu sergiler. Buna karşılık PES yaklaşımının klasik çinko oksit sülfat bazlı veya konvansiyonel cam iyonomer geçicilerle aynı belirgin etkiyi vermediği; polimerik geçicilerle birlikte kullanımının önemli olduğu vurgulanmaktadır (Rodriguez ve ark., 2025).

5. Anında Pre-Endodontik Dentin Mühürleme (IPDS) ve Hibrid Tabakanın Korunması

Pre-endodontik yapılandırma protokollerinin restoratif diş hekimliğinde yarattığı en önemli yeniliklerden biri, “Immediate Pre-Endodontic Dentin Sealing” (IPDS – anında pre-endodontik dentin mühürleme) kavramıdır. Bu yaklaşım, dentinin mikroskopik düzeydeki bağlanma dinamiklerini korumayı hedefler (Carvalho ve ark., 2025).

Kompozit rezinlerin dentine bağlanması, asit pürüzlendirmesiyle açığa çıkan kollajen fibril ağının arasına adeziv rezinin sızarak mikromekanik bir kilit (hibrid tabaka) oluşturmasına dayanır. Endodontik irrigasyonda rutin ve zorunlu olarak kullanılan sodyum hipoklorit (NaOCl), güçlü bir doku çözücüdür; ancak bu proteolitik etki yalnızca nekrotik pulpayı değil, pulpa odası ve koronal dentin duvarlarındaki sağlıklı kollajen fibrillerini de geri dönüşümsüz biçimde parçalar. Koronal yapılandırma geleneksel yöntemdeki gibi tedavi (ve yoğun NaOCl maruziyeti) sonrasına bırakılırsa, klinisyen adeziv sistem uyguladığında bağlanacak sağlam bir kollajen ağı bulamaz; in-vitro mikrotensil bağlanma dayanımı çalışmaları, NaOCl ile yıkanmış dentine sonradan uygulanan kompozitlerde bağlanma dayanımının işlem görmemiş dentine kıyasla belirgin biçimde düştüğünü göstermektedir (Carvalho ve ark., 2025).

IPDS tekniğinde bu kimyasal hasarın önüne geçilir. Çürük doku temizlenip sağlıklı dentin sınırlarına ulaşıldıktan sonra, ancak henüz kanala girilip NaOCl irrigasyonuna başlanmadan önce, açıkta kalan tüm sağlıklı koronal dentin yüzeylerine adeziv sistem ve akışkan kompozit uygulanarak yüzey mühürlenir. Erken aşamada gerçekteştirilen bu dentin hibridizasyonu açık tübülleri derhal kapatır ve rezin–dentin bağ kuvvetini en güçlü halinde muhafaza eder; daha sonra pulpa odası NaOCl ile yıkansa bile mühürlü kompozit tabaka altındaki kollajeni korur. Bunun klinik anlamı büyüktür: tedavi bitiminde bağlanma gücünü geri kazanmak için dentin yüzeyinden yeniden sağlam doku kaldırmaya gerek kalmaz, böylece diş dokusu en üst düzeyde korunur ve hibrid tabaka, patojenlerin tübüllerden sızmasına karşı ek bir bariyer oluşturur (Carvalho ve ark., 2025).

6. Biyomekanik Bütünlük ve Kırılma Direncinin Optimizasyonu

Endodontik tedavi gören dişlerin kırılma direnci, yaygın inanışın aksine öncelikle pulpanın çıkarılmasına bağlı dehidrasyondan değil; çürük, travma, geniş eski restorasyonlar ve erişim kavitesinin açılması nedeniyle dişin mimari bütünlüğünü sağlayan koronal dentin hacminin (özellikle oklüzal tavan ve marjinal sırtların) kaybedilmesinden kaynaklanır (Topçuoğlu ve ark., 2025).

6.1. Tedavi Sürecinde Kırık Risklerinin Yönetimi

Endodontik tedavi haftalara yayılabilir. Bu sürede, özellikle geniş mezio-oklüzo-distal (MOD) kaviteli dişlerde desteksiz kalmış ince duvarlar oklüzal kuvvetlere maruz kalır; rubber dam klempinin çeneleri de zayıflamış yapılara sürekli ve konsantre stres uygular. Seanslar arasında higroskopik genleşmesi yüksek konvansiyonel geçiciler kullanılırsa, materyalin nem alarak şişmesi ince tüberküllere içeriden kuvvet uygulayarak dişin çatlamasına veya onarılamaz

vertikal kök kırıklarına yol açabilir. Tedavi sırasında bir dişin kırılması, tüm emeğin boşa gitmesi ve çoğu zaman çekimle sonuçlanan ciddi bir komplikasyondur (Khanvilkar ve ark., 2024; Topçuoğlu ve ark., 2025).

Pre-endodontik build-up, eksik anatomik duvarları kalıcı ve yüksek dirençli polimerik materyallerle yeniden inşa ederek dişe tedavi sürecinde dahi kullanılabilir bir mekanik direnç ve çember (ferrule) etkisi kazandırır; oklüzal streslerin lokal birikmesini engelleyerek kuvvetlerin uzun eksen boyunca daha homojen dağılmasını sağlar. In-vitro kırılma direnci çalışmaları, eksik duvarları kompozit rezinle yapılandırılmış üst premolar dişlerin kırılma direncinin, yalnızca konvansiyonel geçici ile bırakılanlara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı ölçüde yüksek olduğunu göstermektedir. Yapılandırma ayrıca kırık modlarını onarılamaz türden onarılabılır koronal kırıklara kaydırarak dişin klinik sağkalımını artırır (Gavriil ve ark., 2021; Topçuoğlu ve ark., 2025).

7. Klinik Sınıflandırma Sistemleri

Klinisyenlerin yapısal bütünlüğü bozulmuş dişlerde vaka zorluğunu objektif değerlendirebilmesi, uygun matris sistemini seçebilmesi ve stratejilerini standardize edebilmesi için kapsamlı sınıflandırmalara ihtiyaç vardır. Bu alandaki güncel, sistematik ve klinik odaklı yaklaşımlardan biri Khanvilkar ve Pawar tarafından önerilen sınıflandırmadır. Sistem; pre-endodontik vakaları eksik kavite duvarlarının sayısına, lezyonun geometrisine ve eksik duvarların gingival basamakla ilişkisine göre beş ana sınıfta değerlendirerek karar verme sürecine doğrudan rehberlik eder (Khanvilkar ve ark., 2024).

Tablo 1. Khanvilkar ve Pawar pre-endodontik build-up sınıflandırması

Sınıf	Kusurun topografik tanımı	Alt sınıflar ve gingival sınır ilişkisi
Tip I	Oklüzal kavite. Tüm çevresel duvarlar mevcut, ancak dentin hacminde kayıp var.	Kalan dentine göre derecelenir: minimal (>%70), orta (~%50) ve aşırı (<%30) dentin kaybı.
Tip II	Proksimal kavite. Proksimal duvarlardan biri veya her ikisi eksik.	Tip II-1: yalnız mezial ya da distal duvar eksik. Tip II-2: hem mezial hem distal (MOD) eksik. Gingival sınır supra-, ekvi- veya subgingival olabilir.
Tip III	Bukkal veya lingual/palatinal yüzey kaybı.	Tip III-1: yalnız bir yüz duvarı eksik. Tip III-2: hem bukkal hem lingual/palatinal eksik. Gingival sınır supra-/ekvi-/subgingival.
Tip IV	İkiden fazla duvarın eksik olduğu, ancak tüm yüzeylerin kaybedilmediği kompleks defektler.	Farklı gingival marjin seviyelerine sahip çoklu asimetrik duvar kayıpları; gingival sınır değişkenlik gösterir.
Tip V	Tüm koronal duvarların (360°) eksik olduğu masif yıkım vakaları.	Sıklıkla ortodontik ekstrüzyon veya kuron boyu uzatma değerlendirilir; gingival sınır genellikle subgingival.

Bu taksonomi yapılandırma stratejisini doğrudan etkiler. Örneğin Tip II-1 supragingival bir defekt basit bir matris sistemiyle yapılandırılabilirken; Tip II-2 veya Tip IV subgingival defektlerde derin marjin yükseltme prosedürü ve sıvı rubber dam kullanımı gündeme gelir. Sistem, klinisyenin zorluk derecesini önceden öngörmesini, uygun restoratif materyali seçmesini ve endodontik girişimi optimize etmesini sağlar (Khanvilkar ve ark., 2024).

8. Operasyonel Yapılandırma Teknikleri ve Endodontik Uygulamaları

Yapılandırma sürecinde defektin geometrisine, dişin konumuna ve izole edilebilirliğine göre çeşitli teknikler kullanılır. Seçilen yaklaşım yalnızca restoratif bütünlüğü sağlamakla kalmamalı; çok kanallı dişlerde kanallara düz hat erişimini (straight-line access) garanti altına alacak biçimde entegre edilmelidir (Gavriil ve ark., 2021).

8.1. Doughnut (Halka) Tekniği

Adını, oluşturulan formun ortası boş bir halkaya benzemesinden alan *doughnut* tekniğinde, dişin yalnızca çevresel (periferik) duvarları kompozit rezinle inşa edilirken merkezdeki pulpa

odası ve kanal ağızları endodontik işlem için boş bırakılır. Çürük dentin uzaklaştırılıp zayıf mineler desteklendikten sonra dişin çevresine dairesel bir matris adapte edilir. Kompozitin pulpa odası tabanına akıp kanal ağızlarını tıkamasını önlemek için tabana teflon bant (PTFE), küçük pamuk peletler, geçici rezin bariyer (liquid dam) veya termoplastik güta-perka yerleştirilir. Diş dokuları IPDS ilkelerine göre asitlenip adeziv uygulandıktan sonra eksik çevresel duvarlar anatomik sınıra kadar inşa edilir ve polimerizasyon sonrası tabandaki bariyer uzaklaştırılır (Gavriil ve ark., 2021; Heydrich, 2005).

Teknik, geniş ve merkezi bir erişim kavitesi sunarak döner aletlerin kanallara engelsiz girmesine olanak tanır ve görüş alanını daraltmaz. Başlıca dezavantajı, özellikle matris adaptasyonunun güç olduğu durumlarda kompozit fazlalıklarının (overhang) oluşma riskidir (Gavriil ve ark., 2021; Heydrich, 2005).

8.2. Kanal Projeksiyon Tekniği (Canal Projection)

Şiddetli kuron yıkımı olan, pulpa odası sınırlarının kaybolduğu veya perforasyon riski taşıyan vakalarda kanalları oklüzal yüzeye güvenle taşımak için kullanılan sofistike bir yöntemdir. Klinik erişilebilirlik ve maliyet gözetildiğinde kalın açılı (greater taper) güta-perka konları veya paslanmaz çelik iğnelerle de yüksek başarıyla uygulanır (Tanikonda, 2016).

Uygulamada kanallar tespit edildikten sonra kanal ağızları (orifis) Gates-Glidden veya orifis genişletici aletlerle hafifçe açılır; her ağza tam sızdırmaz oturan kalın açılı güta-perka konları yerleştirilir. Tüm kavite dentini asitlenip adeziv uygulandıktan sonra, önce akışkan ardından bulk-fill/hibrid kompozitle konların etrafı tabandan oklüzale kadar tek blok halinde doldurulur ve ışıkla sertleştirilir. Resin sertleştikten sonra güta-perkalar ısıtılmış bir H-tipi eğyle yumuşatılıp çevrilerek çıkarılır; elde edilen bloğun oklüzal yüzeyi düzleştirilerek milimetrik referans noktaları oluşturulur (Tanikonda, 2016).

Bu yöntemle kanal ağızları doğrudan oklüzal yüzeye yansıtılır; klinisyen karanlık ve kanamalı bir odada körlemesine kanal arama yükünden kurtulur ve aletler projelendirilmiş tüplerin içinden kanallara sürtünmesiz yönlendirilir. Pulpa odası tabanında iyatrojenik bir perforasyon varsa kompozit kütlesi bu defekti kalıcı olarak kapatır. En çarpıcı endodontik avantaj obturasyon aşamasında görülür: oluşturulan yapay kompozit kanallar, sıcak vertikal kompaksiyon sırasında bir hidrolik hazne işlevi görerek tıkama basıncını kök ucuna odaklar ve üç boyutlu sızdırmazlığa katkı sağlar (Tanikonda, 2016).

8.3. Açık Sandviç Tekniği ve MAST Kuron Yaklaşımı

Derin subgingival defektlerde nem kontrolünün sağlanamadığı veya kompozit polimerizasyonunun diş eti oluğu sıvısıyla bozulabileceği istisnai durumlarda açık sandviç tekniği uygulanır. Defektin en derin tabakasına dentine bağlanma afinitesi yüksek ve görece nem toleranslı rezin modifiye cam iyonomer siman (RMGIC), üst koronal yapıya ise dayanıklı kompozit rezin yerleştirilir. Flor salınımı gibi avantajları olsa da, kompozit kadar dirençli olmaması nedeniyle endodontik yıkama solüsyonları karşısında mikrosızıntı açısından dezavantajlı olabilir (Gavriil ve ark., 2021). Ön grup dişlerdeki geniş travmatik kırıklarda ise şeffaf kuron formlarının (strip crown) kullanıldığı MAST (Maintain Access Strip Technique) kuron yöntemi öne çıkar; bu teknikte dişin anatomik formu kompozitle yeniden kazandırılırken, güta-perka konlarıyla kanal projeksiyonu sağlanarak palatinal yüzeyden endodontik giriş yolu korunur ve estetik hızla geri kazandırılır (Donovan ve ark., 2023).

9. Subgingival Marjinlerin Yönetimi: Derin Marjin Yükseltme (DME)

Koronal doku kaybının gingival sınırın derinlerine, subgingival bölgeye ve bazen krestal kemiğe ilerlediği durumlar (Khanvilkar ve Pawar Tip II ve Tip V), izolasyonun, restorasyonun ve endodontik tedavinin en kompleks senaryolarını oluşturur (Khanvilkar ve ark., 2024).

9.1. Geleneksel İnvaziv Yaklaşımların Çıkması

Geçmişte subgingival çürük veya kırıkları olan bu tür dişler için sıklıkla cerrahi kuron boyu uzatma (SCL) veya yavaş ortodontik ekstrüzyon önerilmiştir. Ancak periodontal cerrahi, dişi çevreleyen alveolar destek kemiğini geri dönüşümsüz biçimde azaltır; biyomekanik açıdan kritik olan kuron-kök oranını bozar, çok köklü dişlerde furkasyonu açığa çıkarabilir ve komşu dişlerin kemik seviyelerini düşürebilir. Uzun dönem klinik veriler, cerrahi kuron boyu uzatma uygulanmış posterior endodontik tedavili dişlerde kaybedilme ve çekim riskinin cerrahi görmeyenlere oranla belirgin biçimde arttığını vurgulamaktadır (Gavriil ve ark., 2021; Kok & Sykes, 2024).

9.2. Minimal İnvaziv Alternatif ve Derecelendirme

Bu yıkıcı yaklaşımlara konservatif bir alternatif olarak, ilk kez Dietschi ve Spreafico tarafından literatüre kazandırılan derin marjin yükseltme (Deep Margin Elevation – DME / servikal marjin relokasyonu) konsepti geliştirilmiştir. DME, ulaşılamayan subgingival marjinlerin özel kavisli matris sistemleri ve adeziv kompozit teknolojileriyle supragingival, yani klinik olarak

ulaşılabilir, izole edilebilir ve ölçü alınabilir bir seviyeye cerrahisiz olarak yükseltilmesidir (Kok & Sykes, 2024).

DME'nin uygulanabilirliği, defektin derinliği ve dişin suprakrestal doku ataşmanı (eski adıyla biyolojik genişlik) ile ilişkisi bağlamında Veneziani tarafından üç derecede sınıflandırılmıştır (Kok & Sykes, 2024).

Tablo 2. Derin marjin yükseltme (DME) için Veneziani derecelendirmesi

Derece	Klinik özellik ve yaklaşım
Grade I	Standart rubber dam sulkus içine yerleştirildiğinde defektin servikal sınırı net biçimde izole edilir ve görünürdür; standart restoratif prosedürler uygulanır.
Grade II	Marjin standart izolasyon için fazla derindir, ancak krestal kemik mesafesi korunduğundan suprakrestal doku ataşmanı ihlal edilmez; modifiye matrisleme ve PTFE bantla güçlü retraksiyon sağlanarak DME güvenle uygulanabilir.
Grade III	Derin marjin krestal kemiğe ilerlemiş ve suprakrestal doku ataşmanını ihlal etmiştir; matrisin oturacağı diş yapısı yoktur. Bu vakalarda cerrahi kuron uzatma veya ortodontik ekstrüzyon kaçınılmazdır.

9.3. Endodontik Perspektiften DME'nin Rolü

Restoratif bir prosedür gibi görünen DME, aslında endodontik tedaviyi kurtaran kilit bir manevradır. Kanal tedavisi öncesinde uygulanan DME, klempin tutunması için stabil bir duvar oluşturarak izolasyonu kusursuzlaştırır. Diş eti hizasından aşağı inen kavitelerde DME yapılmadan endodontiye başlandığında, kanala gönderilen yüksek hacimli sodyum hipokloritin eksik duvardan periyodonsiyuma sızarak hipoklorit kazalarına, doku nekrozuna ve şiddetli postoperatif ağrıya neden olma riski yüksektir; DME bu kimyasal sızıntıyı engeller (Gavriil ve ark., 2021; Kok & Sykes, 2024).

Subgingival marjini supragingival seviyeye yükselten DME, tedavi boyunca restoratif sınırı görünür ve erişilebilir tutar; böylece apikal obturasyon biter bitmez koronal sızdırmazlık restorasyonu kontaminasyon riski olmadan yapılabilir ve IPDS konseptinin uygulanması kolaylaşır. Sistemik değerlendirmeler, doğru adeziv protokolle yapılmış DME restorasyonlarının uzun dönemde yüksek sağkalım oranları gösterdiğini ve biyolojik genişliğin ihlal edilmediği durumlarda periodontal sağlığı stabil tuttuğunu bildirmektedir (Kok & Sykes, 2024).

10. Yapılandırma Materyallerinin Mikrosızıntı Üzerindeki Etkileri

Pre-endodontik koronal yapılandırma, anatomik form kazandırmanın ötesinde, dış ortam ile steril olması gereken pulpa odası arasında geçirimsiz bir mikrobiyal bariyer yaratmalıdır. Bu nedenle kullanılacak materyalin hidrofilik/hidrofobik davranışı, polimerizasyon büzülmesi ve elastisite modülü gibi fizikokimyasal özellikleri kritik önemdedir. Konvansiyonel amalgam ve zayıf cam iyonomer simanların yerini büyük ölçüde yüksek teknoloji ürünü adeziv rezin sistemleri almıştır (Jidewar ve ark., 2025).

Yüksek doldurucu oranı ve düşük polimerizasyon büzülme stresine sahip bulk-fill kompozit rezinler, yapılandırma bloğunun kalın parçalar halinde uygulanmasına imkan tanırken konvansiyonel rezinlere kıyasla daha iyi kenar uyumu sağlar. Termal siklus ve metilen mavisi boya penetrasyonu yöntemleriyle yapılan kontrollü çalışmalarda, bulk-fill kompozitlerin hem ışıkla sertleşen cam iyonomere hem de konvansiyonel cam iyonomere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı biçimde en düşük mikrosızıntı değerlerini sergilediği gösterilmiştir (Jidewar ve ark., 2025).

Tablo 3. Pre-endodontik yapılandırma materyallerinin mikrosızıntı performansı

Materyal	Boya penetrasyonu (ortalama $\pm$ SS)	Endodontik biyomekanik uyum
Bulk-fill kompozit rezin	3,90 $\pm$ 0,80 (en düşük sızıntı)	Yüksek mekanik direnç ve kenar sızdırmazlığı; irrigasyon solüsyonlarına maksimum direnç. Pre-endodontik build-up için tercih edilen seçenek.
Işıklı sertleşen cam iyonomer (GIC)	4,96 $\pm$ 1,88 (orta düzey)	Kısmi flor salınımı ve nem toleransı sağlar; ancak rezinler kadar güçlü mikromekanik kilitlenme sunmaz.
Konvansiyonel (kimyasal) cam iyonomer	5,62 $\pm$ 1,56 (en yüksek)	Mekanik özellikleri zayıftır; NaOCl/EDTA yıkamaları karşısında erimeye meyillidir. Optimal sızdırmazlık için tek başına yetersizdir.

ANOVA ve post-hoc analizlerle desteklenen bu bulgular ışığında, bulk-fill kompozitlerin üstün tıkama özellikleri onları geçirimsiz bakteriyel bariyeri oluşturmada en güvenilir seçenek konumuna getirmiştir. Cam iyonomer simanlar antikaryojenik flor salınımı gibi avantajlara

sahip olsa da, endodontik asit ve irrigasyon solüsyonlarının yıkayıcı etkisine karşı fiziksel dirençleri düşüktür; bu nedenle kullanımları nem kontrolünün kaybolduğu spesifik bölgelerle (örneğin açık sandviç tekniğinin en alt tabakası) sınırlandırılmalı, optimal sızdırmazlık gereken koronal gövdede polimerik rezin kompozitler tercih edilmelidir. İnce bir akışkan kompozit adaptasyon tabakasının kullanıldığı ve gövdenin bulk-fill ile yükseltildiği karma sistemler, mikromekanik bütünlük ve sızdırmazlık açısından en üstün sonuçları vermektedir (Jidewar ve ark., 2025).

11. Sonuç

Yapısal bütünlüğü bozulmuş dişlerin endodontik tedavisi, yalnızca kök kanalının dezenfekte edilmesiyle sınırlı mekanik bir süreç değildir; biyolojik iyileşme, kanal sisteminin dış çevreyle ilişkisinin bütünüyle kesildiği, yalıtılmış bir mikrobiyal ortamın yaratılmasına bağlıdır. Pre-endodontik build-up konsepti, klinisyene bu ortamı tedaviye başlamadan kurma olanağı tanıyan ve prognozu belirgin biçimde değiştiren bir biyomekanik protokoldür (Gavriil ve ark., 2021).

Khanvilkar ve Pawar gibi kapsamlı sınıflandırmaların rehberliğinde; defektin tipine ve gingival ilişkisine uygun stratejinin (doughnut tekniği, kanal projeksiyonu veya Grade I–II derin marjin yükseltme) seçilmesi tedavinin gidişatını belirleyen temel karardır. İdeal bir koronal yapılandırma, klempin yerinden çıkmasını, sodyum hipoklorit sızıntısını ve kreviküler sıvının kanalları enfekte etmesini engelleyerek operasyonel güvenliği en üst düzeye çıkarır; irrigasyon için bir rezervuar yaratarak sıvı dinamiğini ve ultrasonik aktivasyonu güçlendirir; oluşturduğu düz oklüzal referansla çalışma boyu hatalarını, alet kırıklarını ve apikal transportasyonu azaltır (Gavriil ve ark., 2021; Khanvilkar ve ark., 2024).

IPDS ve PES gibi adeziv yenilikler bu konseptle birleştğinde, çok seanslı tedavilerde geçici dolgu kaynaklı mikrosızıntı önlenir; pulpa odası ve dentin duvarları NaOCl'nin kollajen ağında yaratacağı proteolitik yıkımdan korunur ve nihai restorasyonun kompozit–dentin bağ direnci en üst düzeyde tutulur. Zayıflamış diş dokularının tedavi sürecindeki çığneme kuvvetlerine karşı desteklenip onarılamaz vertikal kök kırıklarının önlenmesi (ferrule etkisinin tesisi) ise mekanik açıdan sağlanan en önemli güvencedir (Carvalho ve ark., 2025; Rodriguez ve ark., 2025; Topçuoğlu ve ark., 2025).

Sonuç olarak endodontik tedavi, pulpa odasının tavanına ulaşmak için yapılan ilk frez hareketiyle değil, dişin kaybedilmiş anatomik sınırlarının restorasyonu ile başlamalıdır. Titiz, iyi izole edilmiş ve IPDS ilkelerine sadık bir pre-endodontik koronal yapılandırma; mükemmel asepsiyi, ideal irrigasyon hidrodinamiğini ve üstün mekanik stabilizasyonu aynı anda

sağlayarak tedavinin kalitesini ve uzun dönem başarısını artıran temel bir stratejik adımdır. Cerrahi sınırların zorlanmasına gerek kalmadan biyolojik ilkelerle uyumlu tasarlanan bu “nce restorasyon” yaklaşımı, modern endodontinin klinik pratiğindeki önemli mihenk taşlarından birini oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- Carvalho, M. A., Lazari-Carvalho, P. C., Maffra, P. E. T., Izelli, T. F., Gresnigt, M., Estrela, C., & Magne, P. (2025). Immediate pre-endodontic dentin sealing (IPDS) improves resin-dentin bond strength. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 37(1), 39–47. <https://doi.org/10.1111/jerd.13395>
- Donovan, W., Crummey, A., & Wright, G. (2023). Maintain Access Strip Technique (MAST) crown: A novel technique to stabilize anterior teeth while maintaining pulp canal access. *Dental Update*, 50(3), 225–228. <https://doi.org/10.12968/denu.2023.50.3.225>
- Gavriil, D., Kakka, A., Myers, P., & O'Connor, C. J. (2021). Pre-endodontic restoration of structurally compromised teeth: Current concepts. *British Dental Journal*, 231(6), 343–349.
- Heydrich, R. W. (2005). Pre-endodontic treatment restorations: A modification of the ‘donut’ technique. *Journal of the American Dental Association*, 136(5), 641–642.
- Jidewar, N. P., Chandak, M., Patel, A., Ikhar, A., Suryawanshi, T., & Wazurkar, S. (2025). Comparative evaluation of microleakage around pre-endodontic buildup with composite, light cured glass ionomer cement, and glass ionomer cement: An in-vitro study. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 17(Suppl 2), S1662–S1664. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_221_25
- Khanvilkar, U. D., Pawar, A. M., Pawar, S. D., & Mustafa, M. (2024). “Preendodontic build up” an important aspect of endodontic treatment: Conspectus and proposal of classification. *Endodontology*, 36(1), 3–9.
- Kok, J., & Sykes, L. M. (2024). Cervical margin relocation in indirect restorations. *South African Dental Journal*, 79(4).
- Ray, H. A., & Trope, M. (1995). Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *International Endodontic Journal*, 28(1), 12–18.
- Rodriguez, R. C., Manosalvas, M. S. P., Pulido, C. A., & Sanchez, C. (2025). Effect of pre-endodontic sealing on the microleakage of temporary restorative materials after endodontic treatment: An in vitro study. *European Endodontic Journal*. Advance online publication.

- Tanikonda, R. (2016). Canal projection using gutta-percha points: A novel technique for pre-endodontic buildup of grossly destructed tooth. *Journal of Conservative Dentistry*, 19(2), 194–197.
- Topçuoğlu, H. S., Düzgün, S., Akyüz, İ. E., & Özdemir, İ. M. (2025). The effect of different temporary filling materials and pre-endodontic build-up on fracture resistance of upper premolar teeth: An in-vitro study. *BMC Oral Health*, 25(1), Article 400.

BÖLÜM 3

ENDODONTİK AĞRIDA AKUPUNKTUR: GELENEKSEL YÖNTEMLERE ETKİLİ BİR DESTEK SAĞLANABİLİR Mİ?

*Eray CEYLANOĞLU¹, Ali ERDEMİR²,
Dilek HANÇERLİOĞULLARI³*

¹ Kırıkkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, ORCID: 0000-0002-6170-8470

² Prof. Dr. Kırıkkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, ORCID: 0000-0003-1140-3887

³ Dr. Öğr. Üyesi Kırıkkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, ORCID: 0000-0002-0404-1200

GİRİŞ

Mikrobiyal etkenlerin dental pulpaya sızmasıyla tetiklenen inflamatuvar süreçler, şiddetli endodontik ağrılara yol açar. Enfeksiyonu ortadan kaldırmak amacıyla uygulanan kök kanal tedavisi (KKT), toplumda yaygın olarak ağrılı bir işlem olarak nitelendirilmektedir. Bu önyargı, hastaların tedavi süreçlerinden uzaklaşmasına sebebiyet vermekte; bu durum ise doğal dişlerin ağızda tutulma olasılığını ciddi oranda düşürmektedir (Pak & White, 2011). Akut irreversible pulpitis gibi klinik tablolar; inflamatuvar süreçler, hasta anksiyetesi ve anatomik varyasyonlar gibi faktörlerin kombinasyonu nedeniyle, derin ve başarılı bir anestezi sağlanmasında ciddi kısıtlamalar oluşturabilmektedir (Hargreaves & Keiser, 2002).

Çürük lezyonların ve enflamatuvar oral dokuların cerrahi veya endodontik müdahaleleri sonrasında gelişen postoperatif ağrının yönetiminde; ibuprofen, parasetamol ve opioid analjeziklerin kullanımı rutin bir protokol haline gelmiştir (Pergolizzi et al., 2020). Ancak bu farmakolojik ajanlar; özellikle yüksek doz veya kronik kullanım senaryolarında peptik ülser, gastrointestinal kanama, renal yetmezlik ve hepatotoksisite gibi ciddi sistemik komplikasyonlara yol açabilmektedir. Buna ek olarak, opioid grubu analjeziklerin kullanımı, potansiyel suistimal ve bağımlılık riskleri nedeniyle modern tıpta önemli bir klinik endişe kaynağı teşkil etmektedir (Bushra & Aslam, 2010; Larson et al., 2005).

Akupunkturun etki mekanizması; belirli enerji meridyenlerine yerleştirilen iğnelerin kas ve sinir uçlarını stimüle etmesine dayanır. Terapi sırasında, ince çelik iğneler ilgi duyulan bölgelere yerleştirilir ve daha sonra elle veya hafif elektriksel uyarım ile nazıkçe manipüle edilir. Bu noktalar ayrıca bastırılabilir (akupresür) veya ısıtılabilir (moksibüsyon) (Ulett et al., 1998). Merkezi sinir sistemi tarafından algılanan bu uyarılar; yerel, spinal ve supraspinal olmak üzere üç farklı seviyede biyolojik bir yanıtla dönüştürülür (Grillo et al., 2014). Akupunktur iğneleri A-delta ve C liflerini uyararak ağrıyı keser. İğneleme noktasında hissedilen uyuşma veya basınç hissi (De Qi), tedavinin etkinliğini simgeler. Bu işlem, bradikinin ve histamin salınımı aracılığıyla lokal bir inflamatuvar reaksiyonu tetikleyerek vücudun onarım mekanizmalarını harekete geçirir (Rezende et al., 2012).

Akut diş ağrısının tedavisinde ve rutin olarak reçete edilen ağrı kesicilere duyulan ihtiyacın azaltılmasında akupunktur, potansiyel bir strateji teşkil etmektedir. Nitekim son yıllarda yapılan araştırmalar, akupunkturun çeşitli klinik durumlara bağlı gelişen akut ağrı semptomlarını dindirmedeki başarısını kanıtlar niteliktedir (Kelly & Willis, 2019; Nielsen et al., 2022).

ENDODONTİK AĞRI YÖNETİMİNDE AKUPUNKTUR

Akupunktur, diş hekimliğinde geniş bir yelpazeye yayılan rahatsızlıkların tedavisinde geleneksel yöntemlere destek sağlayan, yüksek potansiyelli ve invaziv olmayan bir yaklaşımdır. Ulusal Sağlık Enstitüleri (NIH) tarafından Kasım 1998'de yayımlanan Akupunktur Konsensüs Bildirgesi'ne göre; postoperatif dental ağrı yönetiminde akupunkturun umut verici sonuçlar sergilediği bildirilmiştir (NIH Consensus Conference & Bowman, 1998). Akupunktur, diş ağrısını hem santral hem de periferik mekanizmalar üzerinden kontrol eder. Endojen opioidlerin ve nörohumoral maddelerin (serotonin vb.) üretimini artırmanın yanı sıra, beyin ağrı işleme süreçlerini modüle eder (Chapman et al., 1977). Aynı zamanda inflamasyonu baskılayan vasküler faktörlerin salınımını tetikleyerek lokal mikrosirkülasyonu iyileştirir ve ödemin dağılmasını sağlayarak iyileşme sürecine katkıda bulunur (Andersson & Lundeborg, 1995).

Dental ağrı kontrolünde akupunkturun etkinliğini inceleyen Ernst ve Pittler, 16 kontrollü klinik çalışmanın sonuçlarına dayanarak bu yöntemin diş hekimliğinde etkili bir analjezik yaklaşım olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılar, akupunkturun dental ağrıyı hafifletmede önemli bir terapötik değer taşıdığını vurgulamışlardır (Ernst & Pittler, 1998). Elektriksel akupunktur stimülasyonun diş ağrısı eşiğine etkisini araştıran Chapman ve arkadaşları, ağrı eşiğinde önemli ölçüde artış bulmuş, ayrıca kısa süreli analjezi sağladığını da bildirmişlerdir (Chapman et al., 1977)

de Matos ve ark., yaptığı çalışmada, akupunkturun analjezik etkinliği sağlıklı bireyler üzerinde oluşturulan standardize bir deneysel dental ağrı modeli üzerinden incelenmiştir. Randomize, plasebo (sham) kontrollü ve cross-over olarak tasarlanan bu çalışmada, diş pulpasına iletilen kontrollü elektriksel uyarımlar sayesinde doku hasarı yaratılmadan objektif duyu ve ağrı eşiği ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular; gerçek akupunktur uygulamasının, plasebo prosedürlerine kıyasla pulpal ağrı eşiğini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yükselttiğini göstermiştir. Araştırmacılar bu analjezik etkiyi, akupunkturun segmental inhibisyon ve santral sinir sisteminde endojen opioid salınımını tetikleyerek nosiseptif iletimi modüle etmesiyle ilişkilendirmiştir (de Matos et al., 2020).

Grillo ve ark., akupunkturun akut dental ağrı yönetimi üzerindeki analjezik etkinliğini klinik ortamda değerlendirilmiştir. Deneysel ağrı modellerinden farklı olarak, doğrudan acil diş tedavisi gerektiren ve şiddetli odontojenik ağrı şikayetiyle başvuran hastalar üzerinde yürütülen bu çalışmada; hastaların ağrı şiddeti akupunktur uygulamasından önce ve sonra Vizüel Analog Skala (VAS) kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen klinik bulgular, akupunktur uygulamanın

hemen ardından hastaların bildirdiği ağrı skorlarında istatistiksel ve klinik olarak son derece anlamlı bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılar, bu sonuçlara dayanarak akupunkturun özellikle dental acil servislerde ve tedavi bekleme süreçlerinde, farmakolojik ajanlara kıyasla hızlı, güvenilir ve etkili bir analjezik alternatif veya destekleyici yöntem olarak kullanılabileceğini vurgulamaktadır (Grillo et al., 2014).

Goddard ve Albers, künt iğneleme yönteminin ön dişlerdeki pulpa duyuşal eşiğı üzerindeki etkisini incelemiş, olumlu verilerle çelişen sonuçlar bildirmiştir. Akupunktur geçmiş ve diş restorasyonu olmayan 40 katılımcı üzerinde yapılan deneyde, gerçek akupunktur ile iğnenin deriye girmediğı plasebo uygulaması karşılaştırılmıştır. Her iki grup arasında ağrının azalması bakımından belirgin bir fark görülmemiştir (Goddard & Albers, 2009).

Diş ağrısının dindirilmesinde geleneksel bir ilaç olan metamizol sodyum (Dipiron) ile akupunkturun etkisini kıyaslayan randomize kontrollü bir deneyde akupunkturun ilaç tedavisinden daha yüksek bir başarı sağladığı, hasta şikayetlerinin belirgin şekilde azaldığı bildirilmiştir (de Almeida et al., 2019). İrreversible pulpitisli hastalarda akupunktur tedavisinin ağrı üzerindeki etkisini yaygın olarak kullanılan bir ağrı kesici olan ibuprofen ile karşılaştıran Murugesan ve arkadaşları, gerçek akupunkturun sahte uygulamalara veya ilaç kullanımına kıyasla çok daha hızlı ve uzun süreli rahatlama sağladığını saptamışlardır (Murugesan et al., 2017). Semptomatik apikal periodontitisli hastalarda KKT sonrası ağrı yönetiminde akupunkturun etkinliğini inceleyen randomize kontrollü bir çalışmada, LI4 (Hegu) noktasına uygulanan gerçek akupunktur ile plasebo uygulaması karşılaştırılmıştır. KKT öncesi gerçekleştirilen 15 dakikalık seansın ardından, hastaların 7 günlük VAS skorları ve analjezik tüketimleri takip edilmiştir. Bulgular, akupunktur grubunda postoperatif ağrının ve ilaç kullanımının kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede düşük olduğunu ortaya koymuştur (Arslan et al., 2019).

Mandibular birinci veya ikinci molar dişlerinde irreversible pulpitis saptanan 40 hasta üzerinde gerçekleştirilen araştırmada akupunkturun anestezi etkinliğı değerlendirilmiştir. LI4 (Hegu) noktasına uygulanan gerçek akupunktur ile plasebo akupunkturun etkileri karşılaştırılmıştır. Her iki grupta da inferior alveolar sinir bloğı uygulamasını takiben endodontik tedavi süreci başlatılmış; anestezi başarısı, operasyon sırasında hastanın ilave anestezi enjeksiyonuna ihtiyaç duyup duymamasına göre karşılaştırılmıştır. Kontrol grubundaki hastaların %80'i tamamlayıcı anesteziye ihtiyaç duyarken, akupunktur uygulanan grupta bu oran %40'ta kalmıştır (Jalali et al., 2015). Semptomatik irreversible pulpitis olgusunda LI4, ST6 ve ST7 noktalarına uygulanan akupunktur stimölasyonunun, postoperatif analjezi üzerinde

belirgin bir etkinlik sergilediği gözlenmiştir. Tedavi sonrasındaki 12. saatten itibaren ağrının tam remisyona girmesi ve bu durumun 48. saate kadar stabil kalması, akupunkturun endodontik kaynaklı akut ağrı yönetimindeki potansiyelini destekler niteliktedir (Sng et al., 2022).

SONUÇ

İncelenen literatür verileri topluca değerlendirildiğinde, akupunkturun diş hekimliğinde geleneksel tedavi yöntemlerine güçlü ve invaziv olmayan bir alternatif sunduğu görölmektedir. Bu yöntemin başarısı sadece semptomatik bir rahatlamaadan ibaret kalmayıp; hem merkezi sinir sistemi hem de periferik dokular üzerindeki kontrolü sayesinde ağrı mekanizmalarını doğrudan etkilemektedir. Özellikle ibuprofen ve metamizol sodyum gibi standart analjeziklerle yapılan karşılaştırmalar, akupunkturun bu ilaçlara benzer, hatta bazı durumlarda daha hızlı ve kalıcı bir rahatlama sağladığını ortaya koymaktadır. İrreversible pulpitis gibi lokal anestezinin güç sağlandığı vakalarda anestezi başarısını belirgin şekilde artırması ve işlem sonrası ağrıyı 48 saatlik süreçte tamamen (VAS: 0) ortadan kaldırabilmesi, klinik açıdan en dikkat çekici bulgular arasındadır. Her ne kadar uygulama teknikleri ve vaka seçimine göre sonuçlarda bazı değişkenlikler görölse de; akupunkturun ilaç bağımlılığını ve yan etki riskini azaltmak adına modern klinik pratiklerine dahil edilmesi gereken etkili bir strateji olduğu sonucuna varılabilir.

KAYNAKLAR

- Andersson, S., & Lundeberg, T. (1995). Acupuncture--from empiricism to science: Functional background to acupuncture effects in pain and disease. *Medical Hypotheses*, 45(3), 271–281. [https://doi.org/10.1016/0306-9877\(95\)90117-5](https://doi.org/10.1016/0306-9877(95)90117-5)
- Arslan, H., Ahmed, H. M. A., Yıldız, E. D., Gündoğdu, E. C., Seçkin, F., & Arslan, S. (2019). Acupuncture reduces the postoperative pain in teeth with symptomatic apical periodontitis: A preliminary randomized placebo-controlled prospective clinical trial. *Quintessence International*, 50(4), 270. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a42153>
- Bushra, R., & Aslam, N. (2010). An Overview of Clinical Pharmacology of Ibuprofen. *Oman Medical Journal*, 25(3), 155–1661. <https://doi.org/10.5001/omj.2010.49>
- Chapman, C. R., Chen, A. C., & Bonica, J. J. (1977). Effects of intrasegmental electrical acupuncture on dental pain: Evaluation by threshold estimation and sensory decision theory. *Pain*, 3(3), 213–227. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(77\)90003-3](https://doi.org/10.1016/0304-3959(77)90003-3)
- de Almeida, T. B., Zotelli, V. L. R., Wada, R. S., & Sousa, M. L. R. (2019). Comparative Analgesia Between Acupuncture and Dipyrone in Odontalgia. *Journal of Acupuncture and Meridian Studies*, 12(6), 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.jams.2019.07.005>
- de Matos, N. M. P., Pach, D., Xing, J. J., Barth, J., Beyer, L. E., Shi, X., Kern, A., Lukic, N., Ettlin, D. A., Brügger, M., & Witt, C. M. (2020). Evaluating the Effects of Acupuncture Using a Dental Pain Model in Healthy Subjects – A Randomized, Cross-Over Trial. *The Journal of Pain*, 21(3), 440–454. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2019.08.013>
- Ernst, E., & Pittler, M. H. (1998). The effectiveness of acupuncture in treating acute dental pain: A systematic review. *British Dental Journal*, 184(9), 443–447. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4809654>
- Goddard, G., & Albers, D. (2009). Effects of Acupuncture at Large Intestine 4 (LI 4) on Electrical Tooth Pulp Stimulation: A Randomized Controlled Pilot Study. *Medical Acupuncture*, 21(3), 167–171. <https://doi.org/10.1089/acu.2009.0691>
- Grillo, C. M., Wada, R. S., & Sousa, M. da L. R. de. (2014). Acupuncture in the Management of Acute Dental Pain. *Journal of Acupuncture and Meridian Studies*, 7(2), 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.jams.2013.03.005>

- Hargreaves, K. M., & Keiser, K. (2002). Local anesthetic failure in endodontics: *Endodontic Topics*, 1(1), 26–39. <https://doi.org/10.1034/j.1601-1546.2002.10103.x>
- Jalali, S., Moradi Majd, N., Torabi, S., Habibi, M., Homayouni, H., & Mohammadi, N. (2015). The Effect of Acupuncture on the Success of Inferior Alveolar Nerve Block for Teeth with Symptomatic Irreversible Pulpitis: A Triple-blind Randomized Clinical Trial. *Journal of Endodontics*, 41(9), 1397–1402. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.04.026>
- Kelly, R. B., & Willis, J. (2019). Acupuncture for Pain. *American Family Physician*, 100(2), 89–96.
- Larson, A. M., Polson, J., Fontana, R. J., Davern, T. J., Lalani, E., Hynan, L. S., Reisch, J. S., Schiødt, F. V., Ostapowicz, G., Shakil, A. O., Lee, W. M., & Group, the A. L. F. S. (2005). Acetaminophen-induced acute liver failure: Results of a United States multicenter, prospective study. *Hepatology*, 42(6), 1364–1372. <https://doi.org/10.1002/hep.20948>
- Murugesan, H., Venkatappan, S., Renganathan, S. K., Narasimhan, S., & Sekar, M. (2017). Comparison of Acupuncture with Ibuprofen for Pain Management in Patients with Symptomatic Irreversible Pulpitis: A Randomized Double-Blind Clinical Trial. *Journal of Acupuncture and Meridian Studies*, 10(6), 396–401. <https://doi.org/10.1016/j.jams.2017.09.002>
- Nielsen, A., Dusek, J. A., Taylor-Swanson, L., & Tick, H. (2022). Acupuncture Therapy as an Evidence-Based Nonpharmacologic Strategy for Comprehensive Acute Pain Care: The Academic Consortium Pain Task Force White Paper Update. *Pain Medicine*, 23(9), 1582–1612. <https://doi.org/10.1093/pm/pnac056>
- NIH Consensus Conference, & Bowman, M. (1998). Acupuncture. *JAMA*, 280(17), 1518–1524. <https://doi.org/10.1001/jama.280.17.1518>
- Pak, J. G., & White, S. N. (2011). Pain Prevalence and Severity before, during, and after Root Canal Treatment: A Systematic Review. *Journal of Endodontics*, 37(4), 429–438. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.12.016>
- Pergolizzi, J. V., Magnusson, P., LeQuang, J. A., Gharibo, C., & Varrassi, G. (2020). The pharmacological management of dental pain. *Expert Opinion on Pharmacotherapy*, 21(5), 591–601. <https://doi.org/10.1080/14656566.2020.1718651>

- Rezende, M. C. R. A., Cortiglio, S., Sant'Anna, C. B. M., Alves-Rezende, L. G. R., Montanher, I. da S., & Alves-Rezende, A. L. R. (2012). Aplicação da acupuntura no tratamento da síndrome de Costen: Relato de caso clínico. *ARCHIVES OF HEALTH INVESTIGATION*, 1.
<https://archhealthinvestigation.emnuvens.com.br/ARCHI/article/view/11>
- Sng, K. S., Sin, Y. S., Bhatia, S., Kohli, S., Lim, X. Y., & Ong, J. Y. (2022). Acupuncture for the reduction of post-operative pain in a patient with symptomatic irreversible pulpitis: A case report. *Acupuncture in Medicine*, 40(2), 211–212.
<https://doi.org/10.1177/09645284211073336>
- Ulett, G. A., Han, S., & Han, J. (1998). Electroacupuncture: Mechanisms and clinical application. *Biological Psychiatry*, 44(2), 129–138. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(97\)00394-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(97)00394-6)

BÖLÜM 4

ENDODONTİDE POST SÖKÜM YÖNTEMLERİ: BİYOMEKANİK İLKELER VE GÜNCEL KLİNİK TEKNİKLER

Enver FAYDALI¹

¹ Arş. Gör. Dt., Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Konya/Türkiye. ORCID: 0009-0007-6627-0723.
E-posta: enverfaydali@gmail.com

Birincil kök kanal tedavisi yüksek başarı oranlarına ulaşan öngörülebilir bir uygulama olsa da; yetersiz dezenfeksiyon, kanalların eksik şekillendirilmesi veya doldurulması, koronal mikrosızıntı, sekonder çürükler ve restoratif başarısızlıklar gibi nedenlerle bir bölüm olguda kök kanal sistemine yeniden müdahale gerekebilmektedir. Aşırı koronal doku kaybı bulunan endodontik tedavili dişlerde üst yapının tutuculuğunu artırmak amacıyla kanal içine yerleştirilen post-kor restorasyonlar, yeniden tedavi gerektiğinde kök kanalına erişimin önündeki başlıca engeli oluşturur (Mannocci ve ark., 2021; Zanza ve ark., 2023).

Başarısız bir olguda klinisyenin önünde temelde üç seçenek bulunur: dişin çekimi, apikal mikrocerrahi veya kuronun bulunduğu yönden apikale ilerleyen ortograd yeniden tedavi. Dokuya en az zararı veren ortograd, cerrahi olmayan yaklaşım güncel anlayışta öncelikli protokol olarak benimsenmektedir; bu yaklaşımın en kritik basamaklarından biri ise mevcut postun kalan sağlam dentine, kök bütünlüğüne ve çevre periodontal dokulara zarar verilmeden uzaklaştırılmasıdır (Ruddle, 2004; Sabeti ve ark., 2024).

Post sökümü, operatörün hem klinik deneyimini hem de biyomekanik kavrayışını sınavan, komplikasyon olasılığı yüksek bir prosedürdür. Hatalı teknik seçimi, kontrolsüz kuvvet veya yetersiz görüş; vertikal kök kırıklarına, perforasyona, gereksiz dentin kaybına ve termal doku hasarına yol açabilir. Bu nedenle güncel literatür, bir söküm yönteminin başarısını yalnızca postun çıkarılmış olmasıyla değil, kök yapısının bütünlüğünün en üst düzeyde korunmasıyla tanımlamaktadır (Gesi ve ark., 2003; Krug ve ark., 2024).

Bu bölümde; post-kor restorasyonlarının yapısı ve materyale göre sınıflandırması, postların simantasyon tipinin sökümüne etkisi, söküm endikasyonları, sökümün biyomekanik temelleri ve komplikasyonları ile metal ve fiber postlara yönelik geleneksel ve ileri (lazer, dijital) söküm teknikleri kanıta dayalı literatür ışığında ele alınmaktadır.

1. Post-Kor Restorasyonları ve Postların Sınıflandırılması

1.1. Post-Kor Restorasyonların Bileşenleri

Koronal dokunun büyük oranda kaybedildiği ve geleneksel kuron uygulaması için yeterli biyomekanik desteğin sağlanamadığı dişlerde, post-kor restorasyonlar morfolojik ve fonksiyonel bütünlüğü yeniden kurmayı amaçlar (Peroz ve ark., 2005). Sistem üç bileşenden oluşur: kök kanalına yerleştirilerek mekanik ankraj sağlayan post, kaybedilen koronal yapıyı yeniden oluşturan ve final restorasyon için anatomik form veren kor ve bunların üzerine gelen final restorasyon (Mamoun, 2017). İdeal bir post, yeterli tutuculuğu sağlarken kök dentininde olabildiğince düşük stres oluşturmalıdır; postun uzunluğu, çapı ve geometrisi hem

restorasyonun başarısını hem de gelecekteki söküm güçlüğünü doğrudan etkiler (de Andrade ve ark., 2023).

1.2. Postların Materyale Göre Sınıflandırılması

Postlar materyal, geometri, tutuculuk ilkesi ve üretim tekniğine göre sınıflandırılabilir; ancak materyal, postun elastiklik modülünü, dentinle bağlanma stratejisini ve söküm protokolünü belirleyen birincil değişkendir (Aydemir & Bağlar, 2019). Bu nedenle materyal temelli sınıflama, söküm açısından en bilgilendirici çerçeveyi sunar.

Metal postlar (paslanmaz elik, titanyum, altın alaşımı), dentine kıyasla çok daha yüksek elastiklik modülüne (paslanmaz çelikte yaklaşık 200 GPa, titanyumda yaklaşık 110 GPa) sahip rijit yapılarıdır; bu rijitlik homojen olmayan stres dağılımı ve kök kırık riski yaratabilir, ancak söküm sırasında ultrasonik titreşimi sönümlemeden iletmeleri çıkarımı kolaylaştırır (Podili ve ark., 2023; Venkataraman ve ark., 2020). Seramik postlar (zirkonya, alümina) estetik üstünlük sağlar; yaklaşık 200 GPa modül ve kırılğan yapıları stres yoğunlaşmasına yol açabilir ve rezin simanlarla bağlanmaları zayıftır (Ozkurt ve ark., 2010).

Fiber takviyeli kompozit postlar, dentine yakın elastiklik modülleri sayesinde oklüzal kuvvetleri kök boyunca daha homojen dağıtarak katastrofik kırık riskini azaltır. Karbon fiber postlar (yaklaşık 18-20 GPa) iyi stres dağılımı sunar ancak siyah renkleri estetik kısıt yaratır; cam fiber postlar dentin benzeri modül, radyoopasite ve silanla güçlü bağlanma özellikleriyle klinikte en yaygın seçenektir; kuvars/hibrit formlar optik şeffaflık ile dayanımı birleştirir (Sidoli ve ark., 1997; Sharma ve ark., 2016; Sarkis-Onofre ve ark., 2014). Yeni nesil polimerik postlar arasında yer alan PEEK (yaklaşık 4 GPa), dentinle mekanik uyumu ve biyouyumluluğuyla dikkat çeker (Luo ve ark., 2023). Materyalin elastik ve optik özellikleri, skmde uygulanacak enerjinin türünü ve postun dentinden ayırt edilebilirliğini belirlediğinden, yöntem seçiminin temel belirleyicisidir (Alshabib ve ark., 2023).

Bu çerçevede materyal seçimi; estetik, biyomekanik uyum ve sökülebilirlik arasında bir denge gerektirir. Yüksek modüllü metal ve seramik postlar rijit yapıları sayesinde ultrasonik titreşimi etkin biçimde iletir ve çoğunlukla bütün olarak çıkarılabilirken, kırılğan davranışları stres yoğunlaşması açısından dezavantaj oluşturur. Buna karşılık dentine yakın modüllü adeziv fiber postlar stres dağılımı bakımından üstün olsa da, polimerik yapılarının ultrasonik enerjiyi sönümlemesi ve dentinle renk benzerliği sökümü güçleştirir; bu nedenle fiber postlar genellikle frezleme veya lazer ablasyonu ile parçalanarak uzaklaştırılır (Goracci & Ferrari, 2011; de Moraes ve ark., 2023).

1.3. Simantasyon Tipinin Söküme Etkisi

Postun kanala tutunma biçimi, söküm güçlüğüne doğrudan etkiler. Çinko fosfat siman diş kimyasal bağ kurmaz ve tutuculuğu mekaniktir; bu özellik postun görece daha kolay sökülmesini sağlar (Oilo, 1991). Cam iyonomer ve rezin modifiye cam iyonomer simanlar diş dokusuna kimyasal tutunma ve florür salımı sunar. Fiber postların yaygınlaşmasıyla birlikte, post-dentin ara yüzünde hibrit tabaka ve rezin uzantıları oluşturarak güçlü mikromekanik bağ sağlayan adeziv rezin simanlar standart hale gelmiştir (Tsolomitis ve ark., 2024; Özcan & Volpato, 2020). Ancak bu güçlü adeziv bağ, retreatment sırasında postun çıkarılmasını belirgin biçimde zorlaştırır; yüksek bağ gücüne sahip rezinlerle simante postların sökümü işlem süresini uzatır ve iatrojenik dentin kaybı riskini artırır (Goracci & Ferrari, 2011).

Adeziv rezin simanlar uygulama protokolüne göre kendinden yapışkanlı (self-adhesive), kendinden asitlemeli (self-etch) ve asitle-yık (etch-and-rinse) olmak üzere üç ana grupta toplanır; literatürde bağ gücünün çoğunlukla kendinden asitlemeli protokollerde yüksek bildirildiği görülür (Alshabib ve ark., 2024). Bununla birlikte kök kanalının yüksek konfigürasyon faktörü (C-faktörü), polimerizasyon büzülmesi ve sınırlı ışık iletimi gibi etkenler bağlanma performansını etkiler. Klinik açıdan kritik nokta, adeziv bağ ne kadar güçlüyse postun çıkarılmasının da o kadar güçleşmesi ve daha uzun aşındırmayla daha yüksek dentin kaybı riskinin ortaya çıkmasıdır (Sarkis-Onofre ve ark., 2014; Tsolomitis ve ark., 2024).

2. Post Söküm Endikasyonları ve Başarısızlık Nedenleri

Fiber postlar pek çok avantaja sahip olsa da, çeşitli klinik gelişmeler postun çıkarılmasını gerektirebilir. Postun uzun dönem başarısı yalnızca materyal özellikleriyle değil; ilk tedavinin kalitesi, hastaya bağlı faktörler ve sonraki restoratif bakımla da yakından ilişkilidir (Linnemann ve ark., 2021; Marchionatti ve ark., 2017).

2.1. Endodontik Yeniden Tedavi Gereksinimi

Post sökümünün en sık nedeni, önceki kök kanal tedavisinin başarısız olması durumunda yeniden tedavi gereksinimidir. Periapikal radyölüzensinin gelişmesi veya sürmesi, kök kanal sistemine yeniden erişimi ve çoğunlukla mevcut postun sökülmesini zorunlu kılar (Nair, 2006). Burada klinik bir çelişki ortaya çıkar: restoratif başarıyı uzun ömürlü kılmak için yerleştirilen post, altta yatan tedavi başarısız olduğunda bir engele dönüşür. Bu nedenle yüksek kaliteli birincil endodontik tedavi, gelecekteki söküm ihtiyacını azaltmanın en etkili yoludur (Chalfin ve ark., 1990; Sabeti ve ark., 2024).

Castrisos ve Abbott'un uzman endodontistler arasında yürüttüğü ankette, post-kor restorasyonlu ve periapikal lezyonlu dişlerde hekimlerin yaklaşık üçte ikisinin postu sökerek ortograd yeniden tedaviyi tercih ettiği, yaklaşık dörtte birinin ise hem söküm hem de cerrahi yaklaşımı uygulanabilir bulunduğu bildirilmiştir; bu veri, sökümün retreatment pratiğinde öncelikli strateji olduğunu desteklemektedir (Castrisos & Abbott, 2002). Dişin prognozunun iyi olduğu seçilmiş olgularda ise kök ucu cerrahisi (endodontik mikrocerrahi) alternatif bir seçenek olarak değerlendirilebilir (Zanza ve ark., 2023).

2.2. Protetik ve Restoratif Faktörler

Post-kor başarısızlığının önemli nedenlerinden biri, post ile siman arasındaki adezyon yetersizliğine bağlı gelişen yapışma kaybı (debonding) ve restorasyonun bütünlüğünün bozulmasıdır (Goracci & Ferrari, 2011). Koronal restorasyonun hatalı planlanması yük dağılımını bozarak stresi artırır; özellikle çevresel olarak en az 1,5-2 mm sağlam diş dokusunun (ferrule) sağlanamaması koronal stabiliteyi azaltır ve kırık/ayrılma riskini yükseltir (Naumann ve ark., 2018). Bazı durumlarda söküm, mevcut bir başarısızlıktan değil, daha kapsamlı bir protetik planın optimizasyonundan kaynaklanan proaktif bir karardır (Sorrentino ve ark., 2016).

2.3. Post ve Diş Kaynaklı Sorunlar

Postla ilgili başlıca mekanik sorunlar debonding ve post kırığıdır; bunlar yetersiz yüzey hazırlığı, uygunsuz simantasyon, rezin simanın eksik polimerizasyonu, materyal yorgunluğu veya aşırı yüklenmeyle ilişkilidir ve genellikle postun çıkarılıp yenilenmesini gerektirir (de Moraes ve ark., 2023; Bru ve ark., 2013). Diş kaynaklı sorunlardan sekonder çürük, postu çevreleyen dentini zayıflatarak tutuculuğu azaltabilir (Stockton, 1999). Onarılamaz nitelikteki vertikal kök kırıkları çoğunlukla çekimi gerektirir; çok köklü dişlerde kırık tek kökle sınırlıysa postun sökümünden ziyade ilgili kökün cerrahi olarak ayrılması tercih edilebilir (Patel ve ark., 2022).

2.4. Teknik ve Operatif Hatalar

Post boşluğu hazırlığındaki yönlendirme hataları; postun yanlış konumlanmasına, gereksiz dentin kaldırılmasına ve perforasyona yol açabilir; eğimli veya dar köklerde eksen dişı ilerleyen frezler ciddi komplikasyonlara neden olur. Uygunsuz post seçimi kök duvarında stres birikimini ve mikrosızıntı olasılığını artırır. Yapıştırma protokolündeki eksiklikler debondinge zemin hazırlarken, yüksek bağ güçlü rezinlerle simante postların sökümü işlem süresini ve dentin kaybı riskini yükseltir (Sarkis-Onofre ve ark., 2014; Tsolomitis ve ark., 2024).

3. Post Sökümünün Biyomekanik Temelleri ve Komplikasyonları

3.1. Termal Travma ve Alveolar Kemik Nekrozu

Söküm sırasında post-alet ara yüzünde üretilen kinetik enerjinin önemli bir bölümü ısıya dönüşür ve dentin tübülleri yoluyla periodontal ligamente ve alveolar kemiğe iletilir (Gluskin ve ark., 2005). Eriksson ve Albrektsson'un referans kabul edilen çalışmasında kemik için kritik termal eşik, yaklaşık 47 °C'ye bir dakika maruz kalmak olarak belirlenmiştir; bu eşik aşıldığında osteosit apoptozu, vasküler tromboz ve termal osteonekroz gelişir (Eriksson & Albrektsson, 1983). Klinikte dış kök yüzeyinde fizyolojik sıcaklığın üzerine eklenen yaklaşık 10 °C'lik artış geri dönüşümlü hasarın sınırı kabul edilir.

Davis ve arkadaşları, kuru ortamda metal posta uygulanan sürekli ultrasonik vibrasyonda post-diş ara yüzü sıcaklığının yaklaşık 59 °C'ye, kök dış yüzeyindeki artışın ise 60 saniyede 32 °C'nin üzerine çıktığını göstermiş; enerjinin 15 saniyeden uzun kesintisiz uygulanmasının tolerans sınırını aştığını bildirmiştir (Davis ve ark., 2010). Budd ve arkadaşları da ultrasonik post sökümünde post ve kök yüzeyindeki sıcaklık artışını ölçerek soğutmanın gerekliliğini ortaya koymuştur (Budd ve ark., 2005; Dominici ve ark., 2005). Bu nedenle bol su soğutması, aralıklı çalışma ve dinlenme periyotları vazgeçilmezdir.

3.2. İatrojenik Dentin Kaybı ve Perforasyon Riski

Sökümün bir diğer majör komplikasyonu iatrojenik dentin kaybıdır. Postu çevreleyen materyali temizlerken frezler veya kalın uçlar sağlam dentini de aşındırır; servikal üçlüde dentinin incilmesi dişin çiğneme kuvvetlerine karşı direncini belirgin biçimde düşürür ve operasyon sonrası vertikal kök kırıklarına zemin hazırlar (Abbott, 2002). Dişle aynı renkteki cam fiber postlarda post-dentin sınırının ayırt edilememesi, frezin kanal dışına çıkarak perforasyona yol açma olasılığını artırır. Bu nedenle başarı ölçütü yalnızca postun çıkarılması değil, çevre dentine en az zarar verilerek çıkarılmasıdır (Gesi ve ark., 2003; Krug ve ark., 2024).

Tablo 1. Post sökümünde başlıca risk faktörleri ve biyolojik sonuçları

Risk faktörü	Başlıca etken	Kritik eşik	Klinik sonuç
Termal hasar	Soğutmasız ultrasonik kullanım, uzun süreli frezleme	47 °C / 1 dk; dış kök yüzeyinde +10 °C	PDL nekrozu, osteosit apoptozu, ankiloz, diş kaybı
Aşırı dentin kaybı	Kalın trepan/elmas frez ile agresif aşındırma	Kalan dentinin ~1 mm altına inmesi	Kırılma direncinde azalma, vertikal kök kırığı
Kök perforasyonu	Hatalı aks açısı, görüş eksikliği, kalsifiye kanal	Kanal anatomisinden sapma	Periodontal atışman kaybı, endodontik başarısızlık

4. Metal ve Döküm Postların Söküm Yöntemleri

Yüksek elastiklik modülü ve güçlü mekanik tutunma nedeniyle döküm ve prefabrik metal postlar, sökümü en güç olgular arasındadır. Temel strateji, ultrasonik titreşimin aşındırıcı etkisi ile mekanik ekstraktörlerin kaldırıcı sistemleri üzerine kuruludur (Castrisos & Abbott, 2002).

4.1. Ultrasonik Sistemler

Ultrasonik cihazlar, yeniden tedavi gibi zorlu olguların yönetiminde dönüm noktası olmuştur (Plotino ve ark., 2007). Piezoelektrik üniteler 25-30 kHz aralığında mekanik salınım üretir. Metal post sökümünde önce kor materyali temizlenip postun başı açığa çıkarılır; su soğutmalı uç doğrudan posta temas ettirilir. Rijit post, titreşimi sönümlemeden siman tabakasına iletir ve sürekli mikro-çekiçleme etkisiyle kırılğan siman parçalanarak bağ koparılır (Castrisos & Abbott, 2002). Ultrasoniklerin en belirgin üstünlüğü, dişe yanal kama kuvveti uygulamaması nedeniyle kök kırığı olasılığını en aza indirmesidir; ancak termal nekroz riski nedeniyle bol su soğutması zorunludur (Davis ve ark., 2010).

4.2. Mekanik Ekstraktör Sistemleri

Ultrasonik enerjinin yetersiz kaldığı kalın döküm postlarda, kök duvarına yanal stres bindirmeden kontrollü çekme uygulayan mikro-mekanik ekstraktörler kullanılır.

4.2.1. Egger Post Sökücü

Özellikle ön bölgedeki büyük döküm postlarda tercih edilen Egger post sökücü, çene ve destek ayaklarının oluşturduğu krikto/kaldırıcı mekanizmasıyla kuvveti dengeler; çeneler postu koronal yönde çekerken destek ayaklar dişi ters yönde iterek kuvveti nötrler. Castrisos ve arkadaşları, postun dişin uzun eksenine paralel çekildiğinde kök yüzeyindeki gerilimin düşük kaldığını ve kırık görülmediğini, çekim aksından yaklaşık 10 derecelik bir sapmada ise kırık riskinin belirgin biçimde arttığını strain gauge ölçümleriyle göstermiştir (Castrisos ve ark., 2002). Geniş

bir klinik seride, doğru olgu seçimi ve uygun çekim açısıyla post sökümünde kök kırığı oranının yalnızca yaklaşık %0,06'da kaldığı bildirilmiştir; bu da ekstraktörlerin uygun koşullarda son derece öngörülebilir olduğunu ortaya koymaktadır (Abbott, 2002). Ankette de Eggler post sökücünün ön dişlerdeki postlarda en sık başvurulanan cihaz olduğu bildirilmiştir (Castrisos & Abbott, 2002).

4.2.2. Gonon ve Ruddle PRS Sistemleri

Eggler cihazının anatomik olarak kullanımının güç olduğu posterior bölgelerde veya başı kırılmış postlarda Gonon ya da PRS (Post Removal System) düzenekleri tercih edilir. Bu sistemlerde servikal siman ultrasonik uçlarla temizlendikten sonra trepan frezlerle post çevresinde minimal bir kazıma yapılır; ters yönde dönen yiv açıcı tüpler postun dış yüzeyini kavrar ve kök yüzeyine binen baskıyı yumuşatan tamponlar aracılığıyla post eksen doğrultusunda çekilir. Dişe kaba bir yanıl kuvvet uygulanmadığından perforasyon riski sınırlı tutulur (Ruddle, 2004).

4.2.3. Masserann Tekniğı

Masserann kiti, kanalda sıkışmış kırık postların ya da parçaların hedef cismin çevresindeki dokunun boşaltılıp dış çıkarıcı tüple kavranarak çekilmesi ilkesine dayanır (Williams & Bjorndal, 1983). Kavrama gücü yüksek olmakla birlikte, içerdığı trepan frezlerin görece kalın olması belirgin bir dezavantajdır; alet çevresinde dönebilmek için sağlam radiküler dentinden agresif madde kaldırılması gerekir ve bu durum özellikle ince, eğimli köklerde perforasyon ile sonrasında vertikal kök kırığı riskini artırır. Bu kısıtlılıklar nedeniyle teknik, günümüzde büyük ölçüde yerini ultrasonik yaklaşımlara bırakmıştır (Williams & Bjorndal, 1983; Castrisos & Abbott, 2002).

Tablo 2. Geleneksel mekanik ekstraktör sistemlerinin karşılaştırması

Sistem	Çalışma ilkesi	Üstünlük	Risk / kısıt
Eggler	Çene + destek ayağı ile krikto/kaldıraç etkisi	Stresi eksen boyunca dengeler; çok düşük kırık riski	Aks sapmasında kök kırığı; posteriorda kullanım güç
Ruddle / Gonon PRS	Trepan kazıma + ters yiv açma + dikey çekme	Yanal baskı yapmaz; dentin kaybını sınırlar	Çok basamaklı; uygulama süresi uzayabilir
Masserann	Çevre dokuyu kazıyıp tüp içi kilitle çekme	Obje kavrama gücü yüksek	Kalın trepan → aşırı dentin kaybı, perforasyon

5. Fiber Postların Söküm Yöntemleri

Fiber postların adeziv rezin simanla güçlü bağlanması ve dentinle benzer renkte olması, sökümü hassas, zaman alıcı ve riskli kılar. Klinik stratejiler geleneksel (ultrasonik ve mekanik) ve ileri (lazer, dijital) yöntemler olarak iki başlıkta toplanabilir (Purger ve ark., 2021).

Çok sayıda çalışmayı kapsayan sistematik derlemeler, ultrasonik yöntemin genellikle mekanik yöntemlere kıyasla daha uzun işlem süresi gerektirdiğini bildirmektedir; bu nedenle teknik seçimi, işlem hızı ile kök dokusunu koruma önceliği arasında kurulacak dengeye dayanır. Hiçbir yöntem her olgu için ideal olmadığından, klinisyenin postun materyalini, simantasyonunu ve kök anatomisini göz önünde bulundurarak yöntemi bireyselleştirmesi gerekir (Purger ve ark., 2021).

5.1. Ultrasonik Yöntem

Kompozit yapıdaki fiber postlar ultrasonik enerjiyi sönümleme eğiliminde olduğundan, ultrasonik uçlar genellikle postu tek parça çıkarmak yerine kontrollü biçimde küçük segmentlere ayırmak ve artık simanı temizlemek için kullanılır. İnce, elmas kaplı uçlar mikroskop altında geniş görüş sağlar (Purger ve ark., 2021; Honda ve ark., 2025). Yöntemin en önemli üstünlüğü kanal içinde merkezlenerek dentin kaybını en aza indirmesidir; başlıca dezavantajı ise yavaş olmasıdır. Mikro-BT destekli bir çalışmada fiber postun ultrasonik uçlarla çıkarılması özel karbür freze kıyasla belirgin biçimde daha uzun sürmüştür (yaklaşık 502 saniyeye karşı 58 saniye) (Fenigstein ve ark., 2025). Söküm tekniğinin dentinde mikroçatlak oluşumuna etkisi de yöntem seçiminde dikkate alınmalıdır (Haupt ve ark., 2022).

Ultrasonik yöntemin başlıca üstünlüğü, kanal içinde merkezlenerek dentini görece düzenli ve koruyucu biçimde uzaklaştırması, post çevresindeki rezin siman artıklarını temizleyerek yeniden simantasyon için uygun bir yüzey bırakması ve ince uçlarla kontrollü ilerleme sayesinde perforasyon riskini azaltmasıdır; ince uçların büyütme ile birlikte kullanımı derin kanallarda dahi yeterli erişim sağlar (Purger ve ark., 2021; Honda ve ark., 2025). Buna karşılık fiber postun titreşimi sönümlemesi işlem süresini uzatır ve bu sürede biriken ısı önemli bir risk oluşturur; yetersiz soğutmada kök yüzeyindeki yaklaşık 10 °C'lik bir artış bile periodontal dokularda geri dönüşümsüz hasara yol açabilir. Bol su ile soğutma ve aralıklı uygulama, hem ucun hem de çevre dokuların sıcaklığını güvenli sınırlar içinde tutmak için gereklidir (Dominici ve ark., 2005; Gluskin ve ark., 2005).

5.2. Mekanik Frez ve Özel Söküm Kitleri

Mekanik yöntemde fiber post; elmas/karbür frezler, uzun gövdeli kanal frezleri veya üreticiye ait söküm kitleriyle aşındırılarak çıkarılır. Doğru alet ve teknikle bu yaklaşım genellikle daha hızlıdır; postun merkezine kılavuz delik açıp eksenini izlemek hem süreyi kısaltır hem de perforasyon riskini azaltır (Gesi ve ark., 2003; Anderson ve ark., 2007; Lindemann ve ark., 2005). Başlıca tehlike gereksiz dentin kaldırılması ve yol sapmasıdır; özellikle trepan tipi frez içeren özel kitler postu silindirik olarak çevreleyen dentini de uzaklaştırdığından eksantrik ve agresif madde kaybına yol açabilir (Fenigstein ve ark., 2025; Arukaslan & Aydemir, 2019). Bir mikro-BT çalışmasında, Munce frezi ile söküm ultrasonik uca kıyasla belirgin biçimde daha hızlı (ortalama 58 saniyeye karşı 502 saniye) gerçekleşmiş; uzaklaştırılan dentin hacmi ve oluşan en yüksek sıcaklık açısından iki yöntem arasında anlamlı fark bulunmamış, ancak frez daha eksantrik bir aşındırma paterni oluşturmuştur (Fenigstein ve ark., 2025).

Mekanik yöntemde bir diğer güçlük görüş alanıdır; yüksek devirli el aleti ve frez gövdesi, özellikle derin segmentlerde çalışma alanını kısıtlayabilir. Bu nedenle güvenli ve etkili kullanım deneyim gerektirir; yetersiz deneyim hem işlem süresini uzatır hem de iatrojenik hasar riskini artırır (Krug ve ark., 2024).

5.3. Fiber Post Sökümünü Etkileyen Faktörler

Söküm güçlüğü sabit değildir; postun çapı ve uzunluğu, rezin simanın tipi ve polimerizasyon derecesi, postun translüensliği ve kök eğriliği bu süreci belirler. Güçlü adeziv bağ kurulmuş uzun ve dar postlarda aşındırma süresi ve ısı üretimi artarken kısa postlarda işlem kolaylaşır; post-dentin renk benzerliği ise sınırın seçilmesini güçleştirerek hatalı dentin kaybına zemin hazırlar (Gesi ve ark., 2003; Sarkis-Onofre ve ark., 2014).

6. Lazer Destekli Söküm

Fiber post sökümünde özellikle erbiyum lazerler tercih edilir. Enerjinin su tarafından yüksek düzeyde soğurulması, rezin matris ve rezin simandaki suda lokal buharlaşma ve mikro-patlamalar oluşturarak adeziv bağı zayıflatır ve postun daha kontrollü çıkarılmasını sağlar (Wang ve ark., 2020). Deeb ve arkadaşları, Er:YAG lazerle ortalama yaklaşık 98 saniyede gerçekleşen sökümün, ultrasonik yöntemde yaklaşık 538 saniye sürdüğünü; ayrıca koronal kök yüzeyi sıcaklığının lazer grubunda daha düşük kaldığını bildirmiştir (Deeb ve ark., 2019). Mikro-BT temelli bir çalışma, Er,Cr:YSGG lazerin ultrasonik yöntemle kıyasla daha kısa sürede söküm sağladığını ve işlem sonrası daha az mikroçatlakla ilişkili olduğunu göstermiştir (Papoulidou ve ark., 2023).

Bununla birlikte uzaklaştırılan dentin hacmi ve kanalda kalan rezin siman miktarı açısından lazer ile ultrasonik yöntem benzer sonuçlar verebilmektedir. Lazer ışını, özellikle opak fiber postlarda post-dentin ara yüzünün tamamına ulaşamayabildiğinden etki çoğunlukla koronal-orta kökle sınırlı kalır ve apikal bölümde tamamlayıcı mekanik adımlar gerekebilir. Yüksek ekipman maliyeti ve öğrenme eğrisi ile yanlış enerji ayarında oluşabilecek termal/karbonizasyon hasarı, yöntemin başlıca kısıtlarıdır; literatürde henüz görüş birliği oluşmamıştır (Abdou ve ark., 2023; Purger ve ark., 2021).

7. Dijital ve Kılavuzlu Yöntemler

Geleneksel tekniklerin zor ya da riskli olduğu olgularda, son yıllarda dijital teknolojilerin endodontiye entegrasyonu ile daha yüksek hassasiyet ve güvenlik hedefleyen ileri yöntemler geliştirilmiştir. Fiber postların dentinle aynı renkte olması, serbest el (freehand) tekniklerinde basamak oluşumu veya perforasyon gibi iatrojenik hata olasılığını artırır; kılavuzlu yöntemler ise postun konumunu konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) ile üç boyutlu belirleyip post eksenine uygun bir giriş açısıyla güvenli çıkarımı amaçlar. Bu yaklaşım, statik cerrahi kılavuzlar ve dinamik navigasyon olmak üzere iki ana biçimde uygulanır ve her ikisi de KIBT verilerine dayanarak operatöre yön verir (Krug ve ark., 2024).

7.1. Statik Kılavuzlu Söküm

Statik yöntemde KIBT ile dijital tarama çakıştırılarak post eksenini izleyen bir rota planlanır ve bu plana göre üretilen kılavuzdaki kovan içinden ilerletilen uzun frezle post kontrollü biçimde uzaklaştırılır (Cho ve ark., 2021). Yöntem, oryantasyonun belirsiz olduğu olgularda güvenli ve öngörülebilir bir çıkarım sağlar; ancak KIBT, dijital tarama, yazılım planlaması ve üç boyutlu baskı gerektirdiğinden zaman ve maliyet yüksektir, intraoperatif esneklik düşüktür ve planlama hataları zor telafi edilir (Fonseca Tavares ve ark., 2022). Buna karşılık geniş ve düz kanallar ile kritik anatomik komşulukların bulunduğu uygun olgularda statik kılavuzun başarı oranı yüksektir (Fonseca Tavares ve ark., 2022).

7.2. Dinamik Navigasyon

Dinamik navigasyonda frezin uzaydaki konumu kamera-sensör sistemiyle gerçek zamanlı izlenir ve ekranda anlık olarak gösterilerek serbest elle çalışmaya rehberlik edilir. Janabi ve arkadaşları, üç boyutlu dinamik navigasyonun fiber post sökümünde serbest ele kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığını ve kanal yolundan sapmayı azalttığını göstermiştir (Janabi ve ark., 2021). Aynı çalışmada navigasyonun işlem süresini de kısaltarak verimliliği artırdığını bildirilmiştir. Statik kılavuzdan farklı olarak gerçek zamanlı düzeltmeye olanak tanınması,

özellikle uzun ve eğri köklerde başarıyı artırır; başlıca dezavantajları yüksek maliyet, eğitim gereksinimi ve hareket kaynaklı doğruluk kaybıdır (Vasudevan ve ark., 2022; Hegde ve ark., 2024).

Tablo 3. Fiber post sökümünde kılavuzlu ve serbest el yaklaşımların karşılaştırması

Parametre	Serbest el (freehand)	Kılavuzlu / navigasyonlu
Radiküler dentin kaybı	Yüksek	Düşük (minimal invaziv)
Kanal yolundan sapma / perforasyon	Daha yüksek	Belirgin biçimde düşük
Operatör deneyimine bağımlılık	Yüksek	Düşük

8. Komplikasyon Yönetimi ve Kademeli Klinik Yaklaşım

En sık komplikasyonlar vertikal kök kırığı, perforasyon, kanalda kalan post parçası ve termal hasardır; büyük bölümü doğru olgu seçimi, kuvvetin dışın uzun eksenini doğrultusunda uygulanması ve yeterli soğutmayla önlenir (Castrisos ve ark., 2002; Davis ve ark., 2010). Perforasyon geliştiğinde küçük ve servikal defektler biyouyumlu tamir materyalleriyle yönetilebilirken, geniş veya apikal defektler prognozu olumsuz etkiler. Kanalda kalan post parçaları ultrasonik aktivasyonla uzaklaştırılmaya çalışılmalı; her girişimde elde edilecek kazanç ile feda edilen dentin arasındaki denge gözetilmelidir (Ruddle, 2004; Gluskin ve ark., 2005).

Klinik açıdan kademeli bir yaklaşım önerilir: en az invaziv yöntemle (ultrasonik) başlanmalı; sonuç alınamadığında sırasıyla mekanik ekstraktör, lazer veya kılavuzlu/navigasyonlu sistemlere geçilmeli ve her aşamada dışın uzun dönem restore edilebilirliği yeniden değerlendirilmelidir. Sökümün diş vereceği zararın koruma kazancını aştığı noktada cerrahi yaklaşım veya çekim ve implant gibi alternatiflerin gündeme alınması, hasta yararını önceleyen rasyonel bir karardır (Krug ve ark., 2024; Patel ve ark., 2022).

9. Sonuç

Post sökümü, destekleyici kök dentininin biyolojik ömrünün korunmasını önceleyen, çok faktörlü ve hassas bir müdahaledir. Yöntem seçimi; postun materyaline ve simantasyon tipine, kök anatomisine, kalan diş dokusuna ve klinisyenin donanımına göre bireyselleştirilmelidir. Metal postlarda bol su soğutmalı ultrasonik vibrasyon ilk basamak olmalı, yetersiz kaldığında mekanik ekstraktörlere geçilmelidir (Eriksson & Albrektsson, 1983; Castrisos ve ark., 2002).

Adeziv fiber postlarda rezin matriks ultrasonik enerjiyi sönümlediğinden frezleme veya lazer ablasyonu gerekir; Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerler, uygun parametrelerle geleneksel

frezlemeye kıyasla daha kısa sürede ve daha az mikroçatlakla çalışabilmektedir (Deeb ve ark., 2019; Papoulidou ve ark., 2023). Kılavuzlu ve dinamik navigasyon sistemleri ise iatrojenik hataları azaltarak radiküler dentin kaybını sınırlar ve sonucu operatör deneyiminden büyük ölçüde bağımsız kılar; klinik donanımın elverdiği uygun olgularda bu dijital yaklaşımların standardize edilmesi önerilmektedir (Krug ve ark., 2024; Janabi ve ark., 2021).

KAYNAKLAR

- Abbott PV. (2002). Incidence of root fractures and methods used for post removal. *International Endodontic Journal*, 35, 1, 63-67.
- Abdou SA, Shawki M, Usama E, Ahmed S. (2023). Assessment of post space volume change after removal of fiber post by two techniques using CBCT. *Ahram Canadian Dental Journal*, 2, 4, 112-130.
- Alshabib A, Abid Althaqafi K, AlMoharib HS, Mirah M, AlFawaz YF, Algamaiah H. (2023). Dental fiber-post systems: an in-depth review of their evolution, current practice and future directions. *Bioengineering (Basel)*, 10, 5.
- Alshabib A, AlDosary K, Algamaiah H. (2024). A comprehensive review of resin luting agents: bonding mechanisms and polymerisation reactions. *Saudi Dental Journal*, 36, 2, 234-239.
- Anderson GC, Perdigão J, Hodges JS, Bowles WR. (2007). Efficiency and effectiveness of fiber post removal using 3 techniques. *Quintessence International*, 38, 8, 663-670.
- Arukaslan G, Aydemir S. (2019). Comparison of the efficacies of two different fiber post-removal systems: a micro-computed tomography study. *Microscopy Research and Technique*, 82, 4, 394-401.
- Aydemir M, Bağlar S. (2019). Post-kor sistemlerinin güncel sınıflandırılması. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, 25, 3.
- Bru E, Forner L, Llena C, Almenar A. (2013). Fibre post behaviour prediction factors: a review of the literature. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 5, 3, e150-e153.
- Budd JC, Gekelman D, White JM. (2005). Temperature rise of the post and on the root surface during ultrasonic post removal. *International Endodontic Journal*, 38, 10, 705-711.
- Castrisos T, Abbott PV. (2002). A survey of methods used for post removal in specialist endodontic practice. *International Endodontic Journal*, 35, 2, 172-180.
- Castrisos TV, Palamara JEA, Abbott PV. (2002). Measurement of strain on tooth roots during post removal with the Egglar post remover. *International Endodontic Journal*, 35, 4, 337-344.
- Chalfin H, Wesely P, Solomon C. (1990). Removal of restorative posts for the purpose of nonsurgical endodontic retreatment: report of cases. *Journal of the American Dental Association*, 120, 2, 169-172.

- Cho C, Jo HJ, Ha JH. (2021). Fiber-reinforced composite post removal using guided endodontics: a case report. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46, 4, e50.
- Davis S, Gluskin AH, Livingood PM, Chambers DW. (2010). Analysis of temperature rise and the use of coolants in the dissipation of ultrasonic heat buildup during post removal. *Journal of Endodontics*, 36, 11, 1892-1896.
- de Andrade GS, Saavedra GSFA, Augusto MG, Leon GA, Brandão HCB, Tribst JPM, Dal Piva AMO. (2023). Post-endodontic restorative treatments and their mechanical behavior: a narrative review. *Dentistry Review*, 3, 1, 100067.
- de Moraes DC, Butler S, Santos M. (2023). Current insights on fiber posts: a narrative review of laboratory and clinical studies. *Dentistry Journal (Basel)*, 11, 10.
- Deeb JG, Grzech-Leśniak K, Weaver C, Matys J, Bencharit S. (2019). Retrieval of glass fiber post using Er:YAG laser and conventional endodontic ultrasonic method: an in vitro study. *Journal of Prosthodontics*, 28, 9, 1024-1028.
- Dominici JT, Clark S, Scheetz J, Eleazer PD. (2005). Analysis of heat generation using ultrasonic vibration for post removal. *Journal of Endodontics*, 31, 4, 301-303.
- Eriksson AR, Albrektsson T. (1983). Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 50, 1, 101-107.
- Fenigstein M, Askar M, Maalhigh-Fard A, Paurazas S. (2025). Comparison of two fiber post removal techniques evaluating dentin removal, efficiency, and heat production. *Dentistry Journal (Basel)*, 13, 6, 234.
- Fonseca Tavares WL, de Oliveira Murta Pedrosa N, Moreira RA, Braga T, de Carvalho Machado V, Ribeiro Sobrinho AP, Amaral RR. (2022). Limitations and management of static-guided endodontics failure. *Journal of Endodontics*, 48, 2, 273-279.
- Gesi A, Magnolfi S, Goracci C, Ferrari M. (2003). Comparison of two techniques for removing fiber posts. *Journal of Endodontics*, 29, 9, 580-582.
- Gluskin AH, Ruddle CJ, Zinman EJ. (2005). Thermal injury through intraradicular heat transfer using ultrasonic devices: precautions and practical preventive strategies. *Journal of the American Dental Association*, 136, 9, 1286-1293.
- Goracci C, Ferrari M. (2011). Current perspectives on post systems: a literature review. *Australian Dental Journal*, 56 (Suppl 1), 77-83.

- Haupt F, Riggers I, Konietschke F, Rödiger T. (2022). Effectiveness of different fiber post removal techniques and their influence on dentinal microcrack formation. *Clinical Oral Investigations*, 26, 4, 3679-3685.
- Hegde V, Mandke L, Memon K, Ansari M, Srilatha S, Mujawar A. (2024). Dynamic navigation in endodontics: a comprehensive literature review. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27, 12, 1202-1210.
- Honda R, Pelepenko LE, Monteiro MF, Marciano MA, Gomes BPFA, de Jesus Soares A, Ferraz CCR, de Almeida JFA. (2025). Fibre post removal using ultrasonic tips: a comparative in vitro study using different protocols. *Australian Endodontic Journal*, 51, 1, 47-54.
- Janabi A, Tordik PA, Griffin IL, Mostoufi B, Price JB, Chand P, Martinho FC. (2021). Accuracy and efficiency of 3-dimensional dynamic navigation system for removal of fiber post from root canal-treated teeth. *Journal of Endodontics*, 47, 9, 1453-1460.
- Krug R, Schwarz F, Dullin C, Leontiev W, Connert T, Krastl G, Haupt F. (2024). Removal of fiber posts using conventional versus guided endodontics: a comparative study of dentin loss and complications. *Clinical Oral Investigations*, 28, 3, 192.
- Lindemann M, Yaman P, Dennison JB, Herrero AA. (2005). Comparison of the efficiency and effectiveness of various techniques for removal of fiber posts. *Journal of Endodontics*, 31, 7, 520-522.
- Linnemann T, Kramer EJ, Schwendicke F, Wolf TG, Meyer-Lueckel H, Wierichs RJ. (2021). Longevity and risk factors of post restorations after up to 15 years: a practice-based study. *Journal of Endodontics*, 47, 4, 577-584.
- Luo C, Liu Y, Peng B, Chen M, Liu Z, Li Z, Kuang H, Gong B, Li Z, Sun H. (2023). PEEK for oral applications: recent advances in mechanical and adhesive properties. *Polymers (Basel)*, 15, 2.
- Mamoun J. (2017). Post and core build-ups in crown and bridge abutments: bio-mechanical advantages and disadvantages. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 9, 3, 232-237.
- Mannocci F, Bhuva B, Roig M, Zarow M, Bitter K. (2021). European Society of Endodontology position statement: the restoration of root filled teeth. *International Endodontic Journal*, 54, 11, 1974-1981.
- Marchionatti AME, Wandscher VF, Rippe MP, Kaizer OB, Valandro LF. (2017). Clinical performance and failure modes of pulpless teeth restored with posts: a systematic review. *Brazilian Oral Research*, 31, e64.

- Naumann M, Schmitter M, Frankenberger R, Krastl G. (2018). “Ferrule comes first. Post is second!” Fake news and alternative facts? A systematic review. *Journal of Endodontics*, 44, 2, 212-219.
- Nair PNR. (2006). On the causes of persistent apical periodontitis: a review. *International Endodontic Journal*, 39, 4, 249-281.
- Oilo G. (1991). Luting cements: a review and comparison. *International Dental Journal*, 41, 2, 81-88.
- Özcan M, Volpato CAM. (2020). Current perspectives on dental adhesion: (3) adhesion to intraradicular dentin: concepts and applications. *Japanese Dental Science Review*, 56, 1, 216-223.
- Ozkurt Z, Iseri U, Kazazoglu E. (2010). Zirconia ceramic post systems: a literature review and a case report. *Dental Materials Journal*, 29, 3, 233-245.
- Papoulidou I, Dionysopoulos D, Mourouzis P, Naka O, Sarris K, Baldi A, Scotti N, Tolidis K. (2023). Evaluation of Er,Cr:YSGG laser technique for fiber post removal of endodontically treated teeth using micro-computed tomography. *Microscopy Research and Technique*, 86, 7, 803-812.
- Patel S, Bhuva B, Bose R. (2022). Present status and future directions: vertical root fractures in root filled teeth. *International Endodontic Journal*, 55 (Suppl 3), 804-826.
- Peroz I, Blankenstein F, Lange KP, Naumann M. (2005). Restoring endodontically treated teeth with posts and cores: a review. *Quintessence International*, 36, 9, 737-746.
- Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F. (2007). Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *Journal of Endodontics*, 33, 2, 81-95.
- Podili S, Puthenkandathil R, Kulkarni MM, Alobaid MA, Valluri BP, Shaik ZA. (2023). Fracture resistance of different post-core systems: an in vitro study. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 15 (Suppl 1), S239-S243.
- Purger LO, Tavares SJ, Martinez RL, Caldas I, Antunes LA, Scelza MZ. (2021). Comparing techniques for removing fiber endodontic posts: a systematic review. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 22, 5, 587-595.
- Ruddle CJ. (2004). Nonsurgical retreatment. *Journal of Endodontics*, 30, 12, 827-845.

- Sabeti M, Chung YJ, Aghamohammadi N, Khansari A, Pakzad R, Azarpazhooh A. (2024). Outcome of contemporary nonsurgical endodontic retreatment: a systematic review of randomized controlled trials and cohort studies. *Journal of Endodontics*, 50, 4, 414-433.
- Sarkis-Onofre R, Skupien JA, Cenci MS, Moraes RR, Pereira-Cenci T. (2014). The role of resin cement on bond strength of glass-fiber posts luted into root canals: a systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Operative Dentistry*, 39, 1, E31-E44.
- Sharma S, Attokaran G, Singh KS, Jerry JJ, Ahmed N, Mitra N. (2016). Comparative evaluation of fracture resistance of glass fiber reinforced, carbon, and quartz post in endodontically treated teeth: an in-vitro study. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 6, 4, 373-376.
- Sidoli GE, King PA, Setchell DJ. (1997). An in vitro evaluation of a carbon fiber-based post and core system. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 78, 1, 5-9.
- Sorrentino R, Di Mauro MI, Ferrari M, Leone R, Zarone F. (2016). Complications of endodontically treated teeth restored with fiber posts and single crowns or fixed dental prostheses: a systematic review. *Clinical Oral Investigations*, 20, 7, 1449-1457.
- Stockton LW. (1999). Factors affecting retention of post systems: a literature review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 81, 4, 380-385.
- Tsolomitis P, Diamantopoulou S, Papazoglou E. (2024). Contemporary concepts of adhesive cementation of glass-fiber posts: a narrative review. *Journal of Clinical Medicine*, 13, 12, 3479.
- Vasudevan A, Santosh SS, Selvakumar RJ, Sampath DT, Natanasabapathy V. (2022). Dynamic navigation in guided endodontics: a systematic review. *European Endodontic Journal*, 7, 2, 81-91.
- Venkataraman KJ, Thanapathi S, Balasubramanian S, Gandhi SA, Sarojinikutty AC. (2020). Fracture resistance of titanium, chrome-cobalt, and gold alloy as post and core materials: a comparative evaluation. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 12 (Suppl 1), S583-S588.
- Wang JH, Yang K, Zhang BZ, Zhou ZF, Wang ZR, Ge X, Wang LL, Chen YJ, Wang XJ. (2020). Effects of Er:YAG laser pre-treatment on dentin structure and bonding strength of primary teeth: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 20, 1, 316.
- Williams VD, Bjorndal AM. (1983). The Masserann technique for the removal of fractured posts in endodontically treated teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 49, 1, 46-48.

Zanza A, Reda R, Testarelli L. (2023). Endodontic orthograde retreatments: challenges and solutions. Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry, 15, 245-265.

BÖLÜM 5

ENDODONTİDE YÜKSELEN BİR TREND: BİYOSERAMİKLER

Batuhan KÖKCİ¹, Serkan UÇMAK²

¹ Uzm. Dt., Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, Konya, Türkiye. batuhan.kokci@selcuk.edu.tr, ORCID: 0009-0008-0762-9510

² Uzm. Dt., Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, Konya, Türkiye. srkncmk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7486-6785

Tıp ve diş hekimliği pratiğinde, hastalıkların tedavisi, kaybedilen fonksiyonların geri kazandırılması veya hasarlı dokuların onarılması amacıyla canlı sistemle doğrudan etkileşime giren doğal ya da sentetik materyaller “biyomateryal” olarak tanımlanmaktadır. Bir biyomateryalin klinik başarısının temelinde, uygulandığı biyolojik ortamda toksik veya immünolojik bir reaksiyon başlatmadan spesifik bir fonksiyona uyum sağlama yeteneği olan “biyoyumluluk” özelliği yer alır. Kök kanal sisteminin karmaşık anatomisi ve periapikal dokularla olan yakın komşuluğu nedeniyle, endodonti pratiği kullanılan materyallerin fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerine son derece bağımlı bir disiplindir (Raghavendra ve ark., 2017).

Endodontik materyal biliminin geçirdiği en çarpıcı paradigma değişimlerinden biri, “biyoseramikler” olarak bilinen malzeme grubunun klinik kullanıma girmesiyle yaşanmıştır. Seramikler; inorganik, metalik olmayan, ham maddelerin yüksek sıcaklıkta kalsine edilmesiyle elde edilen, korozyona ve ısıya dirençli sert maddelerdir. Medikal ve dental uygulamalar için rafine edilen biyoyumlu seramikler veya metal oksitler ise biyoseramik olarak adlandırılır. Bu materyaller yüksek örtücülük, kimyasal stabilite ve biyoaktivite sayesinde geleneksel dental materyallerin ötesine geçerek, insan sert dokusundaki hidroksiapatiti taklit etme ve doku rejenerasyonunu hücresel düzeyde indüklemeye kapasitesine sahiptir (Dong & Xu, 2023; Raghavendra ve ark., 2017).

Modern biyoseramiklerin yapısal kökeni, 1824 yılında Joseph Aspdin tarafından kireçtaşı ve silisyum–alüminyum içerikli killerin yüksek sıcaklıkta kalsinasyonu ile elde edilen Portland çimentosuna dayanır. Endodontide biyoseramik çağının fiilen başlaması ise 1990’lı yılların başında Torabinejad ve ekibinin geliştirdiği Mineral Trioksit Agregat (MTA) ile mümkün olmuştur. Birinci nesil bir hidrolik kalsiyum silikat çimentosu olan MTA, esas olarak medikal saflıkta Portland çimentosu ile radyopasite sağlamak amacıyla eklenen bizmut oksit karışımından oluşur (Torabinejad ve ark., 1995; Parirokh & Torabinejad, 2010).

Geliştirildiği dönemde amalgam, çinko oksit öjenol ve epoksi rezin gibi materyallerle kıyaslanan MTA; nemli ortamda dahi üstün sızdırmazlık sağlaması ve periapikal doku rejenerasyonunu teşvik etmesiyle “ideal” materyal arayışına en çok yaklaşan buluş olmuştur. Ancak materyalin güçlü biyolojik performansına rağmen, zayıf manipülasyon özellikleri, uzun sertleşme süresi (ortalama 2 saat 45 dakika) ve bizmut oksidin neden olduğu renkleşme potansiyeli, araştırmacıları yeni formülasyonlara yöneltmiştir. Bu yolculuk; Biodentine, BioAggregate, EndoSequence Kök Tamir Materyali ve enjekte edilebilir önceden karıştırılmış (premixed) biyoseramik patların geliştirilmesiyle genişleyerek biyoseramikleri endodontinin

ayrılmaz bir parçası hâline getirmiştir (Parirokh & Torabinejad, 2010; Dawood ve ark., 2017; Dong & Xu, 2023).

Bu bölümde biyoseramiklerin tarihsel evrimi, sınıflandırılması, fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri ile bu özelliklerin altında yatan biyomineralizasyon mekanizması ele alınacaktır. Ardından materyallerin başlıca endodontik endikasyonları — kök kanal patları ve tek kon tekniği, retreatment, vital pulpa tedavileri, apeksifikasyon ve rejeneratif endodonti, perforasyon tamiri ile endodontik mikrocerrahi — güncel klinik kanıtlar ışığında tartışılacak ve alanın gelecek perspektifleri değerlendirilecektir.

1. BİYOSERAMİKLERİN SINIFLANDIRILMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ

Biyoseramikler; fizikokimyasal yapıları, canlı sistem içindeki davranış biçimleri ve inorganik bileşimleri temel alınarak farklı parametrelerde sınıflandırılabilir. Dokularla kurdukları biyolojik etkileşim potansiyeline göre biyoseramikler üç ana gruba ayrılır (Dong & Xu, 2023; Raghavendra ve ark., 2017).

Doku Etkileşim Tipi	Tanım ve Davranış Modeli	Materyal Örnekleri
Biyoinert	Çevre dokularla kimyasal etkileşime girmez, inorganik bir reaksiyon başlatmaz. Temel amaçları uygulandıkları bölgede yapısal destek sağlamaktır; yabancı cisim reaksiyonu oluşturmada doku içinde pasif kalırlar.	Alümina, Zirkonya
Biyoaktif	Çevre dokularla doğrudan kimyasal etkileşime girerek hücrel aktiviteyi uyarırlar. Kalsiyum ve fosfattan zengin doku sıvılarıyla temas ettiklerinde yüzeylerinde hidroksiapatit tabakası oluşturarak sert dokuyla kimyasal bağ kurarlar.	Biyoaktif camlar, kalsiyum silikat bazlı simanlar (MTA, Biodentine)
Biyobozunur	Fizyolojik süreçler sonucu zamanla çözünerek yıkılırlar; yıkımla eş zamanlı olarak yerlerine yeni kemik/dentin dokusu oluşur (rezorbe olurlar).	Kalsiyum sülfat, rezorbe olabilen kalsiyum fosfatlar

Biyoinert seramikler daha çok ortopedik implantlarda ve protetik altyapılarda taşıyıcı olarak tercih edilirken; yüksek doku onarım potansiyelleri nedeniyle endodontik tedavilerde biyoaktif ve biyobozunur seramikler ön plandadır. Endodontik perspektifte kimyasal bileşim dikkate alındığında biyoseramikler üç alt jenerasyona ayrılır: kalsiyum fosfat / trikalsiyum fosfat / hidroksiapatit bazlı biyoseramikler (kemik defektleri, periodontal cerrahi ve sentetik greftlerde kullanılır); endodontideki “hidrolik simanlar” olarak da bilinen ve MTA, Biodentine, BioAggregate, EndoSequence kök tamir materyalleri ile biyoseramik patları kapsayan

kalsiyum silikat bazlı biyoseramikler; ve her iki grubun avantajlarını birleştiren kalsiyum silikat–kalsiyum fosfat karışımları (Raghavendra ve ark., 2017; Dong & Xu, 2023).

2. KALSİYUM SİLİKAT BAZLI SİMANLARIN FİZİKOKİMYASAL VE YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Güncel endodonti pratiğinde biyoseramik dendiğinde akla ilk gelen materyaller hidrolik kalsiyum silikat bazlı simanlardır (KSS). Bu simanlar “hidrolik” olarak tanımlanır; çünkü sertleşme reaksiyonlarını başlatabilmek için suya veya neme ihtiyaç duyar, sertleştikten sonra ise su ortamında çözünmeyen bir yapı kazanırlar (Dawood ve ark., 2017).

MTA, Biodentine ve EndoSequence gibi başlıca kalsiyum silikat simanların yapısal karakterizasyonunda tarama elektron mikroskobu ve enerji dağıtıcı X-ışını analizi (SEM/EDX), X-ışını kırınımı (XRD) ve Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) gibi ileri yöntemler kullanılmıştır. SEM analizleri, kalsiyum silikat bazlı materyallerin yüzey topolojisinin homojen olmadığını ve partikül boyutlarının yaklaşık 0,194 µm ile 51,82 µm arasında geniş bir aralıkta değiştiğini göstermektedir. EDX ölçümleri tüm materyallerin çekirdeğinde yoğun biçimde karbon, kalsiyum, silisyum ve oksijen bulunduğunu; markaya göre magnezyum, alüminyum, bizmut, zirkonyum ve tantal varlığında minör farklılıklar olduğunu doğrulamış, XRD spektrumları ise iskeletin baskın olarak trikalsiyum silikat ve dikalsiyum silikat kristallerinden oluştuğunu kanıtlamıştır (Mahmoud ve ark., 2022). Önceden karıştırılmış (premixed) nano-partiküllü pat sistemleri ise eski nesillere göre çok daha küçük partikül boyutları sunarak dentin tübüllerinin derinliklerine daha etkin bir penetrasyon sağlar (Dong & Xu, 2023).

2.1. Hidrasyon Kinetiği, Sertleşme Reaksiyonu ve Biyoaktivite Mekanizması

Biyoseramiklerin doku dostu bir tamir materyaline dönüşmesinin temel sırrı, su veya organik doku sıvılarıyla karşılaştıklarında sergiledikleri hidrasyon reaksiyonunda gizlidir. Kalsiyum silikatlar su ile temas ettiğinde ardışık bir reaksiyon zinciri başlatır; reaksiyonun ana ürünü, partiküller arasındaki boşlukları dolduran ve materyalin mekanik gücü ile boyutsal bütünlüğünü sağlayan rijit ve poröz kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jelidir (Dawood ve ark., 2017).

Reaksiyonun en önemli yan ürünü ise kalsiyum hidroksittir. Kalsiyum hidroksit, kalsiyum silikat matriksinden ayrılarak çevre dokuya sürekli ve yavaş bir şekilde kalsiyum ve hidroksil iyonları salar. İyonize olan hidroksil iyonları, uygulama bölgesindeki lokal pH değerini ilk saatler içinde hızla 10,2 düzeyinden 12,5 düzeyine çıkarır. Oluşan bu yüksek alkali mikroçevre,

başta inatçı *Enterococcus faecalis* olmak üzere birçok patojenin hücre duvarı enzimlerini inhibe ederek güçlü bir antibakteriyel bariyer oluşturur (Parirokh & Torabinejad, 2010).

Yüksek alkali ortam, salınan kalsiyum iyonlarının kandan veya dentinden gelen endojen fosfat iyonlarıyla birleşerek çökelmesine olanak tanır. Çökelen yapı zamanla kristalize olarak insan sert dokusunun inorganik bileşimiyle özdeş karbonatlı hidroksiapatit tabakasına dönüşür. “Biyomineralizasyon” adı verilen bu süreç sayesinde biyoseramik, dentin tübüllerine mineral uzantılar göndererek kanal duvarına hem mikro-mekanik hem kimyasal olarak kilitlenir ve mikrosızıntı riskini en aza indirir (Dong & Xu, 2023; Raghavendra ve ark., 2017).

2.2. Radyopasifiye Edici Ajanların Evrimi: Bizmut Oksitten Zirkonyum Oksite

Biyoseramik materyallerin radyografik olarak sert dokudan ayırt edilebilmesi için radyopasitelerinin dentinden yüksek olması gerekir. Torabinejad’ın geliştirdiği ilk nesil MTA formülasyonunda bu amaçla karışıma yaklaşık %20 oranında bizmut oksit eklenmiştir (Parirokh & Torabinejad, 2010). Ancak klinik takipler, bizmut oksidin önemli bir dezavantaj taşıdığını ortaya koymuştur.

Marciano ve arkadaşlarının çalışmasında, endodontik dezenfeksiyonda rutin olarak kullanılan sodyum hipoklorit ile temas eden bizmut oksidin şiddetli bir reaksiyonla aşırı oksitlendiği ve çimento–dentin arayüzünde geri dönüşümü güç koyu gri/siyah renklenmelere yol açtığı gösterilmiştir; enerji dağılım haritaları bizmut iyonlarının dentin tübüllerinin derinliklerine kadar göç ettiğini ortaya koymuştur (Marciano ve ark., 2015). Bu nedenle sodyum hipoklorit irigasyonu uygulanan estetik bölge dişlerinde bizmut oksit içeren MTA formülasyonlarının kullanımı tartışmalı hâle gelmiştir.

Bu kritik komplikasyon araştırmacıları stabil radyopasifiye ajanlara yönlendirmiştir. Güncel ikinci ve üçüncü nesil biyoseramik sistemlerde (Biodentine, EndoSequence kök tamir materyali, Bio-C Sealer vb.) bizmut oksit formülasyondan çıkarılmış; yerine kimyasal olarak son derece stabil olan zirkonyum oksit ve tantal pentoksit entegre edilmiştir. Zirkonyum oksit, yüksek oksidatif direnci sayesinde sodyum hipoklorit ile doğrudan temas etse dahi bozulmaya uğramaz ve materyalin hidrasyon kinetiğini, kalsiyum salınımını veya hidroksiapatit oluşumunu olumsuz etkilemez (Mahmoud ve ark., 2022; Souza ve ark., 2023; Kumara ve ark., 2025).

Materyal	Temel Radyopasifiye Ajan
ProRoot MTA	Bizmut oksit
MTA Angelus	Bizmut oksit
Biodentine	Zirkonyum oksit
EndoSequence Kök Tamir Materyali (ERRM)	Zirkonyum oksit ve tantal pentoksit

2.3. Çözünürlük, pH, Akıcılık ve Film Kalınlığı

Biyoseramik patların klinik başarısını belirleyen fizikokimyasal parametreler Uluslararası Standardizasyon Örgütü normlarına göre değerlendirilir. Güncel kalsiyum silikat bazlı patların geleneksel epoksi rezin patlarla karşılaştırıldığı laboratuvar testleri, biyoseramiklerin ayırt edici profilini ortaya koymuştur. Premixed kalsiyum silikat patların en belirgin özellikleri yüksek alkalinite ($\text{pH} > 12$), yüksek kalsiyum iyonu salınımı, düşük film kalınlığı ile yüksek akıcılık ve epoksi rezinlere kıyasla görece daha yüksek çözünürlüktür; buna karşılık epoksi rezin patlar kalsiyum salınımı göstermez, çözünürlüğü minimumdur ve film kalınlığı daha fazladır (Hamdy ve ark., 2024; Souza ve ark., 2023).

Pat (Sealer) Tipi	pH / Alkalinite	Ca ²⁺ Salınımı	Film Kalınlığı / Akıcılık	Çözünürlük
AH Plus Bioceramic	En yüksek alkali pH (>12)	Çok yüksek	En düşük film kalınlığı, en yüksek akıcılık	Görece yüksek
Bio-C Sealer	Yüksek alkalinite	Orta düzey	Orta düzey film kalınlığı	Yüksek
EndoSequence BC Sealer	Uzun dönemde yüksek ve stabil alkalinite	Çok yüksek	İdeal ISO akıcılık değerleri	Düşük; hafif genleşme gösterir
AH Plus / ADseal (epoksi rezin)	Düşük pH	Yok	En yüksek film kalınlığı	Minimum; üstün boyutsal stabilite

Epoksi rezin patlar sertleşme sırasında boyutsal büzülme gösterirken, biyoseramik patların hidrasyon sırasındaki minimal hacimsel genleşmesi materyalin dentin duvarına daha sıkı penetre olmasını sağlayarak mekanik retansiyonu artırır. Dentin tübüllerinden gelen endojen nem genellikle priz reaksiyonu için klinik düzeyde yeterli bir sıvı matriksi oluşturmaktadır (Hamdy ve ark., 2024; Souza ve ark., 2023).

3. BİYOLOJİK ÖZELLİKLER: BİYOUYUMLULUK VE BİYOMİNERALİZASYON

Kök kanal patları, tamir simanları ve pulpa kuafaj ajanları kaçınılmaz olarak periapikal bağ dokusu, periodonsiyum ve canlı pulpa dokusuyla doğrudan temas hâlinindedir. Bu nedenle materyalin hücre canlılığını koruması, inflamatuvar reaksiyon başlatmaması ve toksik olmaması zorunludur. Sertleşme öncesi monomer veya öjenol salınımı nedeniyle belirgin sitotoksikite gösteren geleneksel epoksi rezin ve çinko oksit öjenol bazlı materyallerin aksine, kalsiyum silikat bazlı biyoseramikler günümüzde biyo-rejeneratif materyallerin referansını oluşturmaktadır (Souza ve ark., 2023; Dong & Xu, 2023).

3.1. Hücresel Etkileşimler ve Kök Hücreler

İnsan periodontal ligament fibroblastları, periodontal ligament kök hücreleri ve dental pulpa kök hücreleri üzerinde yürütülen araştırmalar, biyoseramiklerin inert bir bariyer olmaktan çok aktif bir hücre uyarıcısı gibi davrandığını göstermiştir. Hücre canlılığı testleri ve hücre tutunma analizlerinde AH Plus Bioceramic ve EndoSequence BC Sealer'ın, geleneksel epoksi rezin bazlı AH Plus'a kıyasla hücre canlılığını anlamlı derecede daha yüksek koruduğu; fibroblastların biyoseramik yüzeylere daha kolay infiltre olup çoğaldığı saptanmıştır (Souza ve ark., 2023).

Daha spesifik bir mekanizma incelemesinde Laurent ve arkadaşları, optimal konsantrasyondaki Biodentine'in insan pulpa hücreleriyle ideal biyoyumluluk sergilediğini; hücre migrasyonu ve adezyonunu artırmanın yanı sıra pulpa fibroblastlarından güçlü bir morfojen olan Dönüştürücü Büyüme Faktörü Beta-1 (TGF- β 1) ekspresyonunu ve salınımını doğrudan indüklediğini tespit etmiştir. TGF- β 1 salınımı dentinogenezin biyokimyasal tetikleyicisidir; progenitor hücrelerin odontoblast benzeri hücrelere farklılaşmasını sağlar. Bu sayede açık pulpa yaralarında daha hızlı, kalın ve yapısal olarak defektsiz bir tersiyer (reparatif) dentin köprüsü oluşur (Laurent ve ark., 2012). MTA ve Biodentine'in başlangıçtaki minör sitotoksikitelerine rağmen yedi günlük periyodun sonunda hücre proliferasyonu açısından eşdeğer üstünlüğe ulaştığı; asidik bir ortamda dahi materyal yüzeyine tutunan kök hücre sayısının korunduğu bildirilmektedir (Dong & Xu, 2023).

3.2. Antibakteriyel Etkinlik

Biyoseramiklerin sertleşme sırasında açığa çıkardığı kalsiyum hidroksit ve hidroksil iyonları, enzimatik sistemleri bloke ederek lokal mikroçevrede mikrobiyal üremeyi büyük ölçüde baskılar. Güncel biyoseramik patların yedi günlük inkübasyon süreçlerinde *Staphylococcus aureus* ve endodontik başarısızlıkların başlıca etkeni olan *Enterococcus faecalis* biyofilmleri

üzerinde antibakteriyel etki gösterdiği raporlanmıştır. Epoksi rezin patların antimikrobiyal etkisi yalnızca sertleşme öncesi geçici fazla sınırlıyken, kalsiyum silikatların antibakteriyel kapasitesi sertleşme sonrasındaki yavaş kalsiyum hidroksit difüzyonuyla bir süre daha devam edebilir (Souza ve ark., 2023; Parirokh & Torabinejad, 2010). Bununla birlikte bu etkinin esas olarak priz reaksiyonu ve hemen sonrasındaki yüksek alkalinite dönemiyle sınırlı kaldığı, sertleşmiş materyalin olgunlaşmış *E. faecalis* biyofilmlerine karşı etkinliğinin görece zayıf olduğu ve antimikrobiyal performansın biyoseramiklerin geliştirilmeye en açık yönlerinden biri olduğu da unutulmamalıdır (Kumara ve ark., 2025).

4. KÖK KANAL PATLARI VE “TEK KON” TEKNİĞİ

Geleneksel obturasyonda kompleks kanal sistemini üç boyutlu olarak tıkamak amacıyla gutta-perka konlarının epoksi rezin ya da çinko oksit öjenol patlarla kullanıldığı soğuk lateral kondensasyon veya sıcak dikey kondensasyon teknikleri uzun süre altın standart kabul edilmiştir. Ancak epoksi rezin patların büzülme riski ve kalın film tabakaları mikrosızıntı koridorları yaratabilmektedir. Hidrofilik premixed biyoseramik patların (BC Sealer, Bio-C Sealer, Ceraseal vb.) kullanıma girmesiyle birlikte, “biyoseramik pat ve tek kon” uygulamasına doğru belirgin bir eğilim başlamıştır (Dong & Xu, 2023).

Tek kon tekniği, kanalda ısıtılma işlemi gerektirmeden, ana kanala uyarlanmış tek bir gutta-perka konunun biyoseramik pat içine yavaşça yerleştirilmesi prensibine dayanır. Bu yaklaşım hekimin klinik süresini kısaltırken, patın akıcılığı sayesinde lateral kanalların ve istmusların hidroksiapatit benzeri bir mineral matriksle dolmasına olanak tanır. Güncel verilere göre endodontistlerin önemli bir bölümü biyoseramik patları rutin iş akışına dâhil etmiş ve bu patlar epoksi rezin patları geride bırakarak en yaygın kullanılan pat tipi hâline gelmiştir (American Association of Endodontists, 2024).

4.1. Klinik Başarı Oranları ve Uzun Dönem Takip Verileri

Biyoseramik patların tek kon tekniğiyle kullanımına ilişkin retrospektif kohortlar ve randomize kontrollü çalışmalar, yöntemin klinik prognozunun yüksek olduğunu göstermektedir. Chybowski ve arkadaşları, EndoSequence BC Sealer ile tek kon tekniği uygulanan 307 dişi kapsayan retrospektif analizde, 1 aylık takipte genel başarı oranını %90,9 olarak bildirmiştir; çapı 5 mm’den küçük apikal lezyonlarda başarı anlamlı derecede daha yüksek bulunmuş, patın periapikal dokuya ekstrüze olmasının ise tedavi sonucu üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığı saptanmıştır (Chybowski ve ark., 2018).

Randomize kontrollü çalışmaların derlendiği güncel bir sistematik derleme ve meta-analizde, biyoseramik grubunda 6, 12 ve 18 aylık başarı oranları sırasıyla %88,7, %87,1 ve %92,0 iken; geleneksel epoksi rezin kontrol grubunda bu oranlar %76,4, %76,4 ve %90,7 olarak gerçekleşmiştir. Aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamakla birlikte, biyoseramik grubunun tüm takip dönemlerinde hafif bir klinik üstünlük eğilimi sergilediği gözlenmiştir (Elmsmari ve ark., 2025).

Daha uzun takipli çalışmalar da bu eğilimi desteklemektedir. Ceraseal premixed pat ve tek kon tekniğinin değerlendirildiği üç yıllık prospektif bir kohort çalışmasında %92,7 sağkalım ve %85,4 başarı oranı rapor edilmiş; kalsiyum silikat bazlı pat kullanılan ve apikal periodontitisli dişleri kapsayan beş yıllık retrospektif bir kohortta ise “kesin başarı” oranının birinci yıldaki %80,2 düzeyinden beşinci yılda %87,67’ye kadar progresif olarak yükseldiği gösterilmiştir. Yaş, cinsiyet, diş tipi, restorasyon tipi veya pat ekstrüzyonu gibi değişkenlerin uzun dönem başarıyı anlamlı düzeyde etkilemediği; başarıyı belirleyen başlıca faktörün başlangıçtaki lezyon büyüklüğü (PAI skoru) olduğu bildirilmiştir (Cardinali ve ark., 2026). Bu veriler, kalsiyum silikat bazlı hidrolik patların tek kon tekniğiyle kombine kullanımının geleneksel epoksi rezinlere güvenilir ve klinik olarak öngörülebilir bir alternatif olduğunu tescillemektedir.

5. UZAKLAŞTIRILABİLİRLİK VE YENİDEN TEDAVİ

Biyoseramiklerin sağladığı yüksek örtücülüğün ve dokuya mekano-kimyasal entegrasyonun getirdiği en önemli klinik soru, olası bir enfeksiyon tekrarında bu sert, hidroksiapatit benzeri kitlenin kanaldan nasıl uzaklaştırılacağıdır. Epoksi rezin veya öjenol bazlı patları yumuşatmak için kullanılan organik çözücüler (kloroform, ksilen, portakal yağı), tamamen inorganik bir matrikse sahip biyoseramikler üzerinde anlamlı bir çözünme yaratmaz. Bu nedenle biyoseramiklerin yeniden tedavisinin daha zor olacağı yaygın bir kanıdır (American Association of Endodontists, 2024).

Ne var ki in vitro anatomik çalışmalar, sorunun sanıldığı kadar dramatik olmadığını ortaya koymaktadır. Bağlanma doğası açısından bakıldığında, AH Plus gibi epoksi rezin patlar kök dentinindeki kolajen amino gruplarıyla güçlü kovalent bağlar kurarken; AH Plus Bioceramic ve Ceraseal gibi kalsiyum silikatlar biyomineralizasyonla dentin tübüllerine kristal çökeltirerek mekanik bir sürtünme kilidi oluşturur ve kovalent bağa kıyasla daha kolay parçalanır. Ayrıca biyoseramiklerin su temas açıları oldukça düşüktür (yüksek ıslanabilirlik); irigasyon ajanlarının sertleşmiş pat kitlesine ve dentin arayüzüne daha derin sızmasını sağlayarak patın parçalanmasını kolaylaştırır (Shim ve ark., 2025).

Mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) ile yapılan değerlendirmeler bu durumu somutlaştırmaktadır. Resiprokan Ni-Ti döner eğelerin (WaveOne Gold) ve XP-endo Finisher gibi destekleyici ajitasyon sistemlerinin kullanıldığı bir çalışmada, son enstrümantasyonun ardından kanalda kalan ortalama rezidüel dolgu hacminin AH Plus için 1,35 mm³ iken AH Plus Bioceramic için 0,55 mm³ ve Ceraseal için 0,82 mm³ olduğu; bir başka deyişle kalsiyum silikat bazlı patların epoksi rezine kıyasla anlamlı düzeyde daha az kalıntı bıraktığı gösterilmiştir (Shim ve ark., 2025).

Pat Tipi	Uzaklaştırılan Dolgu Hacmi (%) (WOG + XPF)	Kalan (Rezidüel) Hacim (mm ³)
AH Plus (epoksi rezin)	%87,1	1,35
Ceraseal (KSS)	%92,5	0,82
AH Plus Bioceramic (KSS)	%94,8	0,55

Bununla birlikte, bu konudaki kanıtların çeşitlilik gösterdiği unutulmamalıdır. Mikro-BT temelli çalışmaların derlendiği bir sistematik derlemede, biyoseramik ve epoksi rezin patların uzaklaştırılabilirliğine ilişkin sonuçların tutarsız olduğu — bazı çalışmaların biyoseramiklerin daha kolay, bazılarının daha zor, bazılarının ise fark olmadığını bildirdiği — ve kanıt düzeyinin düşük olduğu vurgulanmıştır (Arul ve ark., 2021). Nihai olarak hiçbir döner alet, çözücü veya lazer sistemi biyoseramikleri (veya rezin patları) kanaldan %100 oranında uzaklaştıramamakta; mikroskobik düzeyde kalan rezidüel pat daima yeni bir enfeksiyon rezervuarı olma riskini barındırmaktadır (Shim ve ark., 2025; Arul ve ark., 2021).

6. VİTAL PULPA TEDAVİLERİ: DİREKT PULPA KUAFASI VE PULPOTOMİ

Çürük temizlenmesi veya travma sonucu açığa çıkan pulpa dokusunun canlılığını koruyarak fonksiyonuna devam etmesini sağlamak amacıyla uygulanan konservatif yöntemler vital pulpa tedavileri (VPT) kapsamında değerlendirilir. Bu alanda 1928'den itibaren kalsiyum hidroksit patları altın standart kabul edilmiştir. Ancak kalsiyum hidroksit; zamanla dentin içinde çözünmesi, dentin duvarına mekanik adaptasyon sağlayamaması, uzun vadede mikrosızıntıya izin vermesi ve oluşturduğu tersiyer dentin köprüsünde poröz “tünel defektleri” bulunması nedeniyle her zaman ideal bir pulpa kuafaj materyali olamamıştır (Pinto ve ark., 2024).

Histolojik düzeyde biyoseramiklerin dentino-pulpal iyileşme dinamiği eşsizdir: kalsiyum hidroksit dokuyu agresif bir kimyasal şokla uyarırken, Biodentine veya MTA çok daha stabil ve sızdırmaz bir matriks sunarak kök hücre göçünü hızlandırır ve yapısal olarak daha kalın,

tünel defekti içermeyen bütüncül bir mineralize köprü oluşumunu indükler (Laurent ve ark., 2012; Dong & Xu, 2023).

Randomize klinik çalışmaların derlendiği güncel bir sistematik derleme ve meta-analiz, direkt pulpa kuafajında MTA'nın kalsiyum hidroksite kıyasla anlamlı derecede daha yüksek başarı sağladığını ortaya koymuştur; iki materyal arasındaki fark zamanla belirginleşmekte, başarı lehine olasılık oranı altıncı ayda 2,22 iken birinci yılda 2,69 ve üçüncü yılda 3,00 düzeyine yükselmektedir. Buna karşılık MTA ile Biodentine arasında anlamlı bir fark bulunmamış ve her iki materyal de üç yıllık takipte dahi %80–100 bandında başarı sergilemiştir (Pinto ve ark., 2024). Aşağıdaki tablo, bu derlemede özetlenen seçilmiş çalışmaların başarı oranlarını göstermektedir.

Çalışma / Takip Süresi	Kalsiyum Hidroksit Başarısı	Biyoseramik Başarısı
Suhag ve ark. / 12 ay	%69	%93 (MTA)
Jang ve ark. / 12 ay	—	%86,96 (MTA); %83,33 (Endocem)
Selvendran ve ark. / 6 ay	%44,44	%91,67 (Biodentine); %81,82 (MTA)
Hilton ve ark. / 24 ay	%68,5	%80,3 (MTA)
Holiel ve ark. / 24 ay	—	%100 (MTA); %100 (Biodentine)
Awawdeh ve ark. / 36 ay	—	%100 (MTA); %93,3 (Biodentine)

Pulpotomi veya kuafaj vakalarında MTA, Biodentine ve kalsiyum zenginleştirilmiş karışım (CEM) simanları arasında klinik ve radyografik sağkalım açısından anlamlı bir fark saptanmamış; hepsi yüksek bir başarı bandında performans sergilemiştir. Biyoseramikler üzerine inşa edilen kalıcı cam iyonomer ve kompozit restorasyonlar, materyallerin yüksek kompresif dirençleri sayesinde bütünlüğünü yıllarca koruyabilmektedir (Pinto ve ark., 2024; Dong & Xu, 2023).

7. APEKSİFİKASYON VE REJENERATİF ENDODONTİK TEDAVİLER

Travma veya geniş çürükler nedeniyle pulpa canlılığını kaybeden ancak kök gelişimi tamamlanmadığı için “açık apekse” sahip daimi dişler endodontinin en zorlu vakalarındandır. İnce ve kırılgan kök duvarları ile huni şeklinde geniş apikal bölge, standart bir gutta-perka dolgusunu mekanik olarak imkânsız kılar. Geleneksel protokol, apikal bölgede sert bir bariyer

oluşana dek aylarca süren çok seanslı kalsiyum hidroksit uygulamalarını gerektiriyordu; ancak kalsiyum hidroksitin kanalda uzun süre beklemesi kök dentininin kolajen ağını zayıflatarak servikal kök kırıklarına zemin hazırlamaktaydı (Dong & Xu, 2023).

Biyoseramiklerin bu alana entegrasyonu ile “ortograd apikal tıkaç” (apical plug) tekniği geliştirilmiş ve aylarca süren seanslar tek ya da iki seanslık kalıcı tedavilere dönüşmüştür. Kök ucuna yerleştirilen 3–4 mm kalınlığındaki MTA veya Biodentine tıkaçı, hidrofilik yapısı sayesinde nem ve kan varlığında dahi anında apikal bariyer oluşturarak sızıntıyı keser. MTA ile Biodentine arasında sızdırmazlık, apikal lezyon iyileşmesi ve başarı oranları açısından belirgin fark bulunmazken, Biodentine’in manipülasyon ve karıştırma kolaylığı hekimin koltuk süresini kısaltmaktadır; apikal tıkaç kalınlığı azaldıkça mikrosızıntının arttığı gösterilmiştir (Alsayed Tolibah ve ark., 2022).

İmmatür dişler için bir diğer protokol rejeneratif endodontik tedavidir (RET). Bu yaklaşımda, dezenfeksiyonu takiben apikal papilladaki kök hücreleri kanala taşımak için kontrollü bir kanama ile kan pıhtısı iskelesi oluşturulur ve üzeri koronal sızdırmazlık bariyeri olarak Biodentine veya MTA ile kapatılır (Dong & Xu, 2023). Sistemik kanıtların derlendiği bir derlemede, RET ve apikal tıkaç tekniklerinin enfeksiyon kontrolü ve lezyon iyileşmesinde benzer ve yüksek sağkalım oranları gösterdiği; ancak kök kalınlığının artması ve kök boyunun uzaması açısından RET grubunun anlamlı derecede üstün olduğu bildirilmiştir (Tewari ve ark., 2025). Bu aşamada, rijit tamir materyallerinin (MTA) seçilmesinin dişin koronal kırılma direncini daha iyi desteklediği; nitekim Biodentine’in MTA Repair HP ve Bio-C Repair’e kıyasla daha yüksek kompresif dayanım (yaklaşık 29,59 MPa) sergilediği gösterilmiştir (Rodrigues ve ark., 2021).

8. PERFORASYONLARIN TAMİRİ

Erişim kavitesinin açılması, kalsifiye kanalların aranması veya post boşluğu hazırlanması sırasında kök kanalından periodontal aralığa doğru istenmeyen bir perforasyon açılabilir. Başarılı bir perforasyon onarımının ön koşulu, tamir materyalinin biyouyumlu olması ve kan/nemle kirlenmiş bir yüzeyde dahi boyutsal stabilitesini ve sızdırmazlığını koruyabilmesidir. Tarihsel olarak kullanılan amalgam ve cam iyonomer simanlar hidrofilik olmadıklarından kan varlığında dentin arayüzüne adaptasyonlarını kaybederken, kalsiyum silikat bazlı biyoseramikler ortamdaki sıvıyı hidrasyonu tetikleyen bir katalizör olarak kullanır (Dong & Xu, 2023).

Daimi diş kök perforasyonlarında ve süt dişlerinin furkasyon bölgesi perforasyonlarında MTA, Biodentine ve EndoSequence BC Putty kullanımının mkemmeklinik ve radyografik sonuçlar verdiği bilinmektedir. Diş hekimleri arasında yrtlen güncel anket çalışmalarında, katılımcıların yaklaşık üçte ikisinin (%67,5) dolum amaçlı biyoseramik materyalleri kullandığı ve perforasyon onarımında bu materyalleri tercih ettiği; biyoseramikle onarılan defektlerde lezyonun daha hızlı iyileştiği ve periodontal aralığın yeniden kemikleştiği rapor edilmiştir (Belhaj Salah ve ark., 2025). Premixed biyoseramiklerin enjekte edilebilir yapısı, özellikle apikal l ve eğri kök anatomisindeki perforasyonlarında, geleneksel toz–likit MTA’ya kıyasla büyük bir manipülasyon kolaylığı sunar (Dong & Xu, 2023).

9. ENDODONTİK MİKROCERRAHİ VE RETROGRAD DOLGU

Ortograd kanal tedavisinin kist, dirençli enfeksiyon, alet kırığı veya anatomik varyasyonlar nedeniyle başarısız olduğu ve yeniden tedavi imkânının bulunmadığı inatçı periapikal lezyonlarda cerrahi müdahale (apikal rezeksiyon) gerekebilir. İşlem; kök ucunun yaklaşık 3 mm rezeke edilmesini, ultrasonik uçlarla retrograd bir kavite hazırlanmasını ve bu boşluğun sızdırmaz şekilde doldurulmasını kapsar. Geçmişte amalgam, çinko oksit öjenol, Super EBA ve IRM gibi materyallerin kullandığı bu işlemde, söz konusu materyallerin yüksek doku toksisitesi ve zayıf marjinal adaptasyonu başarı oranlarını sınırlandırmıştır (Amador-Cabezalı ve ark., 2022).

MTA ve Biodentine gibi hidrolik biyoseramiklerin retrograd dolgu materyali olarak kullanıma girmesi bu alandaki standartları kökten değiştirmiştir. Retrograd dolgu materyalinin periapikal cerrahi başarısına etkisini inceleyen bir sistematik derleme ve meta-analizde, periapikal cerrahinin genel olarak yaklaşık %84 oranında başarılı olduğu; büyütme ile uygulanan modern cerrahi tekniklerin %12,3 başarısızlık oranıyla, geleneksel tekniklere (%22,9 başarısızlık) kıyasla anlamlı derecede daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. MTA’nın SuperEBA ve kök tamir materyalleriyle istatistiksel olarak benzer, amalgam gibi geleneksel materyallerden ise üstün sonuçlar sağladığı bildirilmiştir (Amador-Cabezalı ve ark., 2022).

Karşılaştırmalı kanıtlar, asidik ve kanla kontamine cerrahi ortamlarda Biodentine’in bağlanma dayanımı açısından MTA’ya kıyasla hafıf bir avantaj sunabileceğini düşündürmekle birlikte, materyallerin marjinal örtücülük, mikrosızıntı koruması ve uzun dönem apikal tamir potansiyelleri büyük ölçüde eştir. Tüm sınırlılıklarına rağmen MTA, endodontik apikal cerrahinin referans materyali olarak konumunu korumaktadır (Kumara ve ark., 2025; Dong & Xu, 2023).

10. GENEL DEĞERLENDİRME VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Kalsiyum silikat, kalsiyum fosfat ve hidroksiapatit moleküllerinden türetilen biyoseramikler, 1990'lardaki ilk prototiplerinden günümüzdeki enjekte edilebilir premixed nano-teknolojik şırıngalarına kadar dikkate değer bir evrim geçirmiştir. Boşlukları pasif olarak tıkayan dental materyal anlayışı, biyoseramikler sayesinde; canlı dokuyu rejenere edebilen, büyüme faktörü salınımını tetikleyen, osteokondüktif ve yüksek alkali antibakteriyel etkiye sahip "aktif doku mühendisliği" vizyonuna dönüşmüştür (Dong & Xu, 2023; Kumara ve ark., 2025).

Bizmut oksidin neden olduğu renkleşme sorununun zirkonyum ve tantal ile çözülmesi; MTA'nın hantal karıştırma süreci ve yaklaşık iki saat 45 dakikayı bulan uzun sertleşme süresinin, kapsül içinde otomatik karıştırılan ve yalnızca yaklaşık 12 dakikada sertleşen Biodentine ile kullanıma hazır premixed BC Sealer gibi modern varyasyonlarla büyük ölçüde giderilmesi, bu yenilikçi ivmenin somut kanıtlarıdır (Dawood ve ark., 2017; Raghavendra ve ark., 2017). Yine de geliştirilmeye açık kısıtlılıklar bulunmaktadır: apikal bölgede biyomineralizasyonla kilitlenen sert patların yeniden tedavi sırasında tamamen çözölememesi klinik olarak halen zorlayıcıdır; bazı premixed biyoseramik patların çözünürlüğünün ISO 6876 sınır değerlerini aşması ve buna eşlik eden periapikal pat ekstrüzyonu ile uzun dönem örtücülük konusundaki belirsizlikler süregelen tartışma konularıdır; ayrıca materyallerin kompresif dayanımı amalgam ve kompozit rezinlere kıyasla daha düşük olduğundan, henüz tek başlarına oklüzal streslere dayanıklı kalıcı restorasyon materyali olarak kullanılamamaktadır (Kumara ve ark., 2025; Hamdy ve ark., 2024; Rodrigues ve ark., 2021).

Sonuç olarak, MTA'nın laboratuvarından klinik pratiğe attığı ilk adımla başlayan biyoseramik dönüşümü; günümüzde ortograd kök kanal tedavisi, tek kon tekniği, apikal tıkaç oluşturma, vital pulpa tedavileri, perforasyon onarımı ve apikal cerrahi alanlarında endodontinin temel yapı taşlarından biri hâline gelmiştir. Biyoseramiklerin minimal invaziv doku tamiri konseptindeki klinik başarısı, onları geçici bir trendin ötesinde kalıcı bir tedavi gerçekliği kılmakta; yürütülecek nanoteknolojik ve moleküler modifikasyon çalışmalarının ise bu materyallerin antimikrobiyal ömrünü uzatarak endodontide "biyomimetik tamir" çağını pekiştirmesi öngörülmektedir (Kumara ve ark., 2025; Dong & Xu, 2023).

11. KAYNAKÇA

- Alsayed Tolibah, Y., 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.
- Amador-Cabezalí, A., Pardal-Peláez, B., Quispe-López, N., Lobato-Carreño, M., Sanz-Sánchez, Á., & Montero, J. (2022). Influence of the retrograde filling material on the success of periapical surgery. Systematic review and meta-analysis by groups. *Coatings*, 12(8), 1140.
- American Association of Endodontists. (2024). *Retreatment of bioceramic sealer-obtured canals*. <https://www.aae.org/specialty/retreatment-of-bioceramic-sealer-obtured-canals/>
- Arul, B., Varghese, A., Mishra, A., Elango, S., Padmanaban, S., & Natanasabapathy, V. (2021). Retrievability of bioceramic-based sealers in comparison with epoxy resin-based sealer assessed using microcomputed tomography: A systematic review of laboratory-based studies. *Journal of Conservative Dentistry*, 24(5), 421–434.
- Belhaj Salah, K., Samet, D., Boukhris, H., Habbachi, R., Gnaba, I., & Ben Youssef, S. (2025). Clinical applications and perceptions of bioceramics in endodontics: A cross-sectional survey. *Biomaterial Investigations in Dentistry*, 12, 45127.
- Cardinali, F., Malvicini, G., Sauro, S., Cernera, M., Pontoriero, D. I. K., Grandini, S., & Gaeta, C. (2026). Five-year clinical outcomes of root canal treatment using a calcium silicate-based sealer in teeth with apical periodontitis: A retrospective cohort study. *Clinical Oral Investigations*, 30(5).
- Chybowski, E. A., Glickman, G. N., Patel, Y., Fleury, A., Solomon, E., & He, J. (2018). Clinical outcome of non-surgical root canal treatment using a single-cone technique with EndoSequence bioceramic sealer: A retrospective analysis. *Journal of Endodontics*, 44(6), 941–945.
- 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), e12195.
- Dong, X., & Xu, X. (2023). Bioceramics in endodontics: Updates and future perspectives. *Bioengineering*, 10(3), 354.

- Elmsmari, F., Elsayed, Y., Aboubakr, A., Kaafarani, M., Nour, O., & Pawar, A. M. (2025). Clinical and radiographic success of single-cone bioceramic obturation versus traditional techniques: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 15(6), 1422–1432.
- Hamdy, T. M., Galal, M. M., Ismail, A. G., & Saber, S. (2024). Physicochemical properties of AH Plus bioceramic sealer, Bio-C Sealer, and ADseal root canal sealer. *Head & Face Medicine*, 20(1), 2.
- Kumara, P. A. A. S. P., Cooper, P. R., Cathro, P., Gould, M., Dias, G., & Ratnayake, J. (2025). Bioceramics in endodontics: Limitations and future innovations—A review. *Dentistry Journal*, 13(4), 157.
- Laurent, P., Camps, J., & About, I. (2012). Biodentine™ induces TGF-β1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization. *International Endodontic Journal*, 45(5), 439–448.
- Mahmoud, O., Al-Afifi, N. A., Salihu Farook, M., Ibrahim, M. A., Al Shehadat, S., & Alsaegh, M. A. (2022). Morphological and chemical analysis of different types of calcium silicate-based cements. *International Journal of Dentistry*, 2022, 6480047.
- 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.
- Parirokh, M., & Torabinejad, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: A comprehensive literature review—Part I: Chemical, physical, and antibacterial properties. *Journal of Endodontics*, 36(1), 16–27.
- Pinto, K. P., da Silva, G. R., Ferreira, C. M. A., Sassone, L. M., & da Silva, E. J. N. L. (2024). Success rate of direct pulp capping on permanent teeth using bioactive materials: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 49(4), e34.
- Raghavendra, S. S., Jadhav, G. R., Gathani, K. M., & Kotadia, P. (2017). Bioceramics in endodontics – A review. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 51(3 Suppl 1), S128–S137.
- Rodrigues, M. N. M., Bruno, K. F., de Alencar, A. H. G., Silva, J. D. S., de Siqueira, P. C., Decurcio, D. A., & Estrela, C. (2021). Comparative analysis of bond strength to root

dentin and compression of bioceramic cements used in regenerative endodontic procedures. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46(4), e59.

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.

Souza, L. C., Neves, G. S. T., Kirkpatrick, T., Letra, A., & Silva, R. (2023). Physicochemical and biological properties of AH Plus Bioceramic. *Journal of Endodontics*, 49(1), 69–76.

Tewari, N., Devi, P., Sampath, S., Mathur, V. P., Tsilingaridis, G., Wikström, A., ... Rahul, M. (2025). Comparative effectiveness of regenerative endodontic treatment versus apexification for necrotic immature permanent teeth with or without apical periodontitis: An umbrella review. *Dental Traumatology*, 41(3), 263–282.

Torabinejad, M., Hong, C. U., McDonald, F., & Pitt Ford, T. R. (1995). Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of Endodontics*, 21(7), 349–353.

BÖLÜM 6

VİTAL PULPA TEDAVİSİNDE PARADİGMA DEĞİŞİMİ: MEKANO- DUYARLI VE ÇOK FONKSİYONLU HİDROJEL SİSTEMLERİ

*Eray CEYLANOĞLU¹, Dilek HANÇERLİOĞULLARI²
Ali ERDEMİR³*

¹ Kırıkkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, ORCID: 0000-0002-6170-8470

² Dr. Öğr. Üyesi Kırıkkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, ORCID: 0000-0002-0404-1200

³ Prof. Dr. Kırıkkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, ORCID: 0000-0003-1140-3887

GİRİŞ

Tedavi edilmeyen çürüklerde demineralizasyon ilerledikçe, bakteriyel bileşenler, dentin – pulpa kompleksine nüfuz ederek pulpal enfeksiyona sebep olabilir (Bjørndal et al., 2019). Enfeksiyon pulpa odasıyla sınırlı kalırsa vital pulpa tedavileri (VPT) uygulanabilir (Ahmed et al., 2023). Kalsiyum hidroksit, mineral trioksit agregat (MTA), Biodentine gibi çeşitli biyomateriyaller vital pulpa tedavilerinde kullanılmakta; avantajlarının yanı sıra renklendirme, uzun sürede sertleşme, kullanım zorluğu gibi dezavantajlar da barındırmaktadır (M. R. R. Islam et al., 2024; Öztürk et al., 2023). Bu ürünler hücre içi reaktif oksijen ürünlerinin seviyesini artırarak biyouyumluluğu olumsuz etkiler, yeterli yoğunluğa ulaşamaz ve progenitör hücre farklılaşması için gerekli biyolojik sinyalleri tetikleyemez (Bossù et al., 2021; R. Islam et al., 2023). Bu dezavantajlar doğrultusunda VPT’de dentin pulpa dokusunun rejenerasyonunu indükleyecek nanokompozit iskeleler, epigenetik modüle edici ajanlar ve enjekte edilebilir hidrojel gibi biyomateriyaller geliştirilmiştir (Atila & Kumaravel, 2023; Quigley et al., 2024).

HİDROJELLER

Hidrojel yerinde adaptasyon, şekillendirilebilirlik, hedeflenmiş ilaç dağıtımı ve terapotik molekülleri ve hücreleri homojen entegre etme yeteneği gibi özellikleriyle dikkat çekmektedir (Ghandforoushan et al., 2023). Düşük viskoziteye sahip akışkan hidrojel dışındaki düzensiz ve küçük boşluklara rahat uyum sağlayabilir ve bölgenin şekline uygun şekil alabilir (Hamidi et al., 2008). Biyouyumlulukları, biyolojik olarak parçalanabilirlikleri, antimikrobiyal aktiviteleri ve gözenekli iskeleti sayesinde VPT’de dentin – pulpa rejenerasyonunu sağlarlar (Medina-Fernandez & Celiz, 2019). Hyoluronik asit, kitosan, jelatin, aljinat ve kollajen gibi çeşitli polisakkarit ve proteinlerden üretilen hidrojel daha yüksek biyouyumluluk sergilerken; ayrıca *Streptococcus mutans*, *Lactobacillus casei* ve *Actinomyces naeslundii* gibi mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etki gösterir (Chen et al., 2024; Qiu et al., 2023; Xie

et al., 2024). Enjekte edilebilir hidrojelлер oksijen ve besin transferini iyileştirir, hћcreleri korur, sağkalımı artırır, hasarı azaltır ve hızlı hћcre ۆlћmћnћ ۆnler (Khurshid et al., 2022).

VPT’de gћncel yaklaşımlardan biri, enflamasyona duyarlı ve hedef odaklı 'akıllı' biyomateryallerin geliştirilmesidir. Bu kapsamda Liu ve arkadaşları, ortamdaki enfeksiyonun şiddetini gۆsteren MMP-9 enzimine yanıt vererek yapısındaki terapۆtіk ajanı (IDR-1002) kontrollћ bir şekilde salan yenilikçi bir hidrojel sistemi tasarlamışlardır. İlaç dozajını kendi kendine ayarlayabilen bu duyarlı ilaç taşıyıcı sistemlerin, pulpa iyileşmesini optimize etmede ve gelecekteki VPT prosedћrlerinin başarısını artırmada ۆnemli bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamışlardır (Liu et al., 2024).

Pulpitis vakalarında dental pulpanın canlılığını korumak amacıyla geleneksel materyallere alternatif olarak geliştirilen ısıya duyarlı ve enjekte edilebilir hidrojel sistemleri, doku mћhendislięinde dikkat çeken yeniliklerdendir. Yakın tarihli bir çalışmada, vћcut ısısıyla jel formuna geçerek kaviteye tam uyum sağlayan ve yapısındaki anti-enflamatuar ile antioksidan nanopartikћller sayesinde pulpadaki hћcresel stresi baskılayan yenilikçi bir taşıyıcı sistemin, VPT’de dentin rejenerasyonunu desteklemede oldukça umut verici olduğu bildirilmiştir (L. Zhang et al., 2025).

Gћncel VPT’yle ilgili araştırmalarda, pulpanın rejeneratif kapasitesini tetiklemek için kendi enerjisini ۆretebilen (self-powered) biyoaktif iskele sistemleri dikkat çekmektedir. Solanki ve ark. (2025), jelatin metakrilol (GelMA) hidrojeline baryum titanat entegre ederek ışıkla sertleşebilen, enjekte edilebilir piezoelektrik bir biyomateryal sentezlemişlerdir. Bu akıllı hidrojel, çiğnemeyi taklit eden mekanik yћklemeleri doğrudan biyoelektrik sinyallere dۆnۆřtћrerek hћcresel canlılığı desteklemektedir. Yapılan in vitro analizler, piezoelektrik hidrojin dentin oluşumundan sorumlu kilit genlerin (COL1A1, DSPP ve DMP1) ekspresyonunu Biodentine XP’ye kıyasla çok daha yћksek seviyelere çıkardığını ve herhangi bir hћcresel toksisite veya oksidatif stres yaratmadığını ortaya koymuştur. Fizyolojik kuvvetleri

doku onarımına dönüştüren bu tür mekano-duyarlı sistemler, VPT için gelecek vadeden yeni nesil alternatifler sunmaktadır (Solanki et al., 2025)

Pulpitis tedavisinde güncel doku mühendisliği yaklaşımları, minimal invaziv uygulanabilen ve pulpanın kendi kendini iyileştirme kapasitesini hücresel düzeyde destekleyen enjekte edilebilir iskele (scaffold) sistemlerine odaklanmaktadır. Li ve ark., biyouyumlu bir polimer olan GelMA hidrojelini bitkisel kökenli bir molekül olan Salvianolik asit B ile işlevsel hale getirerek yenilikçi bir ilaç taşıyıcı sistem tasarlamıştır. Geliştirilen bu biyomateryal, 'ikili etki' mekanizmasıyla çalışarak öncelikle pulpadaki aşırı enflamatuvar yanıtı baskılamakta; eş zamanlı olarak da dental pulpa kök hücrelerini uyarak reparatif dentinogenezi hızlandırmaktadır. Sistemin sıvı formda enjekte edilip kök kanalına üç boyutlu olarak tam uyum sağlaması ve içerdiği fitoterapötik (bitkisel) ajan sayesinde doku rejenerasyonunu güvenli bir şekilde optimize etmesi, bu tür fonksiyonelleştirilmiş hidrojellerin gelecekteki VPT’de klinik başarıyı artırmada büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Li et al., 2026).

Güncel doku mühendisliği yaklaşımları, polimerik iskelelerin mekanik ve biyoaktif zayıflıklarını inorganik partiküllerle aşmayı hedeflemektedir. Biyouyumlu bir hücre dışı matris analogu olan GelMA hidrojeline, stronsiyum (Sr) ile katkılanmış biyoaktif cam partikülleri entegre ederek yenilikçi bir kompozit iskele geliştirmiş, biyoaktif camın osteokondüktif özellikleri ile stronsiyum iyonlarının PI3K/Akt ve MAPK/ERK yolları üzerinden dental pulpa kök hücrelerinde yarattığı spesifik odontojenik uyarım birleştiğinde, malzemenin onarıcı dentinogenezi ve doku mineralizasyonunu tek başına kullanılan polimerik sistemlere kıyasla önemli ölçüde artırdığı saptanmıştır. İyon salınımlı bu tür modifiye hidrojeller, gelecekteki VPT protokollerinde klinik başarıyı artırmak için multi-terapötik bir platform sunmaktadır (Aminmansour et al., 2024). Yakın zamanlı bir çalışmada, baicalein yüklü metakrilatlanmış jelatin (GelMA) bazlı enjekte edilebilir bir hidrojel geliştirilmiş; bu materyalin hem pulpa

dokusundaki enflamasyonu baskıladığı hem de kök hücreleri yönlendirerek yeni dentin oluşumuna teşvik ettiği gösterilmiştir (Sahadi et al., 2026).

Biyouyumlu hidrojel iskeletleri, sadece fiziksel bir bariyer olmakla kalmayıp aktif terapötik ajanlar da taşıyabilmektedir. Karbon nokta nanozimleri yüklü hidrojellerin, iltihaplı pulpa dokusuna uygulandığında hem yapısal destek sağladığı, hem de serbest radikalleri nötralize ederek iyileşme sürecini hızlandırdığı rapor edilmiştir (Y. Zhang et al., 2024). Aktif moleküllerin hidrofobik yapılarından kaynaklanan dezavantajları aşmak için supramoleküler kimya stratejileri VPT'ne entegre edilmektedir. Deksametazonun β -siklodekstrin içerisine hapsedilmesiyle elde edilen kompleks hidrojeller, hem ilacın çözünürlük problemini çözmüş, hem de pulpa onarımı için uzun bir iyileşme ortamı sunmuştur (Tootla et al., 2025). Periodontal rejenerasyonda kendini ispatlamış büyüme faktörlerinin vital pulpa tedavilerine adaptasyonu güncel bir araştırma konusudur. İn vitro bir çalışmada, Emdogain'in yapısal bir destek sunan GelMA hidroجلي ile birleştirilmesinin, pulpa hücreleri üzerinde güçlü bir odontojenik ve anti inflamatuvar etki yarattığı bildirilmiştir (Gui & Lin, 2025).

SONUÇ

VPT'nde geleneksel materyallerin yerini, pulpanın doğal iyileşme mekanizmalarını hücresel ve moleküler düzeyde taklit eden "akıllı" hidrojel sistemleri almaktadır. İncelenen güncel çalışmalar; hidrojellerin yalnızca fiziksel bir örtücü ve üç boyutlu iskele olmakla kalmayıp, ortamdaki enzimlere, ısı değişimlerine veya mekanik kuvvetlere yanıt verebilen dinamik yapılar haline geldiğini açıkça göstermektedir. Doğal bitkisel ajanlar, nanozimler, biyoaktif inorganik partiküller ve büyüme faktörleri ile fonksiyonelleştirilen bu yeni nesil enjekte edilebilir sistemler; enfeksiyonu kontrol altına alma, oksidatif stresi baskılama ve dental pulpa kök hücrelerini hedeflenmiş bir şekilde dentinogeneze yönlendirme konusunda üstün özellikler sergilemektedir. Biyoaktif moleküllerin düşük çözünürlük veya hızlı bozunma gibi dezavantajlarını aşan kontrollü salınım stratejileriyle birleştiğinde, modifiye hidrojeller, minimal invaziv ve öngörülebilir başarı oranına sahip rejeneratif endodonti uygulamaları için gelecekteki klinik protokollerin temelini oluşturma potansiyeli taşımaktadır

KAYNAKLAR

- Ahmed, H. M. A., El-karim, I., Duncan, H. F., Krastl, G., & Galler, K. (2023). Implications of root, pulp chamber, and canal anatomy on pulpotomy and revitalization procedures. *Clinical Oral Investigations*, 27(11), 6357–6369. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05284-9>
- Aminmansour, S., Carvalho, A. B. G. de, Cardoso, L. M., Anselmi, C., Rahimnejad, M., Dal-Fabbro, R., Benavides, E., Campos, T. M. B., Borges, A. L. S., & Bottino, M. C. (2024). Strontium-Doped Bioglass-Laden Gelatin Methacryloyl Hydrogels for Vital Pulp Therapy. *Journal of Functional Biomaterials*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/jfb15040105>
- Atila, D., & Kumaravel, V. (2023). Advances in antimicrobial hydrogels for dental tissue engineering: Regenerative strategies for endodontics and periodontics. *Biomaterials Science*, 11(20), 6711–6747. <https://doi.org/10.1039/D3BM00719G>
- Bjørndal, L., Simon, S., Tomson, P. L., & Duncan, H. F. (2019). Management of deep caries and the exposed pulp. *International Endodontic Journal*, 52(7), 949–973. <https://doi.org/10.1111/iej.13128>
- Bossù, M., Mancini, P., Bruni, E., Uccelletti, D., Preziosi, A., Rulli, M., Relucenti, M., Donfrancesco, O., Iaculli, F., Giorgio, G. D., Matassa, R., Salucci, A., & Polimeni, A. (2021). Biocompatibility and Antibiofilm Properties of Calcium Silicate-Based Cements: An In Vitro Evaluation and Report of Two Clinical Cases. *Biology*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/biology10060470>
- Chen, W., Zhang, C., Peng, S., Lin, Y., & Ye, Z. (2024). Hydrogels in Dental Medicine. *Advanced Therapeutics*, 7(1), 2300128. <https://doi.org/10.1002/adtp.202300128>
- Ghandforoushan, P., Alehosseini, M., Golafshan, N., Castilho, M., Dolatshahi-Pirouz, A., Hanaee, J., Davaran, S., & Orive, G. (2023). Injectable hydrogels for cartilage and

- bone tissue regeneration: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 246, 125674. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125674>
- Gui, L., & Lin, J. (2025). In Vitro Study Of Emdogain Combined With Gelma For Vital Pulp Therapy. *International Dental Journal, Abstracts of the 2025 FDI World Dental Congress (Special Edition)*, 75, 105071. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2025.105071>
- Hamidi, M., Azadi, A., & Rafiei, P. (2008). Hydrogel nanoparticles in drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews, 2008 Editors' Collection*, 60(15), 1638–1649. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2008.08.002>
- Islam, M. R. R., Islam, R., Liu, Y., Toida, Y., Yoshida, Y., Sano, H., Ahmed, H. M. A., & Tomokiyo, A. (2024). Biological evaluation of novel phosphorylated pullulan-based calcium hydroxide formulations as direct pulp capping materials: An in vivo study on a rat model. *International Endodontic Journal*, 57(9), 1247–1263. <https://doi.org/10.1111/iej.14083>
- Islam, R., Islam, M. R. R., Tanaka, T., Alam, M. K., Ahmed, H. M. A., & Sano, H. (2023). Direct pulp capping procedures – Evidence and practice. *Japanese Dental Science Review*, 59, 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2023.02.002>
- Khurshid, Z., Alnaim, A. J. A., Alhashim, A. A. A., Imran, E., & Adanir, N. (2022). Future of Decellularized Dental Pulp Matrix in Regenerative Endodontics. *European Journal of Dentistry*, 16(4), 737–741. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1741012>
- Li, Z., Xu, D., & Huang, X. (2026). Salvianolic acid B functionalized injectable GelMA hydrogel for pulpitis in a vital pulp therapy: A dual anti-inflammatory property and enhanced reparative dentinogenesis activity material. *BMC Oral Health*. <https://doi.org/10.1186/s12903-026-07880-z>

- Liu, H., Yu, J., Hicaw, A., Hu, Z., Tay, F. R., & Shen, Y. (2024). Design and evaluation of an MMP-9-responsive hydrogel for vital pulp therapy. *Journal of Dentistry*, 146, 105020. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105020>
- Medina-Fernandez, I., & Celiz, A. D. (2019). Acellular biomaterial strategies for endodontic regeneration. *Biomaterials Science*, 7(2), 506–519. <https://doi.org/10.1039/c8bm01296b>
- Öztürk, Z., Bal, C., Güngörmüş, M., & Aksoy, M. (2023). Effects of a mineralization-promoting peptide on the physical and chemical properties of mineral trioxide aggregate. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 138, 105570. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105570>
- Qiu, Y., Tian, J., Kong, S., Feng, Y., Lu, Y., Su, L., Cai, Y., Li, M., Chang, J., Yang, C., & Wei, X. (2023). SrCuSi₄O₁₀/GelMA Composite Hydrogel-Mediated Vital Pulp Therapy: Integrating Antibacterial Property and Enhanced Pulp Regeneration Activity. *Advanced Healthcare Materials*, 12(24), 2300546. <https://doi.org/10.1002/adhm.202300546>
- Quigley, R. M., Kearney, M., Kennedy, O. D., & Duncan, H. F. (2024). Tissue engineering approaches for dental pulp regeneration: The development of novel bioactive materials using pharmacological epigenetic inhibitors. *Bioactive Materials*, 40, 182–211. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2024.06.012>
- Sahadi, B. O., Mendes Soares, I. P., Gifford, C., Anselmi, C., de Oliveira, P. H. C., Dal-Fabbro, R., Rahimnejad, M., Giannini, M., & Bottino, M. C. (2026). Immunomodulatory and pro-mineralizing effects of an injectable baicalein-loaded methacrylated gelatin hydrogel for vital pulp therapy. *Biomaterials Advances*, 183, 214768. <https://doi.org/10.1016/j.bioadv.2026.214768>

- Solanki, V., Montoya, C., Neelakantan, P., Yang, M., & Orrego, S. (2025). Injectable Piezoelectric Hydrogel for Vital Pulp Therapy. *Journal of Functional Biomaterials*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/jfb16120452>
- Tootla, S., de Souza Araújo, I. J., Daghrery, A., & Bottino, M. C. (2025). Dexamethasone/ β -cyclodextrin inclusion complex hydrogel for vital pulp therapy. *Odontology*. <https://doi.org/10.1007/s10266-025-01146-w>
- Xie, Z., Jiang, W., Liu, H., Chen, L., Xuan, C., Wang, Z., Shi, X., Lin, Z., & Gao, X. (2024). Antimicrobial Peptide- and Dentin Matrix-Functionalized Hydrogel for Vital Pulp Therapy via Synergistic Bacteriostasis, Immunomodulation, and Dentinogenesis. *Advanced Healthcare Materials*, 13(18), 2303709. <https://doi.org/10.1002/adhm.202303709>
- Zhang, L., Ning, X., Cui, J., Zhao, Y., Xie, F., Zhu, N., Wang, D., Qin, M., Lin, Z., & Wang, Y. (2025). Thermosensitive injectable in situ forming hydrogel incorporating anti-oxidative stress and anti-inflammatory nanoparticles for vital pulp therapy of pulpitis. *Materials Today Bio*, 31, 101482. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2025.101482>
- Zhang, Y., Huang, X., Luo, Y., Ma, X., Luo, L., Liang, L., Deng, T., Qiao, Y., Ye, F., & Liao, H. (2024). A carbon dot nanozyme hydrogel enhances pulp regeneration activity by regulating oxidative stress in dental pulpitis. *Journal of Nanobiotechnology*, 22(1), 537. <https://doi.org/10.1186/s12951-024-02810-z>

BÖLÜM 7

ENDODONTİK PATLARDA YENİ NESİL YAKLAŞIM: BİYOSERAMİK ESASLI PATLAR REZİN ESASLI PATLARIN YERİNİ ALABİLİR Mİ?

Ayşegül Ece CABİOĞLU¹, Melek AKMAN²

¹ Arş. Gör. Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, aysegulece.gumus@erbakan.edu.tr, ORCID iD: 0009-0003-6014-2895

² Prof. Dr. Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti ABD makmak@erbakan.edu.tr ORCID iD: 0000-0003-0433-7869

Kök kanal tedavisi, enfekte veya nekrotik pulpa dokusunun uzaklaştırılmasının ardından kök kanal sisteminin şekillendirilmesi, dezenfeksiyonu ve üç boyutlu olarak doldurulmasını amaçlayan biyolojik ve mekanik bir işlemdir. Kanal dolgusunun temelini çoğunlukla kor materyali olarak kullanılan guta perka oluştururken, kanal patları guta perka ile kanal duvarı arasında bağlantı sağlayarak dolgu materyalinin adaptasyonunu artırmakta ve sızdırmazlığın sağlanmasında kritik rol oynamaktadır (1,2). Kanal patları yalnızca ana kanal boşluğunu doldurmakla kalmayıp aynı zamanda lateral ve aksesuar kanalların, dentin tübüllerinin ve kompaksiyon sırasında guta perkalar arasında oluşabilecek düzensizliklerin doldurulmasına da katkıda bulunmaktadır (3). Bunun yanında obtürasyon işlemi sırasında lubrikasyon sağlayarak kanal dolgusunun uygulanmasını kolaylaştırdığı da bildirilmektedir (4). Bu özellikleri nedeniyle kanal patları, başarılı bir endodontik tedavinin vazgeçilmez bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Başarılı bir kanal patının sahip olması gereken özellikler uzun yıllardır araştırılmakta olup, ideal bir kanal patının düşük çözünürlük göstermesi ve boyutsal stabilitesini uzun süre koruması gerektiği vurgulanmaktadır (5). Kanal patının sertleşme sonrasında çözünmemesi ve aşırı genleşme veya büzülme göstermemesi, kök kanal dolgusunun uzun dönem başarısı açısından önem taşımaktadır. Boyutsal değişiklikler, zaman içerisinde boşluk oluşumuna ve mikrosızıntıya neden olarak yeniden enfeksiyon riskini artırabilmektedir (6). Bunun yanı sıra kanal patının, kanal duvarlarına ve lateral anatomik oluşumlara adapte olabilecek yeterli akışkanlığa sahip olması; ancak apikal foramenden taşacak ölçüde aşırı akış göstermemesi beklenmektedir (7). Önceki çalışmalar, uzun sertleşme süresine sahip bazı kanal patlarında çözünürlüğün arttığını bildirmiştir (8). Bu nedenle ideal bir kanal patının, klinik uygulamaya olanak sağlayacak yeterli çalışma süresini korurken makul bir sertleşme süresi göstermesi gerektiği ifade edilmektedir. Ayrıca kanal patının kendisinin ve zamanla bozunması sonucu açığa çıkan ürünlerin periapikal dokular üzerinde toksik etki oluşturmaması, biyouyumluluğunun yüksek olması ve farklı sıcaklık koşullarında fizikokimyasal stabilitesini sürdürebilmesi gerekmektedir (9,10).

Endodontik materyallerin gelişim süreci boyunca çinko oksit öjenol, kalsiyum hidroksit, cam iyonomer, silikon, rezin ve biyoseramik esaslı olmak üzere farklı içeriklere sahip çok sayıda kanal patı geliştirilmiştir (11). Ancak bugüne kadar tüm ideal özellikleri aynı anda karşılayabilen tek bir kanal patı geliştirilememiştir. Bu nedenle araştırmacılar ve üretici firmalar, fizikokimyasal özellikleri geliştirilmiş yeni materyaller üretmeye devam etmektedir.

Son yıllarda biyouyumluluk ve biyolojik aktivite kavramlarının ön plana çıkmasıyla birlikte biyoseramik esaslı kanal patlarına olan ilgi belirgin şekilde artmıştır (12). Özellikle kalsiyum silikat esaslı biyoseramik patların nem varlığında sertleşebilmesi, hidroksiapatit oluşumunu desteklemesi ve biyolojik iyileşmeye katkı sağlayabilmesi nedeniyle klinisyenler tarafından yaygın olarak tercih edilmeye başlandığı bildirilmektedir (13). Buna paralel olarak güncel literatürde biyoseramik kanal patlarının; uzun yıllardır birçok araştırmacı tarafından “altın standart” olarak kabul edilen epoksi rezin esaslı kanal patları ile çözünürlük, boyutsal stabilite, akışkanlık, sertleşme süresi ve biyouyumluluk gibi çeşitli fizikokimyasal özellikler açısından karşılaştırıldığı görülmektedir (14,15).

Bu bölümde, literatürde yaygın kabul gören rezin esaslı kanal patları ile biyoseramik esaslı kanal patlarının fizikokimyasal özellikleri güncel çalışmalar ışığında karşılaştırılmalı olarak değerlendirilecektir.

I. ÇÖZÜNÜRLÜK

Çözünürlük, kök kanal patlarının uzun dönem başarısını doğrudan etkileyen temel fizikokimyasal özelliklerden biridir. Kanal patının zaman içerisinde çözünmesi, kök kanal dolgusu ile dentin duvarı arasında boşluk oluşumuna neden olarak mikrosızıntıyı artırabilmekte ve böylece endodontik tedavinin prognozunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir (16,17). Kanal dolgusundaki sızdırmazlığın bozulması, mikroorganizmaların ve doku sıvılarının yeniden kanal sistemine girişine olanak sağlayarak tedavi edilen dişi sekonder enfeksiyona açık hâle getirebilmektedir. Ayrıca kanal patlarının çözünmesiyle ortaya çıkan bazı kimyasal bileşiklerin periapikal dokularda inflamatuvar reaksiyonları tetikleyebileceği bildirilmektedir (18,19). Bu nedenle ideal bir kanal patının, uzun süreli sızdırmazlığı koruyabilmek amacıyla düşük çözünürlük göstermesi beklenmektedir.

Bu doğrultuda uluslararası standartlar, kanal patlarının kabul edilebilir çözünürlük sınırlarını belirlemiştir. Uluslararası Standardizasyon Örgütü tarafından yayımlanan ISO 6876:2012 standardı ile ANSI/ADA 57 spesifikasyonu, kök kanal patlarının çözünürlük değerlerinin belirli limitler içerisinde kalmasını önermektedir (5,20).

Günümüzde epoksi rezin esaslı kanal patları, düşük çözünürlük oranları ve yüksek boyutsal stabiliteleri nedeniyle birçok araştırmacı tarafından “altın standart” materyaller arasında değerlendirilmektedir (9). Özellikle AH Plus gibi epoksi rezin esaslı kanal patlarının, ISO

6876:2012 ve ANSI/ADA standartlarına uygun şekilde düşük çözünürlük gösterdiği çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (12,21). Buna karşın son yıllarda yaygınlaşan biyoseramik esaslı kanal patlarının biyolojik avantajlarına rağmen çözünürlük davranışlarının hâlen tartışma konusu olduğu ve farklı çalışmaların değişken sonuçlar bildirdiği görülmektedir (15).

Biyoseramik esaslı kök kanal patları ise biyolojik özellikleri nedeniyle son yıllarda dikkat çekmektedir. Bu materyallerin kalsiyum iyonu salınımı yapabilmesi ve alkali pH oluşturabilmesi; antibakteriyel etkinlik, biyouyumluluk ve periapikal doku iyileşmesi açısından olumlu özellikler göstermelerine katkıda bulunmaktadır (19). Özellikle kalsiyum silikat esaslı patların biyolojik aktivite gösterebilmesi, sert doku oluşumunu desteklemesi ve hidroksiapatit benzeri yapılar oluşturabilmesi klinik açıdan önemli avantajlar arasında değerlendirilmektedir (13). Bununla birlikte biyoseramik esaslı kanal patlarında gözlenen iyon salınımının, özellikle erken dönemlerde daha yüksek çözünürlük değerleri ile ilişkili olabileceği bildirilmektedir (17). Bu durumun materyalin hidrasyon reaksiyonu ve çevre ortamla iyon alışverişi ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

Öte yandan bazı çalışmalar, biyoseramik esaslı kanal patlarının yüzeyinde zaman içerisinde apatit benzeri mineralize bir tabaka oluşabildiğini ve bu biyomineralizasyon sürecinin materyalin uzun dönem stabilitesine katkı sağlayabileceğini göstermiştir (23,24). Oluşan bu tabakanın dentin ile materyal arasında kimyasal bağlantıyı güçlendirebildiği ve mikrosızıntıyı azaltabileceği öne sürülmektedir. Bu nedenle biyoseramik esaslı kanal patlarında gözlenen çözünürlük davranışının yalnızca olumsuz bir özellik olarak değerlendirilmemesi, biyolojik aktivite ve biyomineralizasyon potansiyeli ile birlikte ele alınması gerektiği bildirilmektedir (25).

Kanal patlarının çözünürlüğünü değerlendiren güncel çalışmalar, epoksi rezin esaslı materyallerin biyoseramik esaslı kanal patlarına kıyasla genellikle daha düşük çözünürlük gösterdiğini ortaya koymaktadır. Silva ve arkadaşlarının 2021 yılında yayımladığı sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasında, çok sayıda in vitro araştırmanın değerlendirilmesi sonucunda AH Plus'ın; Bio-C Sealer, BioRoot RCS, MTA Fillapex, Sealer Plus ve TotalFill BC Sealer gibi biyoseramik esaslı kanal patlarına kıyasla daha düşük çözünürlük değerleri sergilediği bildirilmiştir (21). Araştırmacılar, epoksi rezin esaslı kanal patlarının düşük çözünürlük göstermesinin uzun dönem boyutsal stabilite ve sızdırmazlık açısından önemli bir avantaj oluşturduğunu vurgulamıştır.

Benzer şekilde Saghiri ve arkadaşlarının 2024 yılında gerçekleştirdiği çalışmada da AH Plus'ın test edilen materyaller arasında en düşük çözünürlük değerine sahip olduğu; bunu sırasıyla EndoSequence BC ve Bio-C Sealer materyallerinin izlediği bildirilmiştir (26). Çalışmada ayrıca hem statik hem de dinamik ortam koşullarının tüm kanal patlarında çözünürlüğü artırdığı, ancak bu etkinin biyoseramik esaslı materyallerde daha belirgin olduğu gösterilmiştir. Araştırmacılar bu durumun, biyoseramik materyallerin hidrasyon mekanizması ve iyon salınım özellikleri ile ilişkili olabileceğini ifade etmiştir.

Demirci ve arkadaşlarının 2023 yılında yayımladığı çalışmada AH Plus BC, TotalFill BC, AH Plus ve AH Plus Jet kanal patlarının çözünürlük özellikleri karşılaştırılmış ve materyaller arasında çözünürlük açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığı bildirilmiştir ($p>0,05$). Araştırmacılar, TotalFill BC grubunda sınırlı düzeyde çözünürlük gözlemlerken AH Plus, AH Plus Jet ve AH Plus BC gruplarında çözünmenin oldukça düşük seviyede olduğunu belirtmiştir. Bu bulgular, biyoseramik esaslı kanal patlarının daha yüksek çözünürlük gösterdiğini bildiren yaygın literatür görüşü ile tam olarak örtüşmemektedir. Çalışmalar arasındaki farklılıkların; kullanılan örnek hazırlama yöntemleri, bekletme ortamı, değerlendirme süresi, test standardı ve ölçüm tekniklerindeki değişikliklerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle kanal patlarının çözünürlük davranışının değerlendirilmesinde standartlaştırılmış metodolojilerin kullanılması büyük önem taşımaktadır.

Mert ve arkadaşlarının 2024 yılında yayımladığı çalışmada ise beş farklı biyoseramik esaslı kanal patı ile epoksi rezin esaslı AH Plus kanal patı; radyoopasite, çözünürlük, akıcılık ve boyutsal değişim açısından karşılaştırılmıştır. Çözünürlük değerlendirmesinde TotalFill BC Sealer'ın diğer materyallere kıyasla anlamlı derecede daha yüksek çözünürlük sergilediği; Dia-Root Bio Sealer, BioRoot RCS ve AH Plus kanal patlarının ise ISO standartlarında belirtilen %3 sınırının altında çözünürlük gösterdiği rapor edilmiştir.

II. SİTOTOKSİSİTE ve BİYOUYUMLULUK

Biyouyumluluk, vücut dokuları ile temas eden tüm dental materyaller açısından büyük önem taşımaktadır. Endodontik tedavilerde kullanılan kök kanal patları, özellikle apikal konstrüksiyonu aşarak periapikal dokulara taşıdığı ve zaman içerisinde degradasyona uğrayarak çeşitli artık ürünler açığa çıkardığında çevre dokular ile doğrudan temas edebilmektedir. Bu durum, periapikal dokularda sitotoksik reaksiyonların ve inflamatuvar yanıtların gelişmesine neden olabilmektedir (19). Literatürde kök kanal patı ekstrüzyonunun;

ağrı, ödem, gecikmiş iyileşme ve flare-up gibi postoperatif komplikasyonlarla ilişkili olabileceği bildirilmiştir (27). Bu nedenle biyouyumluluğu yüksek ve toksik etkisi düşük materyallerin tercih edilmesi, hem periapikal iyileşmenin desteklenmesi hem de post-endodontik komplikasyon riskinin azaltılması açısından önem taşımaktadır (13). İdeal bir kök kanal patının, çevre dokular üzerinde sitotoksik etki oluşturmaması ve periapikal dokularla biyolojik uyum gösterebilmesi gerektiği kabul edilmektedir (2).

Kök kanal patlarının biyolojik davranışı; içerdiği kimyasal bileşenlere, sertleşme reaksiyonlarına ve zaman içerisinde açığa çıkan yan ürünlere bağlı olarak değişebilmektedir. Genel olarak kanal patlarının çoğu, yeni karıştırıldıkları dönemde belirli düzeyde sitotoksikite gösterebilmekte; ancak sertleşme reaksiyonunun tamamlanmasıyla birlikte toksisitelerinin azaldığı bildirilmektedir (7). Özellikle formaldehit salınımı yapan veya çözünürlük oranı yüksek materyallerin daha belirgin toksik etki oluşturabileceği ifade edilmektedir (28).

Poggio ve arkadaşlarının 2017 yılında yayımladığı çalışmada sekiz farklı kök kanal patının sitotoksik etkileri insan gingival fibroblastları üzerinde 24, 48 ve 72 saatlik sürelerde değerlendirilmiştir (29). Araştırmacılar, BioRoot RCS ve TotalFill BC Sealer gruplarında tüm değerlendirme süreleri boyunca belirgin sitotoksik etki gözlenmediğini bildirmiştir. AH Plus grubunda ise ilk 24 saatte sitotoksikite saptanmazken, 48 saat sonunda orta düzeyde ve 72 saat sonunda şiddetli sitotoksik etki geliştiği belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca Pulp Canal Sealer, Sealapex ve N2 materyallerinin tüm zaman aralıklarında orta derecede sitotoksikite gösterdiği; EasySeal ve MTA Fillapex materyallerinin ise değerlendirme süresi boyunca belirgin veya sınırdan yüksek sitotoksik etki sergilediği rapor edilmiştir. Araştırmacılar, incelenen materyaller arasında yalnızca BioRoot RCS ve TotalFill BC Sealer'ın sitotoksik etki göstermediğini ifade etmişlerdir. Bu bulgular, biyoseramik esaslı kanal patlarının epoksi rezin esaslı ve geleneksel kanal patlarına kıyasla daha yüksek biyouyumluluk gösterebildiğini bildiren güncel literatür ile büyük ölçüde uyumludur (10,15).

III. AKICILIK ve EKSTRÜZYON

Kök kanal dolgusunun ideal sınırlar içerisinde, özellikle minör apikal konstrüksiyon seviyesinde sonlandırılması, başarılı endodontik tedavinin temel kriterlerinden biri olarak kabul edilmektedir (1). Kanal dolgu materyallerinin apikal forameni aşarak periapikal dokulara taşması, çevre dokularda inflamatuvar reaksiyonlara, yabancı cisim yanıtına ve gecikmiş iyileşmeye neden olabilmektedir (30,31). Özellikle ekstrüze olan kanal patlarının içerdiği

kimyasal bileşenlerin sitotoksik etkileri nedeniyle periapikal dokularda irritasyon oluşturabileceği ve postoperatif komplikasyon riskini artırabileceği bildirilmektedir (27). Bu nedenle obturasyon sırasında materyalin kontrolsüz biçimde apikal bölgeye taşmaması klinik açıdan önem taşımaktadır.

Güncel literatürde rezin esaslı ve biyoseramik esaslı kanal patlarının apikal ekstrüzyon eğilimlerini karşılaştıran çalışmalar bulunmakla birlikte, mevcut veriler iki materyal grubu arasında kesin bir üstünlük ortaya koymamaktadır (13). alışmalar arasındaki örnekleme yöntemleri, kullanılan obturasyon teknikleri, kanal anatomileri ve ekstrüzyon değerlendirme kriterlerindeki farklılıkların sonuçların standardizasyonunu güçleştirdiği dşnlmektedir (13,32). Bununla birlikte biyoseramik esaslı kanal patlarının yüksek akışkanlık göstermeleri ve hidrofilik özelliklere sahip olmaları nedeniyle klinisyenler arasında bu materyallerin apikal ekstrüzyona daha yatkın olabileceğine yönelik yaygın bir görüş bulunmaktadır (9). Özellikle premiks biyoseramik kanal patlarının düşük viskozite göstermesi, lateral ve aksesuar anatomik alanlara daha kolay yayılmalarına olanak sağlarken, kontrolsüz kullanım durumunda apikal taşma riskini de artırabilmektedir.

Bununla birlikte literatürde kanal patı seçiminin tek başına apikal ekstrüzyon miktarını belirleyen temel faktör olmadığı vurgulanmaktadır (33). Apikal ekstrüzyonun; operatör deneyimi, çalışma boyunun doğruluğu, apikal preparasyon çapı, kök kanal anatomisi ve kullanılan obturasyon tekniği gibi çok sayıda değişkenden etkilendiği bildirilmektedir (3,34). Bu nedenle apikal ekstrüzyon riskinin değerlendirilmesinde yalnızca materyalin fiziksel özelliklerinin değil, klinik uygulama parametrelerinin de dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir.

Fonseca ve arkadaşlarının 2019 yılında yayımladığı klinik çalışmada biyoseramik ve rezin esaslı kanal patları, apikal ekstrüzyon miktarı ve postoperatif ağrı açısından karşılaştırılmıştır (35). Araştırmacılar, biyoseramik esaslı kanal patı kullanılan grupta rezin esaslı kanal patına kıyasla daha fazla ekstrüzyon gözlendiğini bildirmiştir. Bununla birlikte çalışmada, kanal patının apikal bölgeye taşmasının postoperatif ağrı ile ilişkili olmadığı; her iki grupta da ortalama ağrı düzeyleri ve analjezik kullanım miktarlarının benzer olduğu rapor edilmiştir. Bu bulgu, biyoseramik kanal patlarının daha fazla ekstrüzyon gösterebilmesine rağmen biyoyumlu yapıları nedeniyle klinik semptomlar açısından her zaman olumsuz sonuç doğurmayabileceğini düşündürmektedir.

Kök kanal patlarının akışkanlık özelliği, materyalin kanal düzensizliklerine, lateral kanallara ve dentin tübüllerine adapte olabilmesi açısından önemli fizikokimyasal parametrelerden biridir. Yetersiz akıcılık gösteren kanal patlarının kanal sistemindeki düzensizlikleri tam olarak dolduramayabileceği, buna bağlı olarak boşluk oluşumu ve mikrosızıntı riskinin artabileceği bildirilmektedir (4). Uluslararası Standardizasyon Örgütü tarafından yayımlanan ISO 6876:2012 standardına göre bir kök kanal patının kabul edilebilir minimum akıcılık değerinin 20 mm olması gerektiği belirtilmiştir (5). Benzer şekilde ANSI/ADA spesifikasyonları da kanal patlarının belirli bir akış kapasitesine sahip olmasını önermektedir (20).

Biyoseramik esaslı kanal patlarının akıcılık özelliklerini inceleyen çalışmalarda farklı sonuçlar bildirilmiştir. Zhou ve arkadaşlarının çalışmasında EndoSequence BC Sealer'ın akıcılık değeri 23,1 mm olarak ölçülmüş ve materyalin ISO standartlarını karşıladığı bildirilmiştir (8). Buna karşın Lee ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada aynı materyalin akıcılık değeri 18,45 mm olarak bulunmuş ve bu değerin ISO ve ANSI/ADA standartlarında belirtilen minimum sınırların altında kaldığı rapor edilmiştir (36). Aynı çalışmada Endoseal MTA ve MTA Fillapex materyallerinin ise yeterli akıcılık gösterdiği belirtilmiştir. Literatürdeki bu farklı sonuçların; kullanılan test yöntemleri, ortam sıcaklığı, örnek hazırlama koşulları ve materyalin sertleşme sürecindeki değişkenliklerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Mert ve arkadaşlarının 2024 yılında yayımladığı çalışmada ise beş farklı biyoseramik esaslı kanal patı ile epoksi rezin esaslı AH Plus kanal patı; radyoopasite, çözünürlük, akıcılık ve boyutsal değişim açısından karşılaştırılmıştır (37). Araştırma sonuçlarına göre AH Plus'ın, test edilen tüm biyoseramik esaslı kanal patlarından istatistiksel olarak daha yüksek radyoopasite gösterdiği bildirilmiştir. Akıcılık açısından değerlendirildiğinde TotalFill BC Sealer ve MTA Fillapex'in diğer kanal patlarına göre daha yüksek akışkanlık sergilediği belirtilmiştir. Boyutsal değişim sonuçlarında ise MTA Fillapex'in %1'den daha az büzülme gösterdiği; Dia-Root Bio Sealer, GuttaFlow Bioseal, BioRoot RCS, TotalFill BC Sealer ve AH Plus kanal patlarının ise %0,1'den fazla ekspansiyon sergilediği bildirilmiştir (38).

Bu bulgular, biyoseramik esaslı kanal patlarının fizikokimyasal özelliklerinin materyalin formülasyonuna bağlı olarak önemli farklılıklar gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

IV. SERTLEŞME ZAMANI ve RADYOOPASİTE

Kök kanal tedavisinin başarısı esas olarak kök kanal sisteminin yeterli düzeyde şekillendirilmesi, dezenfeksiyonu ve üç boyutlu olarak doldurulmasına bağlıdır. Bu nedenle kanal dolgusunun radyografik görünümü, tek başına tedavi başarısını belirleyen bir kriter olarak değerlendirilmemeli; biyolojik ve mekanik tedavi prensiplerinin tamamlayıcı bir unsuru olarak ele alınmalıdır (1). Bununla birlikte kök kanal dolgu materyallerinin radyografik olarak ayırt edilebilir olması, hem tedavi sırasında hem de takip seanslarında klinisyene önemli bilgiler sağlamaktadır. Kanal dolgusunun uzunluğu, homojenliği, adaptasyonu ve olası boşlukların değerlendirilmesinde materyalin radyoopasitesi büyük önem taşımaktadır (2).

Kök kanal patlarının yeterli radyoopasite göstermesi, kanal dolgu materyalinin çevre anatomik yapılardan ve dentinden ayırt edilebilmesini mümkün kılmaktadır. Yetersiz radyoopasiteye sahip materyallerin radyografik değerlendirmeyi zorlaştırabileceği, özellikle taşkın dolgu, boşluk oluşumu veya yetersiz obturasyon gibi klinik durumların tespitini güçleştirebileceği bildirilmektedir (38). Bu nedenle ISO 6876:2012 standardı, kök kanal patlarının minimum radyoopasite değerlerine sahip olması gerektiğini belirtmektedir (5).

Tarihsel süreç içerisinde farklı içeriklere sahip kanal patlarının formülasyonlarına çeşitli radyoopak ajanlar eklenmiştir. Baryum sülfat, bizmut oksit, zirkonyum oksit, tantalum oksit ve kalsiyum tungstat gibi maddeler, kanal patlarının radyografik görünürlüğünü artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan radyoopak bileşenler arasında yer almaktadır (39,40). Günümüzde hem rezin esaslı hem de biyoseramik esaslı kanal patlarında farklı radyoopak ajanların kullanıldığı ve bu ajanların materyalin yalnızca radyografik görünürlüğünü değil, aynı zamanda biyouyumluluk, renk stabilitesi ve fizikokimyasal özelliklerini de etkileyebildiği bildirilmektedir (41). Bu nedenle modern kanal patlarının geliştirilmesinde, yeterli radyoopasite sağlanırken materyalin diğer fiziksel ve biyolojik özelliklerinin korunması hedeflenmektedir.

Souza ve arkadaşlarının 2023 yılında yayımladığı çalışmada AH Plus, AH Plus Bioceramic ve EndoSequence BC Sealer kanal patlarının çeşitli fizikokimyasal özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir (42). Araştırma sonuçlarına göre AH Plus Bioceramic kanal patının başlangıç sertleşme süresi, AH Plus ve EndoSequence BC Sealer'a kıyasla daha kısa bulunmuştur. Buna karşın son sertleşme süresi değerlendirildiğinde AH Plus'ın diğer materyallere göre daha kısa sürede tamamen sertleştiği bildirilmiştir. Araştırmacılar bu farklılığın, biyoseramik esaslı materyallerin nem bağımlı hidrasyon reaksiyonları ve içerik

farklılıkları ile ilişkili olabileceğini belirtmiştir. Çalışmada radyoopasite değerleri de karşılaştırılmış ve AH Plus Bioceramic kanal patının, EndoSequence BC Sealer'dan daha yüksek; AH Plus'tan ise daha düşük radyoopasite gösterdiği rapor edilmiştir. Bu bulgu, epoksi rezin esaslı kanal patlarının genellikle daha yüksek radyoopasite sergilediğini bildiren mevcut literatür ile uyum göstermektedir. Araştırmacılar ayrıca tüm materyallerin ISO 6876 standardında belirtilen minimum radyoopasite gerekliliklerini karşıladığını ifade etmiştir.

Demirci ve arkadaşlarının 2023 yılında yayımladığı çalışmada AH Plus BC, AH Plus, AH Plus Jet ve TotalFill BC kanal patlarının fizikokimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır (43). Çalışma sonuçlarına göre AH Plus BC'nin radyoopasite değerinin AH Plus ve AH Plus Jet ile benzer olduğu; buna karşın TotalFill BC'nin test edilen materyaller arasında en düşük radyoopasiteyi gösterdiği bildirilmiştir. Araştırmacılar, tüm materyallerin ISO standartlarında belirtilen minimum radyoopasite gerekliliklerini karşıladığını belirtmekle birlikte, biyoseramik esaslı kanal patları arasında dahi radyoopasite açısından belirgin farklılıklar bulunduğunu vurgulamıştır.

Benzer şekilde Candeiro ve arkadaşlarının 2012 yılında yayımladığı çalışmada EndoSequence BC Sealer'ın fizikokimyasal özellikleri değerlendirilmiş ve materyalin radyoopasitesinin AH Plus'a kıyasla anlamlı derecede daha düşük olduğu rapor edilmiştir (44). Araştırmacılar bu durumun, materyallerin içerdiği radyoopak ajanların türü ve konsantrasyonundaki farklılıklardan kaynaklanabileceğini ifade etmiştir. Bu bulgular, epoksi rezin esaslı kanal patlarının genel olarak biyoseramik esaslı kanal patlarına göre daha yüksek radyoopasite gösterdiğini bildiren literatür ile uyum göstermektedir.

Lee ve arkadaşlarının 2017 yılında yayımladığı çalışmada üç biyoseramik esaslı kanal patının (EndoSequence BC Sealer, EndoSeal MTA ve MTA Fillapex) ve üç epoksi rezin esaslı kanal patının (AH Plus, AD Seal ve Radic-Sealer) fizikokimyasal özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir (36). Çalışmada materyallerin akışkanlık, sertleşme süresi, radyoopasite, boyutsal stabilite ve pH özellikleri incelenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre MTA Fillapex, test edilen materyaller arasında en yüksek akışkanlık değerini gösterirken; EndoSequence BC Sealer'ın diğer kanal patlarına kıyasla daha düşük akışkanlık sergilediği bildirilmiştir. Araştırmacılar, yüksek akışkanlığın kanal düzensizliklerine adaptasyonu artırabileceğini ancak aşırı akışkanlığın apikal ekstrüzyon riskini de beraberinde getirebileceğini vurgulamıştır. Sertleşme süresi açısından değerlendirildiğinde

EndoSequence BC Sealer ve MTA Fillapex örneklerinin, nemli inkübatörde bir ay bekletilmesine rağmen tam sertleşmesini tamamlamadığı gözlenmiştir. EndoSeal MTA'nın ölçülebilir materyaller arasında en uzun sertleşme süresine sahip olduğu; Radic-Sealer ve AD Seal'in ise AH Plus'a göre daha kısa sertleşme süreleri gösterdiği rapor edilmiştir.

Radyoopasite değerlendirmesinde ise MTA Fillapex'in diğer materyallere göre daha düşük radyoopasite gösterdiği; AH Plus ve EndoSeal MTA'nın ise istatistiksel olarak daha yüksek radyoopasite değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir. Çalışmanın genel sonucunda, hem biyoseramik esaslı hem de epoksi rezin esaslı kanal patlarının klinik açıdan kabul edilebilir fizikokimyasal özellikler gösterdiği ifade edilmiştir. Bununla birlikte araştırmacılar, özellikle EndoSequence BC Sealer ve MTA Fillapex materyallerinin tam sertleşmeyi gerçekleştirememesinin klinik kullanım açısından dikkatle değerlendirilmesi gereken bir durum olduğunu vurgulamıştır.

SONUÇ

Günümüzde biyoseramik esaslı kanal patları ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, trikalsiyum silikat içerikli kanal patlarının klinik başarısını uzun dönem insan çalışmalarıyla kesin olarak ortaya koyan yeterli kanıt henüz mevcut değildir. Literatürdeki mevcut verilerin büyük bölümü in vitro araştırmalara ve hayvan deneylerine dayanmaktadır (13). Bununla birlikte önceden karıştırılmış kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının; biyouyumluluk, biyolojik aktivite ve fizikokimyasal özellikler açısından konvansiyonel kanal patlarına benzer veya bazı durumlarda daha üstün sonuçlar gösterebildiği bildirilmiştir (13,9). Özellikle biyomineralizasyon potansiyeli, alkali pH oluşturabilmesi ve kalsiyum iyonu salınımı gibi özelliklerin, bu materyallerin klinik kullanımına olan ilgiyi artırdığı görülmektedir.

Öte yandan başarılı bir endodontik tedavinin yalnızca kullanılan kanal patına veya obtürasyon tekniğine bağlı olmadığı unutulmamalıdır. Kök kanal sisteminin etkili şekilde şekillendirilmesi, dezenfeksiyonu ve irrigasyonu tedavi başarısının temel belirleyicileri arasında yer almaktadır (3). Mevcut kanal dolgu materyalleri ve teknikleriyle kök kanal sisteminde tamamen kusursuz bir sızdırmazlık elde edilmesinin hâlen mümkün olmadığı, tüm materyallerin belirli düzeyde mikrosızıntı gösterebildiği bildirilmektedir (45). Bu nedenle kanal dolgusu tekniğinin seçimi; dişin anatomik yapısı, klinik koşullar, operatör deneyimi ve kullanılacak materyalin özellikleri birlikte değerlendirilerek yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Schilder, H. (1967). Filling root canals in three dimensions. *Dental Clinics of North America*, 11(2), 723–744.
- Ørstavik, D. (2005). Materials used for root canal obturation: Technical, biological and clinical testing. *Endodontic Topics*, 12(1), 25–38. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2005.00197.x>
- Peters, O. A. (2004). Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: A review. *Journal of Endodontics*, 30(8), 559–567. <https://doi.org/10.1097/01.DON.0000129039.59003.9D>
- Grossman, L. I. (1976). Physical properties of root canal cements. *Journal of Endodontics*, 2(6), 166–175. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(76\)80099-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(76)80099-6)
- International Organization for Standardization. (2012). *ISO 6876: Dental root canal sealing materials*. ISO.
- Carvalho, C. N., Grazziotin-Soares, R., de Miranda Candeiro, G. T., et al. (2017). Micro push-out bond strength and bioactivity analysis of a bioceramic root canal sealer. *Iranian Endodontic Journal*, 12(3), 343–348.
- Loushine, B. A., Bryan, T. E., Looney, S. W., et al. (2011). Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *Journal of Endodontics*, 37(5), 673–677. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.01.003>
- Zhou, H. M., Shen, Y., Zheng, W., et al. (2013). Physical properties of 5 root canal sealers. *Journal of Endodontics*, 39(10), 1281–1286. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.06.012>
- Donnermeyer, D., Bürklein, S., Dammaschke, T., & Schäfer, E. (2019). Endodontic sealers based on calcium silicates: A systematic review. *Odontology*, 107(4), 421–436. <https://doi.org/10.1007/s10266-018-0400-3>
- Silva, E. J. N. L., Cardoso, M. L., Rodrigues, J. P., et al. (2021). Physicochemical properties and biological behavior of endodontic sealers. *Brazilian Dental Journal*, 32(2), 8–22.
- Kumar, A., Shivanna, V., Naian, M. T., et al. (2022). Comparative evaluation of physicochemical properties of different root canal sealers. *Journal of Conservative Dentistry*, 25(1), 12–18.
- Prüllage, R. K., Urban, K., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2016). Material properties of a tricalcium silicate-containing, a mineral trioxide aggregate-containing, and an epoxy

- resin-based root canal sealer. *Journal of Endodontics*, 42(12), 1784–1788. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.014>
- Al-Haddad, A., & Che Ab Aziz, Z. A. (2016). Bioceramic-based root canal sealers: A review. *International Journal of Biomaterials*, 2016, 9753210. <https://doi.org/10.1155/2016/9753210>
- Silva Almeida, L. H., Moraes, R. R., Morgental, R. D., & Pappen, F. G. (2017). 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.11.019>
- Alsubait, S. A., Hashem, Q., AlHargan, N., et al. (2023). Comparative evaluation of physicochemical properties of epoxy resin-based and bioceramic-based root canal sealers. *Saudi Dental Journal*, 35(4), 287–294.
- Gomes-Filho, J. E., Watanabe, S., Bernabé, P. F., & de Moraes Costa, M. T. (2013). A mineral trioxide aggregate sealer stimulated mineralization. *Journal of Endodontics*, 39(2), 256–260. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.11.028>
- Cavenago, B. C., Pereira, T. C., Duarte, M. A. H., et al. (2014). Influence of powder-to-water ratio on radiopacity, setting time, pH, calcium ion release and a micro-CT volumetric solubility of white mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal*, 47(2), 120–126. <https://doi.org/10.1111/iej.12120>
- Gomes-Filho, J. E., Moreira, J. V., Watanabe, S., et al. (2013). Sealers with different formulations induce varying levels of inflammatory response. *International Endodontic Journal*, 46(3), 263–271. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02127.x>
- Jeanneau, C., Laurent, P., Rombouts, C., Giraud, T., & About, I. (2019). Bioactivity of bioceramic materials used in endodontics: Interactions with human cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5), 1056. <https://doi.org/10.3390/ijms20051056>
- American National Standards Institute/American Dental Association. (2000). *ANSI/ADA specification no. 57 for endodontic sealing materials*. ADA.
- Silva, E. J. N. L., Cardoso, M. L., Rodrigues, J. P., De-Deus, G., & Fidalgo, T. K. (2021). Solubility of bioceramic- and epoxy resin-based root canal sealers: A systematic review and meta-analysis. *Australian Endodontic Journal*, 47(3), 690–702. <https://doi.org/10.1111/aej.12503>

- Ørstavik, D., Nordahl, I., & Tibballs, J. E. (2001). Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dental Materials*, 17(6), 512–519. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(00)00133-2)
- Han, L., & Okiji, T. (2013). Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials. *International Endodontic Journal*, 46(9), 808–814. <https://doi.org/10.1111/iej.12062>
- Sarkar, N. K., 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. <https://doi.org/10.1097/01.DON.0000133155.04468.41>
- Prati, C., & Gandolfi, M. G. (2015). Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dental Materials*, 31(4), 351–370. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.01.004>
- Saghiri, M. A., et al. (2024). Comparative solubility of epoxy resin- and bioceramic-based root canal sealers under static and dynamic conditions. *Journal of Endodontics*, 50(4), 512–520.
- Siqueira, J. F., Jr. (2003). Microbial causes of endodontic flare-ups. *International Endodontic Journal*, 36(7), 453–463. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00671.x>
- Huang, T. H., Ding, S. J., & Kao, C. T. (2007). Biocompatibility of various formula root filling materials for primary teeth. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 80(2), 486–490. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30597>
- Poggio, C., Dagna, A., Ceci, M., Meravini, M. V., Colombo, M., & Pietrocola, G. (2017). Solubility and cytotoxicity of calcium silicate-based root canal sealers: A comparative study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 9(10), e1189–e1194. <https://doi.org/10.4317/jced.54034>
- Ricucci, D., & Siqueira, J. F., Jr. (2010). Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures. *Journal of Endodontics*, 36(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.038>
- Nair, P. N. R. (2004). Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 15(6), 348–381. <https://doi.org/10.1177/154411130401500604>

- Silva, E. J. N. L., Carvalho, N. K., Prado, M. C., et al. (2016). Push-out bond strength of injectable pozzolan-based root canal sealer. *Journal of Endodontics*, 42(11), 1656–1659. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.009>
- De-Deus, G., Brandão, M. C., Leal, F., et al. (2020). Lack of correlation between sealer extrusion and pain in root canal treatment. *Journal of Endodontics*, 46(10), 1471–1475. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.06.017>
- Küçükkaya Eren, S., Askerbeyli Örs, S., & Büyükgöze Dindar, M. (2021). Evaluation of apically extruded debris and sealer using different obturation techniques. *Australian Endodontic Journal*, 47(2), 286–293. <https://doi.org/10.1111/aej.12459>
- Fonseca, B., Coelho, M. S., Bueno, C. E. D. S., Fontana, C. E., & Martin, A. S. (2019). Assessment of extrusion and postoperative pain of a bioceramic and resin-based root canal sealer. *European Journal of Dentistry*, 13(3), 343–348. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1695775>
- 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, 2582849. <https://doi.org/10.1155/2017/2582849>
- Mert, T., et al. (2024). Comparative evaluation of physicochemical properties of bioceramic and epoxy resin-based root canal sealers. *Australian Endodontic Journal*, 50(1), 45–56.
- Tanomaru-Filho, M., da Silva, G. F., Duarte, M. A. H., Gonçalves, M., & Tanomaru, J. M. G. (2008). Radiopacity evaluation of root-end filling materials by digitization of images. *Journal of Applied Oral Science*, 16(6), 376–379. <https://doi.org/10.1590/S1678-77572008000600003>
- Camilleri, J. (2010). Evaluation of the radiopacity of calcium silicate cements containing different radiopacifiers. *International Endodontic Journal*, 43(1), 21–30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01643.x>
- Viapiana, R., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Hungaro-Duarte, M. A., Tanomaru-Filho, M., & Camilleri, J. (2014). Chemical characterization and bioactivity of epoxy resin and Portland cement-based sealers with niobium and zirconium oxide radiopacifiers. *Dental Materials*, 30(9), 1005–1020. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.05.015>
- Marciano, M. A., Costa, R. M., Camilleri, J., Mondelli, R. F. L., Guimarães, B. M., & Duarte, M. A. H. (2014). Assessment of color stability of white mineral trioxide

- aggregate angelus and bismuth oxide in contact with tooth structure. *Journal of Endodontics*, 40(8), 1235–1240. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.01.044>
- Souza, E. M., et al. (2023). Physicochemical properties of AH Plus Bioceramic, AH Plus, and EndoSequence BC Sealer. *Australian Endodontic Journal*, 49(3), 421–429.
- Demirci, M., et al. (2023). The solubility, pH value, chemical structure, radiopacity and cytotoxicity of four different root canal sealers: An in vitro study. *Australian Endodontic Journal*, 49(2), 214–221.
- Candeiro, G. T. M., Correia, F. C., Duarte, M. A. H., Ribeiro-Siqueira, D. C., & Gavini, G. (2012). Evaluation of radiopacity, pH, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *Journal of Endodontics*, 38(6), 842–845. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.02.029>
- Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (1993). Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *International Endodontic Journal*, 26(1), 37–43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1993.tb00540.x>

BÖLÜM 8

HORİZONTAL KÖK KIRIKLARINDA GÜNCEL KLİNİK YAKLAŞIM VE KONİK IŞINLI BİLGİSAYARLI TOMOĞRAFİNİN ROLÜ

Ceren TURAN GÖKDUMAN¹, Esra ARILI ÖZTÜRK²

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

² Uzm. Dt. -Özel Klinik-0000-0003-2137-4442

Travma kaynaklı dental yaralanmalar sıklıkla çocukları ve genç yetişkinleri etkilemekte olup ve tüm travma çeşitlerinin yaklaşık %5'ini oluşturduğu bildirilmiştir (Levin et al., 2020). Süt dişleri için en sık lüksasyon yaralanmaları görülürken daimi dişler için ise kuron kırıkları en sık görülmektedir (Levin et al., 2020). Dental travmanın erkeklerde kadınlara kıyasla daha yüksek oranlarda görüldüğünü bildiren çalışmalar, bu farkın erkeklerin temas sporlarına daha fazla katılım göstermesi ve koruyucu ekipman kullanımındaki cinsiyete bağlı farklılıklarla ilişkili olabileceğini öne sürmektedir (Jones, 2020). Travma sonrası, iyileşme ve uzun vadeli prognoz sağlamak için doğru tanı, uygun tedavi ve takip çok önemlidir (Levin et al., 2020).

Dental travmatik yaralanmalar genel olarak diş sert doku yaralanmaları, periodontal/lüksasyon yaralanmaları, destek kemik yaralanmaları ve yumuşak doku yaralanmaları şeklinde sınıflandırılır (Jones, 2020; Levin et al., 2020).

1. Diş sert doku ve pulpa yaralanmaları

- Mine çatlağı / infraction
- Komplike olmayan mine kırığı
- Komplike olmayan mine dentin kırığı
- Komplike kuron kırığı
- Komplike olmayan kuron kök kırığı
- Komplike kuron kök kırığı
- Horizontal kök kırığı
- Vertikal kök kırığı

2. Periodontal doku / lüksasyon yaralanmaları

- Konküzyon
- Sublüksasyon
- Ekstrüziv lüksasyon
- Lateral lüksasyon
- İntrüziv lüksasyon
- Avülsiyon

3. Destek kemik yaralanmaları

- Alveol soket duvarı kırığı
- Alveoler proses kırığı
- Maksilla kırıkları
- Mandibula kırıkları

4. Yumuşak doku yaralanmaları

- Laserasyon
- Kontüzyon
- Abrazyon
- Dudak, gingiva, yanak veya dil yaralanmaları
- Yumuşak doku içine gömülen diş/parça varlığı (Levin et al., 2020)

Dış kökü kırıkları vertikal veya horizontal olarak tanımlanır. Dışın pulpasına kadar uzanan vertikal kök kırıklarının prognozu oldukça kötüdür, ilave kemik kaybına yol açar ve tedavisi çekimdir ancak tedavi edilmeden bırakıldığında, oluşan ek kemik kaybı implant yerleştirilmesini güçleştirebilir (Jones, 2020). Kök kırıkları sadece sert diş dokularını değil, aynı zamanda pulpa, periodontal ligament, sement ve çevredeki destekleyici yapıları da içerdiği için klinik olarak önemli bir alt grubu temsil etmektedir (Bourguignon et al., 2020).

Horizontal kök kırıkları bu yaralanmalar arasında nispeten nadir olmasına rağmen prognozları kırığın seviyesinden, koronal fragman yer değiştirmesinin derecesinden, pulpa durumundan ve eşlik eden lüksasyon yaralanmalarının varlığından büyük ölçüde etkilendiği için dikkatli tanı ve uzun süreli izleme gerektirir (Jens Ove Andreasen, Ahrensburg, & Tsilingaridis, 2012; by: et al., 2021). Horizontal kök kırıkları dentin, sement ve pulpa boyunca uzanan ve kökün koronal ve apikal parçalara ayrılmasıyla sonuçlanan travmatik yaralanmalar olarak tanımlanır (Bourguignon et al., 2020; by: et al., 2021). Geleneksel olarak "horizontal" olarak tanımlanmasına rağmen, kırık hattı eğik olabilir veya bukkal-lingual yönde uzanabilir, bu da geleneksel iki boyutlu radyografilerde tespitini zorlaştırabilir (Jens O Andreasen, Andreasen, & Andersson, 2018). Bu nedenle, doğru bir tanı ve tedavi için uygun radyografik değerlendirme ile birlikte kapsamlı bir klinik muayene şarttır (Levin et al., 2020; Patel, Brown, Semper, Abella, & Mannocci, 2019).

Horizontal kök kırıkları değişken iyileşme potansiyelleri göstermeleri ile klinik açıdan önemlidir. Koronal parça yeniden konumlandırıldığında, uygun şekilde stabilize edildiğinde ve pulpa dikkatlice izlendiğinde horizontal kök kırıkları olumlu iyileşme gösterebilir (Jens O Andreasen et al., 2018; by: et al., 2021). İyileşme çeşitlerine göre horizontal kök kırıkları:

Kalsifiye doku ile iyileşme, bağ dokusu ile iyileşme, kemik ve bağ dokusu ile iyileşme ve granülasyon dokusu oluşumuyla ilişkili iyileşmeme olarak sınıflandırılmıştır (Jens Ove Andreasen et al., 2012; by: et al., 2021)ç. Bu iyileşme sonuçları, kırığın lokalizasyonu ile pulpa ve periodontal dokuların biyolojik yanıtına bağlı olmakla birlikte, uygulanan tedavinin uygunluğu ve takip süreciyle de yakından ilişkilidir (Jens Ove Andreasen et al., 2012).

Kök kırığı olan dişlerin prognozu, kırığın yeriyle yakından ilişkilidir. Apikal üçte birlik kısımda yer alan kırıklar genellikle en olumlu prognoza sahipken, servikal üçte birlik kısımdaki kırıklar, artan hareketlilik, diş eti oluşuna yakınlık ve bakteriyel kontaminasyon riskinin daha yüksek olması nedeniyle önemli ölçüde daha kötü bir sonuç göstermektedir ancak apikal üçte birlik yer alan kırıkların tedavisi daha zordur. Kırık parçası apikale yaklaştıkça prognoz olumlu etkilenirken tedavi edilebilirlik olumsuz etkilenmektedir (Jens Ove Andreasen et al., 2012; Jens O Andreasen et al., 2018). Andreasen ve ark., kök kırığı olan dişlerin 10 yıllık sağ kalım oranının apikal kök kırıkları için %89, orta kök kırıkları için %78, servikal-orta kök kırıkları için %67 ve servikal kök kırıkları için sadece %33 olduğunu bildirmiştir (Jens Ove Andreasen et al., 2012). Bu nedenle, kırığın tam seviyesini ve yönünü belirlemek, tedavi planlaması ve prognoz değerlendirmesinde önemli bir adımdır. Ancak kök kırıklarının yönetiminde yalnızca radyografik bulgular değil, klinik muayene, pulpa vitalite testleri, mobilite değerlendirmesi ve uzun dönem takip birlikte ele alınmalıdır (Yılmaz, Sungur, & Keleş, 2024) (J. Andreasen, Andreasen, Mejare, & Cvek, 2004a).

Horizontal kök kırığı olan dişlerde koronal parça hareketli olabilir veya travmanın şiddetine bağlı olarak yer değiştirmiş halde izlenebilir. Koronal segmentin hareketlenmesi kırık hattının servikal üçlüye yaklaştıkça artmaktadır. Bu dişler perküsyon hassasiyeti ve periodontal

ligament hasarına bağlı olarak hastada ağrı veya çiğneme sırasında rahatsızlık gelişebilir ayrıca dişeti olduğundan kanama görülebilir (Bourguignon et al., 2020).

Travma sonrası yapılan pulpa duyarlılık testleri başlangıçta negatif sonuç verebilir ancak bu durum her zaman pulpa nekrozu anlamına gelmez (by: et al., 2021). Travmaya bağlı geçici sinir hasarı olabileceği için erken dönemde yalnızca negatif pulpa testi sonucuna dayanarak endodontik tedaviye başlanmamalı, pulpa durumu sık kontrollerle izlenmelidir (Bourguignon et al., 2020; by: et al., 2021).

Horizontal kök kırıklarının değerlendirilmesinde konvansiyonel radyografiler başlangıç görüntüleme yöntemi olarak kullanılır. Bununla birlikte, kırık hattının radyografide izlenebilmesi ışın yönü ile kırık düzlemi arasındaki ilişkiye bağlı olduğundan, tek bir periapikal radyografi çoğu zaman tanı için yeterli olmayabilir. Bu nedenle farklı horizontal ve/veya vertikal açılarla alınan ek periapikal radyografiler tanısal doğruluğu artırır. Özellikle anterior bölgede, oklüzal radyografiler de kırık hattının lokalizasyonunu ve fragmanların ilişkisini değerlendirmede yardımcı olabilir (Bourguignon et al., 2020). Kırık hattı, radyografik ışının kırık düzlemine paralel olduğu durumlarda daha net izlenir. Ancak kırık hattının oblik ya da bukkal-lingual yönde uzandığı olgularda iki boyutlu radyografiler yetersiz kalabilir. Klinik bulgular kök kırığını düşündürmesine rağmen periapikal ve oklüzal radyografilerle yeterli bilgi elde edilemediğinde, kırığın yerini, kapsamını ve yönünü belirlemek amacıyla konik ışınli bilgisayarlı tomografi kullanımı düşünülebilir (of Endodontists & of Oral, 2011).

İntraoral radyografiler diş hekimliğin yaygın olarak kullanılan temel görüntüleme yöntemleri olmakla birlikte, üç boyutlu anatomik yapıların iki boyutlu düzleme yansıtılması bazı tanısal sınırlılıklara neden olmaktadır. Anatomik yapıların süperpozisyonu, geometrik distorsiyon ve görüntüdeki anatomik karmaşıklık, özellikle kök kırıkları, rezorpsiyonlar ve kompleks anatomik yapılar gibi durumların değerlendirilmesini güçleştirebilir (Patel, Brady, Wilson, Brown, & Mannocci, 2013). Bu sınırlılıklar nedeniyle konik ışınli bilgisayarlı tomografi, endodontik tanı ve tedavi planlamasında önemli bir ileri görüntüleme yöntemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Konik ışınli bilgisayarlı tomografinin üç boyutlu görüntüleme sağlaması, yüksek kontrast çözünürlüğü sunması ve incelenen bölgenin aksiyal, sagittal ve koronal kesitlerde ayrıntılı olarak değerlendirilebilmesi, özellikle kök kırıkları ve dentoalveoler travmaların tanısında önemli avantajlar sağlamaktadır (Chogle et al., 2020).

Endodontik uygulamalarda genellikle sınırlı görüş alanına sahip küçük FOV protokolleri tercih edilir. Özellikle 5 cm²'den küçük FOV alanları, hedeflenen diş veya sınırlı dentoalveoler bölgenin ayrıntılı incelenmesine olanak tanıdığı için endodontik değerlendirmelerde avantajlıdır (Chogle et al., 2020).FOV alanı küçüldükçe hastanın maruz kaldığı radyasyon dozu azalmakta, buna ek olarak daha yüksek mekânsal çözünürlük elde edilebilmektedir. Bu nedenle küçük FOV kullanımı, hem görüntü kalitesinin artırılması hem de radyasyon güvenliği ilkelerine uyum açısından önem taşımaktadır (Pauwels et al., 2012).

Endodontik uygulamalarda konik ışınli bilgisayarlı tomografi; endodontik ve endodontik olmayan lezyonların ayırıcı tanısında, kök kanal anatomisi ile kompleks morfolojilerin değerlendirilmesinde, vertikal kök kırıklarının saptanmasında, taşkın kanal dolgu materyalleri ve kırık aletlerin lokalizasyonunda, kalsifiye kanalların ve perforasyonların incelenmesinde, üç boyutlu kılavuzlu endodontik girişimlerin planlanmasında, dentoalveoler travmaların değerlendirilmesinde ve internal ya da eksternal kök rezorpsiyonlarının tanısında kullanılabilmektedir (Hargreaves & Cohen, 2010).

Konik ışınli bilgisayarlı tomografi kullanımı ile kırığın kök üzerindeki seviyesi, koronal ve apikal parçaların üç boyutlu ilişkisi, hareketlenme yönü ve derecesi, kırık aralığının genişliğı, periodontal ligament değışiklikleri ve eşlik eden alveoler kemik yaralanmaları değerdendirilebilir (of Endodontists & of Oral, 2011; Saini et al., 2024; Sigurdsson et al., 2026).

Amerikan Endodonti derneğinin 2026 yılında yayımlanan travmatik dental yaralanmalar rehberinde, daimi diş kırıkları ve alveoler kırıklar için intraoral radyografilerin hem tanısal amaçla hem de takipte karşılaştırma yapılabilecek başlangıç kaydı oluşturmak için gerekli olduğı belirtilmiştir (Sigurdsson et al., 2026). Travma almış bölgedeki dişlerin farklı açılardan incelenebilmesi için üç paralel periapikal radyografi ve bir oklüzal açılı radyografi önerilmektedir (Sigurdsson et al., 2026). Bununla birlikte, horizontal kök kırıklarında konvansiyonel radyografiler kırık hattının lokalizasyonunu, yönünü ve uzanımını her zaman yeterli doğrulukla gösteremeyebilir. Özellikle bukkal-lingual yönde uzanan, oblik seyirli, minimal deplasmanlı veya servikal üçlüye yakın kırıklarda iki boyutlu görüntüleme anatomik süperpozisyon ve ışın-kırık düzlemi ilişkisine bağılı olarak yetersiz kalabilir (of Endodontists & of Oral, 2011). Bu nedenle AAE 2026 rehberinde, sınırlı görüş alanlı konik ışınli bilgisayarlı tomografinin dental travmaların saptanmasında daha yüksek duyarlılık gösterebildiğı; kırığın yeri ve kapsamının belirlenmesi ile ayırıcı tanısında yardımcı olduğı; dolayısıyla doğru tanı ve uygun tedavi kararlarına katkı sağlayabileceğı bildirilirken sınırlandırılmış FOV (field of view) konik ışınli bilgisayarlı tomografinin kullanılabileceğini bildirmiştir (Sigurdsson et al., 2026). Konik ışınli bilgisayarlı tomografinin her travma olgusunda rutin bir tarama yöntemi haline gelmesi olarak değil; ancak kök kırığı şüphesinde konvansiyonel görüntülemenin tanısal olarak sınırlı kaldığı veya üç boyutlu bilginin tedavi kararını değıştirebileceğı olgularda konik ışınli bilgisayarlı tomografiye başvurulabileceğı bildirilmiştir (of Endodontists & of Oral, 2011; Sigurdsson et al., 2026). Üç boyutlu görüntüleme ile prognoz daha iyi bir şekilde değerdendirilebilir; çünkü kök kırıklarında kırık hattı apikale yerleştikçe prognoz daha iyi, servikal bölgeye yaklaştıkça daha kötüdür (Jens Ove Andreasen et al., 2012).

Tedavi açısından Amerikan Endodonti derneğinin rehberi, kök kırıklarında eğer koronal parça soket dışına doğru yer değıştirmişse açıkta kalan kök yüzeyinin repozisyon öncesi serum fizyolojik ile yıkanmasını, koronal segmentin mümkün olan en kısa sürede yeniden konumlandırılmasını, repozisyonun radyografik olarak doğrulanmasını ve dişin 4 hafta süreyle fleksibl splint ile stabilize edilmesini önermektedir (Sigurdsson et al., 2026). Kırık hattı servikal bölgeye yakınsa daha uzun süreli stabilizasyonun, 4 aya kadar, faydalı olabileceğı belirtilmiştir (Sigurdsson et al., 2026). Servikal kırık hattının alveoler kretin üzerinde yer aldığı ve koronal fragmanın ileri derecede hareketli olduğı matur dişlerde ise koronal parçanın çıkarılmasının ardından,

- Kalan kök parçasına yönelik endodontik tedavi ve sonrasında post-kor restorasyonu veya
- Ortodontik ekstrüzyon
- Cerrahi ekstrüzyon
- Kuron boyu uzatma cerrahisi veya
- Çekim gibi tedaviler planlanabilir (Sigurdsson et al., 2026).

Horizontal kök kırıklarında endodontik tedavi gereksinimi yukarıdaki seçenekler ile tedavi edilmesine rağmen Lu ve Kahler tarafından bildirilen olgu raporu, bu klasik yaklaşıma ek olarak rejeneratif endodontik prosedürlerin de seçilmiş olgularda alternatif bir tedavi seçeneğı olabileceğini göstermektedir (Lu & Kahler, 2022). Travma sonrası maksiller santral kesici dişlerinde horizontal kök kırığı bulunan 17 yaşındaki bir hastanın 11 ve 21 numaralı dişleri

değerlendirilmiştir. Her iki diş de, semptomatik irreversibl pulpitis bulguları nedeniyle yalnızca koronal parçaya rejeneratif endodontik tedavi uygulanmış ve apikal parça ise tedavi edilmemiştir. Tedavi protokolünde koronal parçanın ekstirpe edilmesi, kalsiyum hidroksit medikasyonu, EDTA irrigasyonu, kanama indüklenmesi, kan pıhtısı üzerine kollajen matriks yerleştirilmesi ve biyoseramik materyal ile koronal bariyer oluşturulması basamakları uygulanmıştır. Kırk sekiz aylık takip sonunda her iki diş asemptomatik, stabil ve fonksiyonda kalmış; konik ışınli bilgisayarlı tomografi değerlendirmesinde kırık hattında iyileşme, apikal parçada pulpa kanal obliterasyonu ve mineralize doku oluşumu izlenmiştir.

Marjy ve Slutzky-Goldberg tarafından bildirilen vaka raporunda ise, horizontal kök kırığı bulunan immatür daimi dişte başarısız rejeneratif endodontik tedavinin tekrar rejeneratif prosedür ile başarılı olabileceğini göstermiştir (Marjy & Slutzky-Goldberg, 2024). Çalışmada 9 yaşındaki hastanın maksiller santral kesici dişinde horizontal kök kırığı, dens invaginatus, pulpa nekrozu, semptomatik apikal periodontitis ve inflamatuvar kök rezorpsiyonu saptanmıştır. İlk rejeneratif endodontik tedavide kanal kırık hattına kadar tedavi edilmiş sodyum hipoklorit irrigasyonu ve kalsiyum hidroksit medikasyonu uygulanmış, daha sonra kanama indüklenerek kollajen bariyer ve biyoseramik materyal ile koronal sızdırmazlık sağlanmıştır. Başlangıçta periapikal lezyonda iyileşme izlenmesine rağmen, üç aylık takipte kırık hattı bölgesinde lezyon oluşması nedeniyle tedavi tekrarlanmıştır. Tekrarlanan rejeneratif endodontik tedavide ek olarak ultrasonik irrigasyon ve kalsiyum hidroksit medikasyonu uygulanmış; bir yıllık takipte radyolüsent lezyonun tamamen iyileştiği, koronal ve apikal parçalar arasındaki boşluğun belirgin şekilde azaldığı, fragmanların kalsifiye doku ile birleştiği ve periodontal ligament sürekliliğinin korunduğu bildirilmiştir. Bu olgu, özellikle alternatif tedavi seçeneğinin çekim olduğu immatür ve ince dentin duvarlı horizontal kök kırıklarında, başarısız rejeneratif tedavinin tekrarlanmasının seçilmiş olgularda dişin korunmasına katkı sağlayabileceğini düşündürmektedir (Marjy & Slutzky-Goldberg, 2024). Bununla birlikte, bu bulguların bir kaç olgu raporu düzeyinde olduğu ve rejeneratif endodontik prosedürlerin horizontal kök kırıklarında rutin bir tedavi seçeneği olarak önerilebilmesi için daha geniş örneklemli ve uzun dönem takipli klinik çalışmalara ihtiyaç olduğu bildirilmiştir (Lu & Kahler, 2022; Marjy & Slutzky-Goldberg, 2024).

Roig ve ark. tarafından bildirilen olgu raporu, horizontal kök kırığı sonrası pulpa nekrozu gelişen olgularda endodontik tedavinin yalnızca koronal fragmanla sınırlandırılmasının uzun dönem başarılı sonuç verebileceğini göstermektedir (Roig, Espona, Mercadé, & Duran-Sindreu, 2011). 8 yaşındaki erkek hastada travma sonrası maksiller sol santral kesicide kökün orta üçlüsünde horizontal kök kırığı saptanmıştır. Başlangıçta dişte soğuk testine yanıt alınmamasına rağmen, travma sonrası erken negatif pulpa yanıtının pulpa nekrozunu kesin olarak göstermemesi nedeniyle endodontik tedavi ertelenmiş; diş repozisyone edilerek splintlenmiştir. Dört hafta sonra ağrı ve şişlik gelişmesi üzerine endodontik tedaviye karar verilmiş, horizontal kök kırıklı dişte tedavi yalnızca koronal fragmana uygulanmış ve apikal fragmanın pulpasına zarar vermemek için kanal preparasyonu kırık hattının koronalinde sınırlandırılmıştır. Koronal fragmanda apikal stop oluşturmanın güç olması nedeniyle MTA plug yerleştirilmiş, ardından kanalın koronal kısmı gutta-perka ile doldurulmuştur. On yıllık takip sonunda hastada ağrı veya klinik semptom bildirilmemiş, dişte normal mobilite izlenmiş ve radyografik olarak kırık hattında bağ dokusu interpozisyonu ile iyileşme saptanmıştır (Roig et al., 2011).

Pulpa yönetiminde ise Amerikan Endodonti derneğinin 2026 rehberi, koronal segment iyi repozisyone edilmişse pulpanın canlılığını sürdürebilme veya spontan revaskülarize olabilme olasılığı bulunduğunu; bu nedenle pulpa nekrozu ve enfeksiyona ait açık bulgular gelişmeden

endodontik tedaviye başlanmaması gerektiğini vurgulamaktadır (Sigurdsson et al., 2026). Geçici internal rezorpsiyonun kırık hattı bölgesinde iyileşme sürecinin bir parçası olarak görülebileceği ve tek başına endodontik tedavi endikasyonu oluşturmadığı da belirtilmiştir (Sigurdsson et al., 2026). Pulpa nekrozu ve enfeksiyon gelişirse endodontik tedavi genellikle yalnızca koronal fragmanla sınırlı tutulmalı, apikal fragman ise çoğu olguda tedavi edilmemelidir (by: et al., 2021; Sigurdsson et al., 2026). Takip süreci de tedavi kadar önemli olduğu için Amerikan Endodonti derneğinin takip tablosuna göre kök kırıklarında 4. haftada klinik ve radyografik kontrol yapılmalı, apikal ve orta üçlü kırıklarında splint bu kontrolde çıkarılmalıdır; servikale yakın kök kırıklarında ise 4. ayda klinik-radyografik değerlendirme ile splint çıkarılması planlanabilir (Sigurdsson et al., 2026). Sonrasında 6–8 hafta, 6 ay, 1 yıl ve en az 5 yıl boyunca yıllık klinik ve radyografik takip önerilmektedir (Sigurdsson et al., 2026). Takiplerde renk değişikliği veya pulpa duyarlılık testine yanıtızsızlık tek başına pulpa nekrozu tanısı için yeterli kabul edilmemelidir; ancak matur dişlerde travmadan sonraki 3. ayda pulpa testlerine yanıt alınmaması pulpa nekrozu açısından güçlü bir bulgu olarak değerlendirilir (Sigurdsson et al., 2026).

Özler ve Çehreli tarafından bildirilen olgu raporu, servikal horizontal kök kırıklarında uzun süreli stabilizasyonun seçilmiş olgularda konservatif bir tedavi alternatifi olabileceğini göstermiştir (Özler & Cehreli, 2022). Maksiller sağ santral kesicisinde alveoler kret seviyesinin hemen altında servikal horizontal kök kırığı bulunan 12 yaşındaki hastada koronal parçanın hafif palatinala yer değiştirdiği ve mobil olduğu gözlenmiştir. Acil tedavide koronal parça repozisyone edilmiş ve diş yarı rijit splint ile stabilize edilmiştir. Dört aylık takipte splint çıkarıldığında koronal fragmanda hafif mobilitenin devam etmesi üzerine diş, komşu santral kesiciye bonded lingual ortodontik retainer teli ile uzun süreli olarak stabilize edilmiştir. Yedi yıllık takip boyunca diş asemptomatik kalmış, fonksiyon ve estetik korunmuş, radyografilerde pulpa kanal obliterasyonu izlenmiş ve 7. yılda alınan CBCT görüntülerinde kırık hattının iyileştiği, dar fakat devamlı bir pulpa kanalı bulunduğu gösterilmiştir. Servikal horizontal kök kırıklarının genellikle zayıf prognozlu kabul edilmesine rağmen, koronal parçanın canlılığını ve fonksiyonunu koruduğu ve hastanın büyüme gelişiminin devam ettiği olgularda uzun süreli ortodontik retainer ile stabilizasyonun çekim veya daha invaziv multidisipliner tedavilere geçmeden önce minimal invaziv bir seçenek olarak değerlendirilebileceğini vurgulamıştır. Bununla birlikte bu yaklaşımın başarısı, iyi oral hijyenin sürdürülmesi, periodontal cep oluşumunun önlenmesi ve rezorpsiyon ya da endodontik enfeksiyon gelişimi açısından uzun dönem takip yapılmasına bağlıdır (Dhindsa et al., 2024; Özler & Cehreli, 2022).

Splintleme, horizontal kök kırıklarında standart tedavi yaklaşımının temel bileşenlerinden biridir ve amacı, yeniden yerleştirilmesi yapılmış koronal parçanın tekrar hareketlenmesini önlerken kırık dokuların biyolojik iyileşmesini bozmayacak düzeyde stabilizasyon sağlamaktır (Abbott, 2019; J. Andreasen, Andreasen, Mejare, & Cvek, 2004b). Bununla birlikte, Kowaltschuk ve ark. meta-analizinde, farklı splint tiplerinin iyileşme sonuçları üzerinde anlamlı bir üstünlük göstermediği bildirilmiştir (Kowaltschuk et al., 2025). Bu sonuç, tedavi başarısının yalnızca splint materyali veya splint tasarımıyla değil kırık tipinin fragman stabilitesi ve pulpal periodontal iyileşme potansiyeliyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Abbott, 2019). Fragman deplasmanının horizontal kök kırıklarında iyileşme üzerinde belirleyici faktörlerden biri olduğunu; deplasman azaldıkça ve repozisyon kalitesi arttıkça sert doku ile iyileşme olasılığının yükseldiğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Cvek, Mejare, & Andreasen, 2002; Zachrisson & Jacobsen, 1975). Ayrıca kök gelişim düzeyi, apikal foramen çapı, periodontal sağlık, fragman mobilitesi, pulpa duyarlılığı, kırık lokalizasyonu, parçalar arası mesafe, restorasyon varlığı gibi değişkenlerin de iyileşme etkileyebileceği

bildirilmiştir (Abbott, 2019; J. Andreasen et al., 2004b; Cvek et al., 2002; Kevci, Gerds, Lauridsen, & Andersson, 2023; Zachrisson & Jacobsen, 1975).

Sheikhnezami ve ark. retrospektif kohort çalışması, horizontal kök kırıklarının zamanında tanı, uygun müdahale ve yakın takip ile dişlerin prognozunun olumlu sonuçlanabileceğini ortaya koymuştur (Sheikhnezami, Shahmohammadi, Jafarzadeh, & Azarpazhooh, 2024). 103 hastaya ait 125 daimi diş çalışmaya dahil edilmiş ve en az 12 haftalık takip süresi bulunan alveolar kemik hattı altında bulunan horizontal kök kırıkları incelenmiştir. Çoğunlukla üst anterior dişleri içeren çalışmada 79 haftalık takip sonunda olumlu sonuç oranı %92, dişlerin sağkalım oranı ise %96 olarak bildirilmiştir. Başlangıçta yalnızca splintleme ve/veya yerine yerleştirme uygulanan dişlerde kırık hattında radyografik iyileşme oranı %62,2 bulunmuştur. Endodontik tedavi uygulanan dişlerde yaklaşım çoğunlukla koronal parçanın ekstirpe edilmesi, kalsiyum hidroksit medikasyonu ve Mineral Trioksit Agregat ile dolum şeklinde gerçekleştirilmiş ve başarı oranı %88,5 olarak rapor edilmiştir. İmmatür kök gelişiminin daha iyi acil tedavi sonuçları ve daha düşük endodontik tedavi gereksinimi ile ilişkili olduğu, tedavinin bir haftadan fazla gecikmesinin ise endodontik tedavi gereksinimini artırdığı gösterilmiştir. Horizontal kök kırıklarında tedavinin temel hedefinin dişi korumak olduğunu; erken repozisyon, uygun splintleme, pulpal durumun takip edilmesi ve yalnızca nekroz ya da enfeksiyon geliştiğinde çoğunlukla koronal parçanın tedavisi ile başarılı uzun dönem sonuçlar sağlayabileceğini desteklemektedir (Sheikhnezami et al., 2024).

Pedrosa ve ark. retrospektif çalışmasında, travma sonrası horizontal kök kırığı bulunan daimi dişlerde kısa dönem iyileşme paternleri, bu paternleri etkileyen klinik faktörler ve uzun dönem prognoz değerlendirilmiştir (Pedrosa, Santos, Coste, Colosimo, & Bastos, 2024). Çalışmaya 87 hastaya ait 104 horizontal kök kırıklı daimi diş dahil edilmiş; vakaların çoğunluğunu maksiller santral kesici dişler oluşturmuş ve kırık hattı en sık kökün orta üçlüsünde izlenmiştir. Kısa dönem değerlendirmede vakaların %61,4'ünde iyileşme izlenmiş olup iyileşme paternleri sert doku iyileşmesi, bağ dokusu interpozisyonu ve kemik bağ dokusu interpozisyonu olarak sınıflandırılmış, iyileşmeme ise granülasyon dokusu interpozisyonu ile tanımlanmıştır. Çalışmada koronal parçaya eşlik eden yaralanmaların kısa dönem prognoz üzerinde belirgin etkisi olduğu gösterilmiş; özellikle eşlik eden kuron kırıkları, lüksasyon yaralanmaları ve sublüksasyon varlığı iyileşmeme riskini artıran faktörler olarak bildirilmiştir. Uzun dönem değerlendirmede ise iyileşme oranı %75,9'a yükselmiş ve en sık izlenen iyileşme paterni kemik ve bağ dokusu interpozisyonu olmuştur. Bu bulgular, horizontal kök kırıklarının prognozunun olumlu olabileceğini ve bu dişlerde erken dönemde radikal tedaviler yerine konservatif yaklaşım, takip ve yalnızca nekroz ya da enfeksiyon geliştiğinde koronal parçaya yönelik endodontik tedavinin tercih edilmesi gerektiğini desteklemektedir (Pedrosa et al., 2024).

Horizontal kök kırıklarında güncel yaklaşım; doğru tanı için çok açılı intraoral radyografiler ve gerektiğinde sınırlı FOV konik ışınlı bilgisayarlı tomografi kullanımı, yer değiştirmiş fragmanın erken yerleştirilmesi, fleksibl splintleme, gereksiz erken endodontik tedaviden kaçınma ve uzun dönem klinik radyografik takip gerektirmektedir (by: et al., 2021; Sigurdsson et al., 2026).

SONUÇ

Horizontal kök kırıklarında başarılı sonuç elde edilebilmesi; doğru tanı, kırık hattının lokalizasyonunun belirlenmesi, yer değiştirmiş parçaya acil müdahale, uygun fleksibl splintleme ve uzun dönem takip ile ilişkilidir. Konvansiyonel radyografiler ilk basamak görüntüleme yöntemi olarak önemini korumakla birlikte, özellikle kırık hattının yönü, fragman ilişkisi, servikal bölgeye yakınlık veya eşlik eden dentoalveoler yaralanmaların değerlendirilmesinde sınırlı FOV konik ışınlı bilgisayarlı tomografi seçilmiş vakalarda önemli tanısal katkı sağlayabilir. Güncel yaklaşım, pulpa nekrozu veya enfeksiyon bulguları gelişmedikçe erken endodontik tedaviden kaçınmayı; gerektiğinde ise çoğunlukla yalnızca koronal parçaya yönelik biyolojik ve konservatif tedavi planlamasını desteklemektedir.

KAYNAKÇA

- Abbott, P. V. (2019). Diagnosis and management of transverse root fractures. *Journal of Endodontics*, 45(12), S13–S27.
- Andreasen, J., Andreasen, F., Mejare, I., & Cvek, M. (2004a). Healing of 400 intra-alveolar root fractures. 1. Effect of pre-injury and injury factors such as sex, age, stage of root development, fracture type, location of fracture and severity of dislocation. *Dental Traumatology*, 20(4), 192–202.
- Andreasen, J., Andreasen, F., Mejare, I., & Cvek, M. (2004b). Healing of 400 intra-alveolar root fractures. 2. Effect of treatment factors such as treatment delay, repositioning, splinting type and period and antibiotics. *Dental Traumatology*, 20(4), 203–211.
- Andreasen, J. O., Ahrensburg, S. S., & Tsilingaridis, G. (2012). Root fractures: the influence of type of healing and location of fracture on tooth survival rates—an analysis of 492 cases. *Dental Traumatology*, 28(5), 404–409.
- Andreasen, J. O., Andreasen, F. M., & Andersson, L. (2018). *Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth*: John Wiley & Sons.
- Bourguignon, C., Cohenca, N., Lauridsen, E., Flores, M. T., O'Connell, A. C., Day, P. F., . . . Hicks, L. (2020). International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 1. Fractures and luxations. *Dental Traumatology*, 36(4), 314–330.
- by:, E. S. o. E. d., Krastl, G., Weiger, R., Filippi, A., Van Waes, H., Ebeleseder, K., . . . Tjäderhane, L. (2021). European Society of Endodontology position statement: endodontic management of traumatized permanent teeth. *International Endodontic Journal*, 54(9), 1473–1481.
- Chogle, S., Zuaitar, M., Sarkis, R., Saadoun, M., Mecham, A., & Zhao, Y. (2020). The recommendation of cone-beam computed tomography and its effect on endodontic diagnosis and treatment planning. *Journal of endodontics*, 46(2), 162–168.
- Cvek, M., Mejare, I., & Andreasen, J. O. (2002). Healing and prognosis of teeth with intra-alveolar fractures involving the cervical part of the root. *Dental Traumatology*, 18(2), 57–65.
- Dhindsa, A., Garg, S., Poddar, P., Singla, S., Saraf, B. G., & Shetty, J. A. (2024). Management of root fractures in young immature permanent teeth: Three case reports. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 17(3), 352.
- Hargreaves, K. M., & Cohen, S. (2010). *Cohen's pathways of the pulp*: Elsevier.
- Jones, L. C. (2020). Dental trauma. *Oral and maxillofacial surgery clinics of North America*, 32(4), 631–638.
- Kevci, M., Gerds, T. A., Lauridsen, E., & Andersson, L. (2023). The risk of healing complications in primary teeth with root fractures: A retrospective cohort study. *Dental Traumatology*, 39(5), 455–461.
- Kowaltschuk, T. C., Gonçalves, F. M., de Araujo, B. M. d. M., da Silva Cruz, N. T., Schroder, A. G. D., Antoniazzi, B. B., . . . Guariza-Filho, O. (2025). Splinting in horizontal root fractures: A Bayesian network meta-analysis. *PLoS One*, 20(6), e0326979.
- Levin, L., Day, P. F., Hicks, L., O'Connell, A., Fouad, A. F., Bourguignon, C., & Abbott, P. V. (2020). International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: General introduction. *Dental Traumatology*, 36(4), 309–313.
- Lu, J., & Kahler, B. (2022). Regenerative endodontic procedures for two traumatized mature anterior teeth with transverse root fractures. *BMC Oral Health*, 22(1), 124.

- Marjy, Z., & Slutzky-Goldberg, I. (2024). Retreatment of a failed regenerative endodontic treatment in an immature tooth with a horizontal root fracture: A case report. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 17(10), 1168.
- of Endodontists, A. A., & of Oral, A. A. (2011). AAE and AAOMR joint position statement. Use of cone-beam-computed tomography in endodontics. *Pennsylvania dental journal*, 78(1), 37–39.
- Özler, C. Ö., & Cehreli, Z. C. (2022). Conservative management of a cervical horizontal root fracture by long-term stabilisation: A case report. *Australian Endodontic Journal*, 48(2), 338–341.
- Patel, S., Brady, E., Wilson, R., Brown, J., & Mannocci, F. (2013). The detection of vertical root fractures in root filled teeth with periapical radiographs and CBCT scans. *International Endodontic Journal*, 46(12), 1140–1152.
- Patel, S., Brown, J., Semper, M., Abella, F., & Mannocci, F. (2019). European Society of Endodontology position statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics: European Society of Endodontology (ESE) developed by. *International Endodontic Journal*, 52(12), 1675–1678.
- Pedrosa, N. d. O. M., Santos, R. A., Coste, S. C., Colosimo, E. A., & Bastos, J. V. (2024). Healing and long-term prognosis of root-fractured permanent teeth: a retrospective longitudinal study. *Clinical Oral Investigations*, 28(4), 209.
- Roig, M., Espona, J., Mercadé, M., & Duran-Sindreu, F. (2011). Horizontal root fracture treated with MTA, a case report with a 10-year follow-up. *Dental Traumatology*, 27(6), 460–463.
- Saini, A., Sharma, S., Kumar, V., Chawla, A., Gupta, S., Kahler, B., & Logani, A. (2024). Cone-beam computed tomography-based descriptive classification for transverse root fracture. *Australian Endodontic Journal*, 50(3), 718–728.
- Sheikhnezami, M., Shahmohammadi, R., Jafarzadeh, H., & Azarpazhooh, A. (2024). Long-term outcome of horizontal root fractures in permanent teeth: a retrospective cohort study. *Journal of Endodontics*, 50(5), 579–589.
- Sigurdsson, A., Blicher, B., Miller, A. J., Singh, V., Teixeira, F. B., Williamson, A. E., & Bourguignon, C. (2026). Recommended Guidelines of the American Association of Endodontists for the Treatment of Traumatic Dental Injuries. *Journal of Endodontics*.
- Yılmaz, G. A., Sungur, D. D., & Keleş, A. (2024). Immediate and late treatment of horizontal root fractures. *International Dental Journal*, 74, S110.
- Zachrisson, B. U., & Jacobsen, I. (1975). Long-term prognosis of 66 permanent anterior teeth with root fracture. *European Journal of Oral Sciences*, 83(6), 345–354.

BÖLÜM 9

KRİYOTERAPİNİN FİZYOLOJİK TEMELLERİ VE ENDODONTİDE KULLANIMI

Mehmet Eren GÜNNER¹ , Öznur ERASLAN²

¹ Araştırma Görevlisi, Selçuk Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Konya, Türkiye. ORCID ID: 0009-0004-0792-5118.

² Dr. Öğr. Üyesi, Selçuk Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Konya, Türkiye.

1. Giriş

Kriyoterapi, terapötik amaçla düşük sıcaklık uygulanmasını ifade eden geniş kapsamlı bir yaklaşımdır (Allan vd., 2022; Nadler vd., 2004). Tarihsel olarak ağrı, kanama ve inflamasyon kontrolünde kullanılan soğuk uygulamaları; günümüzde lokal soğutmadan tam vücut kriyoterapiye, kriyocerrahi ve kriyoablasyona uzanan kontrollü yöntemleri kapsamaktadır (Cooper ve Dawber, 2001; Erinjeri ve Clark, 2010; Lombardi vd., 2017).

Soğuk uygulamasının başlıca etkileri vazokonstriksiyon, sinir iletiminin yavaşlaması, ağrı eşiğinin yükselmesi, metabolik aktivitenin azalması ve inflamatuvar süreçlerin modülasyonudur (Algaflly ve George, 2007; Garcia vd., 2021; Nadler vd., 2004; Puntel vd., 2013). Bu nedenle kriyoterapi, ağrı ve inflamasyon yönetiminde farmakolojik olmayan bir destek yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir (Garcia vd., 2021; Nadler vd., 2004).

Diş hekimliğinde kriyoterapi; oral cerrahi sonrası ağrı ve şişlik kontrolünde, oral yumuşak doku lezyonlarının tedavisinde ve intraoral enjeksiyon ağrısının azaltılmasında kullanılmaktadır (Farah ve Savage, 2006; Lakshmanan ve Ravindran, 2021; Larsen vd., 2019). Endodontide ise intrakanal kriyoterapi postoperatif ağrı kontrolü amacıyla araştırılmıştır (Gundogdu ve Arslan, 2018; Sadaf vd., 2020). Son yıllarda kriyoterapi, vital pulpa tedavilerinde ve semptomatik geri dönüşümsüz pulpitisli dişlerde destek lokal anestezi yaklaşımı olarak da ele alınmaktadır (Akhil vd., 2024; Alenezi vd., 2025; Topcuoglu vd., 2019).

Bu bölümde kriyoterapinin tanımı, fizyolojik temelleri ve temel klinik kullanım alanları özetlenmekte; özellikle endodontik uygulamaların biyolojik ve klinik rasyoneli ele alınmaktadır.

2. Tanım, Tarihsel Çerçeve ve Uygulama Yöntemleri

Kriyoterapi, dokularda istenen fizyolojik veya terapötik yanıtı oluşturmak amacıyla kontrollü soğuk uygulanmasıdır (Nadler vd., 2004). Doku canlılığını koruyarak ağrı ve inflamasyonu azaltmayı hedefleyen lokal soğutma, hedef dokunun dondurularak ortadan kaldırıldığı kriyocerrahi ve kriyoablasyondan ayrılmalıdır (Cooper ve Dawber, 2001; Erinjeri ve Clark, 2010).

Soğüğün terapötik kullanımı eski dönemlere uzanmaktadır (Allan vd., 2022; Wang vd., 2006). Sıvı nitrojen, kriyoprob ve görüntüleme eşliğinde ablasyon tekniklerinin gelişmesiyle uygulamalar daha kontrollü ve hedefe yönelik hâle gelmiştir (Cooper ve Dawber, 2001; Erinjeri ve Clark, 2010).

Kriyoterapi uygulamaları lokal soğutma, tam vücut kriyoterapi ve kontrollü doku yıkımına yönelik yöntemler olarak sınıflandırılabilir (Lombardi vd., 2017; Nadler vd., 2004; Theodorescu, 2004). Buz, soğuk paket, sprey ve soğutulmuş irrigasyon solüsyonları lokal uygulamalara örnektir; kriyocerrahi ve kriyoablasyonda ise seçilmiş hedef dokuda hücresel yıkım amaçlanır (Erinjeri ve Clark, 2010; Nadler vd., 2004; Sadaf vd., 2020; Theodorescu, 2004).

3. Kriyoterapinin Fizyolojik Temelleri

Kriyoterapinin etkisi uygulanan sıcaklığa, temas süresine, doku kalınlığına, bölgesel kan akımına ve soğuk materyalin termal özelliklerine bağlıdır (Garcia vd., 2021; Nadler vd., 2004). Klinik sonuç, vasküler, nörolojik, metabolik ve inflamatuvar yanıtların birleşimiyle ortaya çıkar (Nadler vd., 2004; Puntel vd., 2013).

3.1. Vasküler Etkiler

Lokal soğutmanın erken dönemdeki temel vasküler etkisi yüzeysel damar yatağında vazokonstriksiyondur (Garcia vd., 2021; Nadler vd., 2004). Bölgesel kan akımı ve mikrovasküler permeabilitedeki azalma, ödemin ve inflamatuvar hücre infiltrasyonunun sınırlandırılmasına katkı sağlayabilir (Garcia vd., 2021; Puntel vd., 2013). Endodontik açıdan bu mekanizma, pulpotomi gibi kanama kontrolünün klinik süreci etkilediği girişimlerde önem taşır (Akhil vd., 2024).

3.2. Nörolojik Etkiler

Kriyoterapinin ağrı kontrolündeki temel biyolojik etkilerinden biri sinir iletiminin yavaşlatılmasıdır. Lokal soğutma sinir iletim hızını azaltabilir, latansı uzatabilir ve ağrı eğiği ile ağrı toleransını artırabilir (Algaflly ve George, 2007). Klinik düzeyde bu değişiklikler uyuşma hissi ve ağrı algısında azalma ile ilişkilidir (Nadler vd., 2004).

Doku sıcaklığındaki düşüş, voltaj kapılı sodyum ve potasyum kanallarının kinetiğini yavaşlatarak aksiyon potansiyelinin oluşumu ve iletimini etkileyebilir (Sarria vd., 2012). Bu elektrofizyolojik değişiklikler, nosiseptif impulsların merkezi sinir sistemine iletimini azaltabilir (Sarria vd., 2012).

3.3. Metabolik ve İnflamatuvar Etkiler

Doku sıcaklığının azalması hücresel metabolizmayı, oksijen gereksinimini ve enzimatik reaksiyon hızını düşürebilir (Nadler vd., 2004). Soğutma ayrıca mikrovasküler permeabiliteyi ve inflamatuvar hücre infiltrasyonunu azaltabilir; lokal buz uygulaması sonrasında IL-1 β , IL-6, prostaglandin E2 ve NF- κ B p65 düzeylerinde azalma bildirilmiştir (Garcia vd., 2021; Guillot vd., 2019; Puntel vd., 2013).

4. Tıp Bilimlerinde Kullanım Alanları

Tıp bilimlerinde kriyoterapi; semptom kontrolü, sistemik kriyostimülasyon ve kontrollü doku yıkımı gibi farklı amaçlarla kullanılmaktadır (Lombardi vd., 2017; Nadler vd., 2004; Theodorescu, 2004). Spor hekimliği ve fizyoterapide lokal soğutma, akut yumuşak doku yaralanmaları ve egzersiz sonrası semptomların yönetiminde geleneksel bir destek yöntemidir (Bleakley vd., 2004; Racinais vd., 2024). Tendinopati ve eklem çevresi yakınmalarında kriyoterapinin kullanımı sürmekle birlikte, uygulama protokolleri ve klinik etkinliğe ilişkin kanıtlar homojen değildir (Racinais vd., 2024).

Romatolojide lokal veya tam vücut kriyoterapi, romatoid artrit, osteoartrit ve fibromiyalji gibi durumlarda ağrı ve fonksiyon yönetimini desteklemek amacıyla kullanılmıştır (Guillot vd., 2014). Bildirilen etkiler; sinir iletiminin yavaşlaması, inflamatuvar süreçlerin modülasyonu ve hasta konforundaki artışla ilişkilendirilmektedir (Guillot vd., 2014).

Dermatolojide kriyoterapi daha çok kriyocerrahi biçiminde uygulanır (Cooper ve Dawber, 2001). Siğillerde ve aktinik keratozlarda sıvı nitrojen gibi kriyojenlerle hedef dokuda kontrollü donma hasarı oluşturulur (Bruggink vd., 2010; Eisen vd., 2022).

Onkolojide kriyoablasyon; böbrek, karaciğer, akciğer, prostat, meme, kemik ve yumuşak doku tümörleri gibi seçilmiş solid tümörlerde minimal invaziv lokal kontrol yöntemi olarak kullanılmaktadır (Chen vd., 2023; Erinjeri ve Clark, 2010).

5. Diş Hekimliğinde Kriyoterapi

Diş hekimliğinde kriyoterapi en sık cerrahi sonrası semptom kontrolü ve yumuşak doku lezyonlarının tedavisi bağlamında gündeme gelir (Farah ve Savage, 2006; Larsen vd., 2019). Mandibular üçüncü molar cerrahisi sonrasında soğuk uygulama, erken postoperatif dönemde ağrı, şişlik ve trismusun azaltılmasına katkı sağlayabilir (Larsen vd., 2019; Laureano Filho vd., 2005).

Oral mukozal lezyonlarda kriyoterapi; mukosel, hemanjiyom, fibrom ve seçilmiş premalign lezyonlarda minimal invaziv bir seçenek olarak kullanılabilir (Farah ve Savage, 2006). Kanamanın sınırlı olması, işlem sonrası bakımın görece kolaylığı ve çoğu olguda kabul edilebilir iyileşme seyri yöntemin pratik avantajları arasında gösterilmektedir (Farah ve Savage, 2006).

Periodontolojide kriyocerrahi, fizyolojik gingival hiperpigmentasyon tedavisinde kullanılmıştır (Kumar vd., 2013; Talebi vd., 2012). Kontrollü dondurma yoluyla

melanositlerin etkilenmesi ve pigmentli epitelin uzaklaştırılması sonucunda estetik iyileşme hedeflenir (Kumar vd., 2013; Talebi vd., 2012).

Pedodontide enjeksiyon öncesi mukozal yüzeyin soğutulması veya soğutulmuş topikal anestezi kullanımı, intraoral enjeksiyon ağrısını azaltabilecek bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Lakshmanan ve Ravindran, 2021; Saeedi vd., 2025).

6. Endodontide Kriyoterapi

Endodontide kriyoterapi; postoperatif ağrı kontrolü, vital pulpa tedavileri, destek lokal anestezi uygulamaları ve endodontik enstrümanlara uygulanan derin kriyojenik işlem başlıkları altında değerlendirilebilir (Akhil vd., 2024; Alenezi vd., 2025; Sadaf vd., 2020; Vinothkumar vd., 2016). Bu uygulamalar aynı kavram altında toplansa da hedef dokuları ve beklenen sonuçları birbirinden farklıdır.

6.1. Kriyoterapinin Endodontik Etki Mekanizmaları

Endodontik kriyoterapinin biyolojik temeli, pulpal veya periradiküler dokularda sıcaklığın kontrollü biçimde düşürülmesiyle sinir iletimi, vasküler yanıt ve inflamatuvar aktivitenin geçici olarak modüle edilmesine dayanır (Algaflı ve George, 2007; Guillot vd., 2019; Nadler vd., 2004). Bu mekanizmalar, kriyoterapinin postoperatif ağrı kontrolünde, vital pulpa tedavilerinde ve destek lokal anestezi uygulamalarında araştırılmasının temelini oluşturur (Akhil vd., 2024; Alenezi vd., 2025; Sadaf vd., 2020).

Pulpal ağrı yanıtında A-delta ve C lifleri klinik açıdan önemlidir (Bender, 2000; Zhan vd., 2021). A-delta lifleri daha çok periferik pulpa ve dentin-pulpa sınırıyla ilişkilidir; dentin tübüllerindeki sıvı hareketiyle uyarıldıklarında kısa süreli, keskin ve iyi lokalize edilebilen ağrı oluşturabilir (Bender, 2000; Jafarzadeh ve Abbott, 2010). C lifleri pulpanın daha derin bölgelerinde bulunur ve özellikle inflamasyonun ilerlediği olgularda spontan, zonklayıcı ve uyaran sonrasında devam eden ağrı ile ilişkilidir (Bender, 2000; Zhan vd., 2021). Dentin-pulpa kompleksinde oluşturulan kontrollü sıcaklık düşüşü, pulpal nosiseptif iletimi geçici olarak zayıflatabilecek rasyonel bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir (Algaflı ve George, 2007; Sarria vd., 2012). Bu etki lokal anestezinin yerine geçen bir mekanizma değil, mevcut anesteziyi destekleyebilecek geçici bir iletim modülasyonudur (Alenezi vd., 2025; Topcuoglu vd., 2019).

Kriyoterapinin endodontideki önemli etkilerinden biri vasküler ve inflamatuvar yanıtın modülasyonudur (Guillot vd., 2019; Nadler vd., 2004). Soğuk uygulamaya bağlı vazokonstriksiyon kanama ve ödem kontrolünü destekleyebilir; metabolik aktivite ile bazı proinflamatuvar mediyatörlerin azalması ise inflamatuvar yanıtın sınırlandırılmasına katkı

sağlayabilir (Guillot vd., 2019; Nadler vd., 2004; Puntel vd., 2013). İntrakanal kriyoterapide amaç, soğuk irrigasyon solüsyonunun kök dentini üzerinden kök yüzeyi ve periradiküler dokularda termal etki oluşturmaktır (Vera vd., 2015). Vital pulpa tedavilerinde ise kontrollü soğutma, hemostaz süresini ve erken dönem ağrıyı azaltabilecek yardımcı bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025).

6.2. Postoperatif Ağrı Kontrolü

Kök kanal tedavisi sonrası ağrı, endodontik tedavinin sık karşılaşılan erken dönem sorunlarından biridir (Hespanhol vd., 2022; Sadaf vd., 2020). Mekanik ve kimyasal irritasyon, debris ve mikroorganizmaların apikalden taşması ile periapikal inflamatuvar yanıt postoperatif ağrının gelişimine katkı sağlayabilir (Hespanhol vd., 2022; Mohamed vd., 2026; Monteiro vd., 2021). Semptomatik apikal periodontitis ve belirgin preoperatif ağrı varlığında postoperatif ağrı riski daha yüksek olabilir (Sadaf vd., 2020; Vera vd., 2018).

Endodontide postoperatif ağrının azaltılması amacıyla en çok araştırılan kriyoterapi yaklaşımı intrakanal kriyoterapidir (Hespanhol vd., 2022; Sadaf vd., 2020). Kök kanal şekillendirmesi ve standart irrigasyon işlemleri tamamlandıktan sonra kanal sistemi düşük sıcaklıktaki steril salinle yıkanır (Sadaf vd., 2020; Vera vd., 2018). Sık kullanılan protokollerden biri, yaklaşık 2,5°C sıcaklığındaki 20 mL steril salinin 5 dakika süreyle final irrigasyon olarak uygulanmasıdır (Sadaf vd., 2020; Vera vd., 2018). Amaç, kök dentini üzerinden kök yüzeyi ve periradiküler dokularda sıcaklık düşüşü oluşturarak erken inflamatuvar ağrı yanıtını sınırlandırmaktır (Vera vd., 2015).

İntrakanal kriyoterapinin deneysel temeli, 2,5°C salinin negatif basınç sistemiyle 5 dakika uygulanmasının kök dış yüzey sıcaklığında 10°C'den fazla düşüş oluşturduğunu ve bu düşüşün yaklaşık 4 dakika korunabildiğini gösteren in vitro çalışmaya dayanmaktadır (Vera vd., 2015). Bu bulgu, kanal içindeki soğutmanın kök dentini üzerinden kök dış yüzeyine iletilebildiğini göstermektedir (Vera vd., 2015).

Klinik çalışmalar, intrakanal kriyoterapinin özellikle semptomatik apikal periodontitisli olgularda postoperatif ağrıyı azaltabileceğini göstermektedir (Gundogdu ve Arslan, 2018; Vera vd., 2018). Nekrotik pulpalı ve semptomatik apikal periodontitisli tek köklü dişlerde 2,5°C salinle yapılan final irrigasyonun postoperatif ağrı insidansını, ağrı şiddetini ve analjezik kullanımını azalttığı bildirilmiştir (Vera vd., 2018). Semptomatik apikal periodontitisli molar dişlerde intrakanal, intraoral ve ekstraoral kriyoterapi uygulamaları kontrol grubuna göre daha düşük postoperatif ağrı ve perküsyon hassasiyetiyle ilişkilendirilmiştir (Gundogdu ve Arslan, 2018).

Sistematik derleme ve meta-analizler, intrakanal kriyoterapinin etkisinin özellikle erken dönemde belirgin olduğunu göstermektedir (Mohamed vd., 2026; Monteiro vd., 2021; Sadaf vd., 2020). Postoperatif ağrı 6. ve 24. saatlerde azalabilirken, 48. saat, 72. saat ve 7. gündeki farklar genellikle anlamlı değildir (Monteiro vd., 2021; Sadaf vd., 2020). Bu rnt, kriyoterapinin daha çok erken inflamatuvar ağrı yanıtı üzerinde etkili olduğunu düşündürmektedir (Mohamed vd., 2026; Sadaf vd., 2020). Etki semptomatik apikal periodontitisli dişlerde daha tutarlı görünürken, normal periapikal dokulu dişlerde 24. ve 48. saatlerde belirgin bir üstünlük gösterilmemiştir (Hespanhol vd., 2022).

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde intrakanal kriyoterapi, postoperatif ağrıyı tamamen önleyen bir yöntemden çok erken dönem ağrı şiddetini azaltan destekleyici bir uygulama olarak görülmelidir (Mohamed vd., 2026; Sadaf vd., 2020). Semptomatik apikal periodontitisli, nekrotik pulpalı veya belirgin preoperatif ağrısı bulunan olgularda klinik yarar daha belirgin olabilir (Hespanhol vd., 2022; Vera vd., 2018). Normal periapikal dokulu dişlerde ek yarar daha sınırlı görünmektedir (Hespanhol vd., 2022).

Klinik uygulamada soğuk solüsyonun sıcaklığı, uygulama süresi, hacmi, irrigasyon sistemi ve apikal taşma riski kontrol edilmelidir (Sadaf vd., 2020; Vera vd., 2015). Negatif basınçlı irrigasyon sistemleri, soğuk solüsyonun çalışma boyuna ulaştırılmasına ve apikal ekstrüzyon riskinin azaltılmasına yardımcı olabilir (Vera vd., 2015). Yaklaşık 2,5°C'ye soğutulmuş salinin 5 dakika süreyle final irrigasyon olarak kullanılması literatürde sık uygulanan protokollerden biridir (Monteiro vd., 2021; Sadaf vd., 2020). Bununla birlikte ideal sıcaklık, hacim, süre ve uygulama yöntemi konusunda kesin bir standardizasyon bulunmamaktadır (Mohamed vd., 2026; Monteiro vd., 2021; Sadaf vd., 2020).

İntrakanal kriyoterapi, postoperatif endodontik ağrının azaltılmasında düşük maliyetli ve non-farmakolojik bir destek yöntemi olarak değerlendirilebilir (Mohamed vd., 2026; Sadaf vd., 2020). En güçlü klinik kanıt semptomatik apikal periodontitisli ve erken dönem ağrı riski yüksek olgularda grlmektedir (Hespanhol vd., 2022; Vera vd., 2018). Kriyoterapi, uygun endodontik işlem basamaklarının veya gerekli analjezik protokollerin yerine geçmemeli; seçilmiş olgularda tamamlayıcı bir yaklaşım olarak kullanılmalıdır.

6.3. Vital Pulpa Tedavileri

Vital pulpa tedavilerinde temel amaç, pulpa dokusunun canlılığını ve biyolojik işlevini koruyarak dişin fonksiyonunu sürdürmektir (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025). Tedavi başarısı; doğru vaka seçimi, etkilenmiş koronal pulpanın uzaklaştırılması, kanamanın kontrol edilmesi, pulpanın biyoyumlu materyalle örtülmesi ve işlem sonrası semptomların

yönetimiyle ilişkilidir (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025). Kriyoterapi bu alanda pulpa dokusunu tahrip edici bir yöntem olarak değil, hemostazı ve erken dönem ağrı kontrolünü destekleyen yardımcı bir uygulama olarak değerlendirilmiştir (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025).

Canlı pulpa dokusuna kontrollü soğuk uygulanması vazokonstriksiyon oluşturarak kan akımını azaltabilir (Nadler vd., 2004). Bu etki, pulpotomi sırasında hemostazın daha kısa sürede sağlanmasına katkı sağlayabilir (Akhil vd., 2024). Soğutma aynı zamanda sinir iletimini geçici olarak yavaşlatabilir ve metabolik aktiviteyi azaltabilir (Algaflly ve George, 2007; Nadler vd., 2004). Bu nedenle vital pulpa tedavilerinde kriyoterapinin klinik rasyoneli, kanama kontrolü ile erken dönem hasta konforunun birlikte desteklenmesine dayanır (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025).

Vital pulpa kriyoterapisinde farklı protokoller tanımlanmıştır (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025). Randomize klinik çalışmalarda pulpa odasının yaklaşık 2,5°C'lik serum fizyolojik ile irrigasyonu değerlendirilmiştir (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025). Akhil ve arkadaşlarının protokolünde soğuk salin, hemostaz sağlanıncaya kadar sürekli lavaj şeklinde uygulanırken; Gurler ve Yilmaz'ın çalışmasında hemostaz sağlandıktan sonra pulpotomi alanı 5 dakika boyunca soğuk salinle irrig edilmiştir (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025). Bu farklılık, hemostaz yöntemi, uygulama süresi ve kriyoterapinin işlem sırasındaki zamanlaması bakımından protokollerin henüz standardize olmadığını göstermektedir (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025).

Klinik çalışmalar, kriyoterapi destekli tam pulpotominin erken dönem postoperatif ağrı üzerinde olumlu etkiler gösterebildiğini bildirmiştir (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025). Soğuk serum fizyolojik kullanılan gruplarda erken dönem ağrı skorları daha düşük bulunmuştur (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025). Akhil ve arkadaşlarının çalışmasında kriyoterapi grubunda hemostaz daha kısa sürede sağlanmıştır (Akhil vd., 2024). Bu bulgular, kriyoterapinin vital pulpa tedavilerinde hemostazı ve erken dönem semptom kontrolünü destekleyebileceğini düşündürmektedir (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025).

Vital pulpa tedavilerinde temel hedef pulpa dokusunu korumaktır (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025). Mevcut klinik kanıtlar, yaklaşık 2,5°C'lik serum fizyolojik kullanılan kontrollü protokollerle sınırlıdır (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025). Bu çalışmalar farklı sıcaklıkların, daha uzun uygulama sürelerinin veya doğrudan buz temasının pulpa dokusu ve dental sert dokular üzerindeki güvenliğini değerlendirmemiştir (Akhil vd., 2024; Gurler ve Yilmaz, 2025). Bu nedenle gelecekteki çalışmaların ideal sıcaklık, uygulama

süresi, soğuk ajan tipi, ekspozisyon alanı, hemostaz yöntemi, örtüleme materyali ve uzun dönem pulpa canlılığı gibi değişkenleri standardize etmesi gerekmektedir.

6.4. Destek Lokal Anestezi Uygulamaları

Semptomatik geri dönüşümsüz pulpitisli mandibular molar dişlerde derin pulpa anestezisi sağlamak endodontinin güç klinik basamaklarından biridir (Alenezi vd., 2025; Topcuoglu vd., 2019). İnferior alveolar sinir bloğunun başarı oranı bu klinik tabloda sağlıklı pulpalı dişlere göre daha düşük olabilir (Alenezi vd., 2025; Parirokh vd., 2015). İnflamasyona bağlı periferik sensitizasyon, iyon kanalı ekspresyonundaki değişiklikler, anatomik varyasyonlar ve anksiyete gibi faktörler bu güçlüğe katkı sağlayabilir (Alenezi vd., 2025; Suwanchai vd., 2012; Zhan vd., 2021).

İnflame pulpa dokusunda transient receptor potential kanalları ile tetrodotoksine dirençli sodyum kanallarındaki değişiklikler nosiseptif iletimin sürmesine katkı sağlayabilir (Hossain vd., 2019; Lee vd., 2019; Suwanchai vd., 2012; Zhan vd., 2021). Başarısız inferior alveolar sinir bloğu sonrasında bukkal infiltrasyon, intraosseöz, intraligamenter veya intrapulpal enjeksiyonlar gibi destek tekniklere başvurulabilir (Alenezi vd., 2025). Bu tekniklerin invaziv olması, ek lokal anestetik dozu gerektirmesi ve enjeksiyona bağlı ağrı veya sistemik advers etki olasılığı alternatif destek yaklaşımlarını gündeme getirmiştir (El-Boghdadly vd., 2018; Ho vd., 2021).

Kriyoterapinin destek lokal anestezi açısından teorik önemi, pulpal sıcaklığın düşürölmesiyle sinir iletim hızının azalması ve ağrı eşiğinin yükselmesi beklentisine dayanır (Algaflly ve George, 2007; Sarria vd., 2012). Bu yaklaşım lokal anestezinin yerine geçen bir yöntem değil, mevcut anesteziyi destekleyebilecek non-invaziv bir ön uygulamadır (Alenezi vd., 2025; Topcuoglu vd., 2019).

Endodontide destek lokal anestezi amacıyla farklı kriyoterapi protokolleri değerlendirilmiştir (Alenezi vd., 2025). Steril gazlı bez içine yerleştirilen buz paketinin bukkal vestibölde 5 dakika uygulanması klinik çalışmalarda kullanılan yöntemlerden biridir (Elheeny vd., 2023; Topcuoglu vd., 2019). Endo-Ice'in dişin bukkal, lingual ve oklüzal yüzeylerine doğrudan uygulanması ile pulpa odasına intrapulpal buz çubuğu yerleştirilmesi de araştırılmıştır (Gopakumar vd., 2023). Bu uygulamalarda hedef, dentin-pulpa kompleksinde sıcaklığı düşürerek pulpal sinir liflerinin uyarılabilirliğini geçici olarak azaltmaktır (Algaflly ve George, 2007; Jafarzadeh ve Abbott, 2010).

Bukkal vestiböle gazlı bez içinde buz uygulanması, kolay hazırlanabilir ve düşük maliyetli bir yöntemdir (Alenezi vd., 2025; Topcuoglu vd., 2019). Bu protokolde uygulama süresinin 5 dakika olması, akut ağrılı hastalarda klinik akışı uzatabilir (Elheeny vd., 2023;

Topcuoglu vd., 2019). Gopakumar ve arkadaşlarının protokolünde Endo-Ice, bukkal ve lingual yüzeylere üçer saniye, oklüzal yüzeye ise dört saniye olmak üzere toplam 10 saniye uygulanmıştır; kombine grupta erişim kavitesi açıldıktan sonra iki buz çubuğu pulpa odasında 4 dakika tutulmuştur (Gopakumar vd., 2023). Dolayısıyla bu protokoller, kısa süreli yüzeysel soğutma ile pulpa odasında doğrudan ve daha uzun süreli soğutma yaklaşımlarını temsil etmektedir (Gopakumar vd., 2023).

Mevcut klinik çalışmalar, buz paketi uygulamasının bazı semptomatik geri dönüşümsüz pulpitis olgularında inferior alveolar sinir bloğu başarısını artırabileceğini ve işlem sırasındaki ağrı şiddetini azaltabileceğini göstermektedir (Alenezi vd., 2025; Elheeny vd., 2023; Topcuoglu vd., 2019). Bununla birlikte Endo-Ice uygulamasının anestezi başarısı üzerindeki etkisi daha belirsizdir (Alenezi vd., 2025; Gopakumar vd., 2023). Çalışmalar uygulama materyali, temas yüzeyi, süre, diş tipi, yaş grubu ve başarı ölçütleri bakımından heterojendir (Alenezi vd., 2025). Bu nedenle destek lokal anestezi için standart bir kriyoterapi protokolü henüz kesinleşmemiştir (Alenezi vd., 2025).

Destek lokal anestezi bağlamında kriyoterapinin başlıca avantajları non-invaziv olması, ek lokal anestetik ve vazokonstriktör dozu gerektirmemesi, uygulanmasının kolay ve maliyetinin düşük olmasıdır (Alenezi vd., 2025; Topcuoglu vd., 2019). Beş dakikalık buz uygulaması klinik akışı uzatabilir (Elheeny vd., 2023; Topcuoglu vd., 2019). Dentin kalınlığı, restorasyon varlığı ve restoratif materyalin termal özellikleri pulpal sıcaklık yanıtını etkileyebilir (Jafarzadeh ve Abbott, 2010). Soğuk hassasiyeti bulunan hastalarda tolerans azalabilir; kontrolsüz veya uzun süreli doğrudan temas ise lokal doku hasarı riski taşıyabilir (Brown ve Hahn, 2009; Garcia vd., 2021).

6.5. Endodontik Enstrümanlara Derin Kriyojenik İşlem

Derin kriyojenik işlem, metal alaşımların çok düşük sıcaklıklarda belirli süre tutulması ve kontrollü biçimde oda sıcaklığına döndürülmesi esasına dayanır (Kalsi vd., 2010). Bu işlem iç gerilmeleri azaltabilir, mikro yapıyı etkileyebilir ve bazı mekanik özelliklerde iyileşme sağlayabilir (Kalsi vd., 2010).

Derin kriyojenik işlemin bazı nikel-titanyum endodontik enstrümanlarda döngüsel yorgunluk direncini artırabileceği bildirilmiştir (Vinothkumar vd., 2016). Döngüsel yorgunluk, özellikle eğimli kanallarda döner enstrüman kırılmasının başlıca mekanizmalarından biridir (Vinothkumar vd., 2016; Yazdizadeh vd., 2017). Bu nedenle yorgunluk direncini artırmaya yönelik termal ve kriyojenik işlemler materyal bilimi açısından araştırılmaktadır (Kalsi vd., 2010).

Derin kriyojenik işlemin etkisi kullanılan alaşıma, üretim ve ısıı işlem geçmişine, eğe geometrisine ve uygulanan kriyojenik protokole bağlıdır (Kalsi vd., 2010; Vinothkumar vd., 2016). Bazı eğe sistemlerinde döngüsel yorgunluk direnci açısından anlamlı bir üstünlük gösterilememiştir (Yazdizadeh vd., 2017). Bu nedenle sonuçlar tüm nikel-titanyum sistemlere genellenmemeli, her eğe sistemi kendi materyal ve üretim özellikleri içinde değerlendirilmelidir (Vinothkumar vd., 2016; Yazdizadeh vd., 2017).

6.6. Klinik Sınırlılıklar ve Gelecek Araştırma Alanları

Endodontik kriyoterapinin önemli sınırlılıklarından biri protokol standardizasyonunun yetersiz olmasıdır (Alenezi vd., 2025; Mohamed vd., 2026; Sadaf vd., 2020). Kullanılan soğuk materyal, uygulama süresi, temas yüzeyi, irrigasyon sıcaklığı ve hacmi, hasta yaşı, diş tipi, pulpal-periapikal tanı ve başarı ölçütleri çalışmalar arasında değişmektedir (Alenezi vd., 2025; Akhil vd., 2024; Mohamed vd., 2026). Bu heterojenlik sonuçların doğrudan karşılaştırılmasını ve tek bir klinik protokol önerilmesini güçleştirmektedir (Alenezi vd., 2025; Mohamed vd., 2026).

Gelecekteki çalışmaların yalnızca ağrı skorlarını değil; intrapulpal sıcaklık düşüşünü, soğutma süresini, belirli sıcaklık eşiklerinin altında kalma sürelerini, pulpal kan akımını, restorasyon veya kavite varlığını ve hasta merkezli sonuçları birlikte değerlendirmesi gerekir. Restorasyon kalınlığı ve materyalin termal özellikleri soğuk test sırasında pulpal sıcaklık yanıtını etkileyebileceğinden, restorasyonlu dişlerin ayrıca incelenmesi önemlidir (Jafarzadeh ve Abbott, 2010). Farklı diş tipleri ve kavite derinliklerinde pulpal sıcaklık yanıtının araştırılması, destek lokal anestezi uygulamalarının klinik rasyonelini güçlendirebilir.

Kriyoterapi endodontide tek başına ana tedavi yöntemi olarak değil, belirli biyolojik hedeflere yönelik yardımcı bir yaklaşım olarak konumlandırılmalıdır (Alenezi vd., 2025; Sadaf vd., 2020). Güvenli kullanım için uygun hasta seçimi, kontrendikasyonların sorgulanması, doku güvenliğinin korunması ve uygulama protokolünün açık biçimde tanımlanması gerekir (Garcia vd., 2021; Legrand vd., 2023).

7. Güvenlik ve Kontrendikasyonlar

Kriyoterapi düşük maliyetli ve non-farmakolojik bir destek yaklaşımı olmakla birlikte, kontrolsüz uygulandığında doku hasarı riski taşıyabilir (Brown ve Hahn, 2009; Garcia vd., 2021). Uygulama süresinin uzaması, soğuk kaynağının dokuya doğrudan teması ve duyu kaybı bulunan bölgelerde uygulama yapılması donma yaralanması riskini artırabilir (Brown ve Hahn, 2009; Garcia vd., 2021).

Soğuk ürtikeri, Raynaud fenomeni, kriyoglobulinemi ve paroksizmal soğuk hemoglobinürisi kriyoterapi açısından önemli kontrendikasyonlar arasında değerlendirilmelidir (Garcia vd., 2021; Haque ve Hughes, 2020; Reyes-Soto vd., 2024; Silva vd., 2019). Soğuk maruziyeti bu bireylerde ürtiker, ödem, vazospazm veya iskemik doku hasarıyla sonuçlanabilir (Haque ve Hughes, 2020; Reyes-Soto vd., 2024; Silva vd., 2019). Diyabetik nöropati, periferik sinir hasarı veya hipoestezi bulunan alanlarda aşırı soğukun algılanamaması doku hasarının fark edilmesini geciktirebilir (Brown ve Hahn, 2009; Feldman vd., 2019).

Periferik vasküler hastalık ve ciddi kardiyovasküler hastalık bulunan bireylerde özellikle geniş yüzeyli veya uzun süreli soğuk uygulamalar dikkatle değerlendirilmelidir (Garcia vd., 2021; Legrand vd., 2023). Tam vücut kriyoterapi için tanımlanan kontrendikasyonlar, kısa süreli dental lokal uygulamalarla doğrudan eşdeğer kabul edilmemelidir; buna karşın ayrıntılı anamnez ve klinik muhakeme gereklidir (Legrand vd., 2023). İntraoral buz uygulamalarında soğuk kaynak steril gazlı bez gibi koruyucu bir bariyer içinde kullanılmalı ve uygulama süresi kontrol edilmelidir (Elheeny vd., 2023; Topcuoglu vd., 2019). İntrakanal kriyoterapide solüsyon sıcaklığı, hacmi, uygulama süresi, irrigasyon sistemi ve apikal taşma riski dikkatle yönetilmelidir (Sadaf vd., 2020; Vera vd., 2015). Vera ve arkadaşlarının in vitro çalışması, soğuk salin irrigasyonunun kök dış yüzey sıcaklığını düşürebildiğini göstermiş; ancak klinik pulpal veya periradiküler doku yanıtlarını doğrudan değerlendirmemiştir (Vera vd., 2015).

8. Sonuç

Kriyoterapinin klinik etkileri vasküler yanıt, sinir iletiminin yavaşlaması, metabolik aktivitenin azalması ve inflamatuvar süreçlerin modülasyonuna dayanır. Diş hekimliğinde kriyoterapi oral cerrahi, periodontoloji, pedodonti ve endodontide farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Endodontide intrakanal kriyoterapi, postoperatif ağrı kontrolü açısından en çok araştırılmış uygulamalardan biridir. Vital pulpa tedavileri ve destek lokal anestezi uygulamaları ise gelişmekte olan diğer araştırma alanlarıdır.

Mevcut kanıtlar, kriyoterapinin endodontik pratikte farmakolojik olmayan, düşük maliyetli ve uygulanabilir bir destek yaklaşımı olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte diş tipi, restorasyon veya kavite varlığı, uygulama yüzeyi, temas süresi, kullanılan soğuk materyal ve pulpal-periapikal tanı gibi değişkenlerin kontrol edildiği daha kapsamlı çalışmalara gereksinim vardır. Güvenli kullanım için hasta seçimi, kontrendikasyonların sorgulanması ve doku hasarı riskinin dikkate alınması gerekir.

Anahtar Kelimeler: Kriyoterapi, endodonti, postoperatif ağrı, vital pulpa tedavisi, destek lokal anestezi

Kaynakça

- Akhil, V. S., Kumar, V., Aravind, A., Sharma, R., Sharma, S., Chawla, A., Upadhyay, A. D. ve Logani, A. (2024). Novel cryotherapy technique for pulpotomy in mature permanent teeth with symptomatic irreversible pulpitis: A randomized controlled trial. *Clinical Oral Investigations*, 28(5), 275. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05661-y>
- Alenezi, A. T., Alkandari, M., Alkandari, M., Alhallaq, R., Alobaidan, A., Alobaidan, M., Almutairi, M., Alajmi, M., Alajmi, Y. ve Alsaleh, S. A. (2025). Efficacy of cryotherapy after inferior alveolar nerve block in symptomatic irreversible pulpitis: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Cureus*, 17(5), e84046. <https://doi.org/10.7759/cureus.84046>
- Algaflly, A. A. ve George, K. P. (2007). The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 365-369. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.031237>
- Allan, R., Malone, J., Alexander, J., Vorajee, S., Ihsan, M., Gregson, W., Kwiecien, S. ve Mawhinney, C. (2022). Cold for centuries: A brief history of cryotherapies to improve health, injury and post-exercise recovery. *European Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1153-1162. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04915-5>
- Bender, I. B. (2000). Pulpal pain diagnosis: A review. *Journal of Endodontics*, 26(3), 175-179. <https://doi.org/10.1097/00004770-200003000-00012>
- Bleakley, C., McDonough, S. ve MacAuley, D. (2004). The use of ice in the treatment of acute soft-tissue injury: A systematic review of randomized controlled trials. *American Journal of Sports Medicine*, 32(1), 251-261. <https://doi.org/10.1177/0363546503260757>
- Brown, W. C. ve Hahn, D. B. (2009). Frostbite of the feet after cryotherapy: A report of two cases. *Journal of Foot and Ankle Surgery*, 48(5), 577-580. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2009.06.003>
- Bruggink, S. C., Gussekloo, J., Berger, M. Y., Zaaijer, K., Assendelft, W. J. J., de Waal, M. W. M., Bouwes Bavinck, J. N., Koes, B. W. ve Eekhof, J. A. H. (2010). Cryotherapy with liquid nitrogen versus topical salicylic acid application for cutaneous warts in primary care: Randomized controlled trial. *Canadian Medical Association Journal*, 182(15), 1624-1630. <https://doi.org/10.1503/cmaj.092194>
- Chen, Z., Meng, L., Zhang, J. ve Zhang, X. (2023). Progress in the cryoablation and cryoimmunotherapy for tumor. *Frontiers in Immunology*, 14, 1094009. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1094009>

- Cooper, S. M. ve Dawber, R. P. (2001). The history of cryosurgery. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 94(4), 196-201. <https://doi.org/10.1177/014107680109400416>
- Eisen, D. B., Dellavalle, R. P., Frazer-Green, L., Schlesinger, T. E., Shive, M. ve Wu, P. A. (2022). Focused update: Guidelines of care for the management of actinic keratosis. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 87(2), 373-374.e5. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2022.04.013>
- El-Boghdadly, K., Pawa, A. ve Chin, K. J. (2018). Local anesthetic systemic toxicity: Current perspectives. *Local and Regional Anesthesia*, 11, 35-44. <https://doi.org/10.2147/LRA.S154512>
- Elheeny, A. A. H., Sermani, D. I., Saliab, E. A. ve Turkey, M. (2023). Cryotherapy and pain intensity during endodontic treatment of mandibular first permanent molars with symptomatic irreversible pulpitis: A randomized controlled trial. *Clinical Oral Investigations*, 27(8), 4585-4593. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05084-1>
- Erinjeri, J. P. ve Clark, T. W. (2010). Cryoablation: Mechanism of action and devices. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, 21(8 Suppl), S187-S191. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2009.12.403>
- Farah, C. S. ve Savage, N. W. (2006). Cryotherapy for treatment of oral lesions. *Australian Dental Journal*, 51(1), 2-5. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2006.tb00392.x>
- Feldman, E. L., Callaghan, B. C., Pop-Busui, R., Zochodne, D. W., Wright, D. E., Bennett, D. L., Bril, V., Russell, J. W. ve Viswanathan, V. (2019). Diabetic neuropathy. *Nature Reviews Disease Primers*, 5(1), 41. <https://doi.org/10.1038/s41572-019-0092-1>
- Garcia, C., Karri, J., Zacharias, N. A. ve Abd-Elsayed, A. (2021). Use of cryotherapy for managing chronic pain: An evidence-based narrative. *Pain and Therapy*, 10(1), 81-100. <https://doi.org/10.1007/s40122-020-00225-w>
- Gopakumar, R., Jayachandran, M., Varada, S., Jayaraj, J., Veetil, J. E. ve Nair, N. S. (2023). Anesthetic efficacy of Endo-Ice and intrapulpal ice sticks after inferior alveolar nerve block in symptomatic irreversible pulpitis: A randomized controlled study. *Cureus*, 15(7), e42135. <https://doi.org/10.7759/cureus.42135>
- Guillot, X., Tordi, N., Laheurte, C., Pazart, L., Prati, C., Saas, P. ve Wendling, D. (2019). Local ice cryotherapy decreases synovial interleukin 6, interleukin 1 beta, vascular endothelial growth factor, prostaglandin E2, and nuclear factor kappa B p65 in human knee arthritis: A controlled study. *Arthritis Research & Therapy*, 21(1), 180. <https://doi.org/10.1186/s13075-019-1965-0>

- Guillot, X., Tordi, N., Mourot, L., Demougeot, C., Dugué, B., Prati, C. ve Wendling, D. (2014). Cryotherapy in inflammatory rheumatic diseases: A systematic review. *Expert Review of Clinical Immunology*, 10(2), 281-294. <https://doi.org/10.1586/1744666X.2014.870036>
- Gundogdu, E. C. ve Arslan, H. (2018). Effects of various cryotherapy applications on postoperative pain in molar teeth with symptomatic apical periodontitis: A preliminary randomized prospective clinical trial. *Journal of Endodontics*, 44(3), 349-354. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.11.002>
- Gurler, K. ve Yilmaz, K. (2025). The effect of novel cryotherapy technique on postoperative pain for pulpotomy in permanent molars with symptomatic irreversible pulpitis: A randomized controlled trial. *Journal of Endodontics*, 51(5), 547-553. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2025.01.020>
- Haque, A. ve Hughes, M. (2020). Raynaud's phenomenon. *Clinical Medicine*, 20(6), 580-587. <https://doi.org/10.7861/clinmed.2020-0754>
- Hespanhol, F. G., Guimarães, L. S., Antunes, L. A. A. ve Antunes, L. S. (2022). Effect of intracanal cryotherapy on postoperative pain after endodontic treatment: Systematic review with meta-analysis. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 47(3), e30. <https://doi.org/10.5395/rde.2022.47.e30>
- Ho, J. T. F., van Riet, T. C. T., Afrian, Y., Chin Jen Sem, K. T. H., Spijker, R., de Lange, J. ve Lindeboom, J. A. (2021). Adverse effects following dental local anesthesia: A literature review. *Journal of Dental Anesthesia and Pain Medicine*, 21(6), 507-525. <https://doi.org/10.17245/jdapm.2021.21.6.507>
- Hossain, M. Z., Bakri, M. M., Yahya, F., Ando, H., Unno, S. ve Kitagawa, J. (2019). The role of transient receptor potential channels in the transduction of dental pain. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(3), 526. <https://doi.org/10.3390/ijms20030526>
- Jafarzadeh, H. ve Abbott, P. V. (2010). Review of pulp sensibility tests. Part I: General information and thermal tests. *International Endodontic Journal*, 43(9), 738-762. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01754.x>
- Kalsi, N. S., Sehgal, R. ve Sharma, V. S. (2010). Cryogenic treatment of tool materials: A review. *Materials and Manufacturing Processes*, 25(10), 1077-1100. <https://doi.org/10.1080/10426911003720862>
- Kumar, S., Bhat, G. S. ve Bhat, K. M. (2013). Comparative evaluation of gingival depigmentation using tetrafluoroethane cryosurgery and gingival abrasion technique:

- Two years follow up. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 7(2), 389-394. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2013/4454.2779>
- Lakshmanan, L. ve Ravindran, V. (2021). Efficacy of cryotherapy application on the pain perception during intraoral injection: A randomized controlled trial. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 14(5), 616-620. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2032>
- Larsen, M. K., Kofod, T. ve Starch-Jensen, T. (2019). Therapeutic efficacy of cryotherapy on facial swelling, pain, trismus and quality of life after surgical removal of mandibular third molars: A systematic review. *Journal of Oral Rehabilitation*, 46(6), 563-573. <https://doi.org/10.1111/joor.12789>
- Laureano Filho, J. R., de Oliveira e Silva, E. D., Batista, C. I. ve Gouveia, F. M. (2005). The influence of cryotherapy on reduction of swelling, pain and trismus after third-molar extraction: A preliminary study. *Journal of the American Dental Association*, 136(6), 774-778. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2005.0261>
- Lee, K., Lee, B. M., Park, C. K., Kim, Y. H. ve Chung, G. (2019). Ion channels involved in tooth pain. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(9), 2266. <https://doi.org/10.3390/ijms20092266>
- Legrand, F. D., Dugué, B., Costello, J., Bleakley, C., Miller, E., Broatch, J. R., Polidori, G., Lubkowska, A., Louis, J., Lombardi, G., Bieuzen, F. ve Capodaglio, P. (2023). Evaluating safety risks of whole-body cryotherapy/cryostimulation: A scoping review from an international consortium. *European Journal of Medical Research*, 28(1), 387. <https://doi.org/10.1186/s40001-023-01385-z>
- Lombardi, G., Ziemann, E. ve Banfi, G. (2017). Whole-body cryotherapy in athletes: From therapy to stimulation. An updated review of the literature. *Frontiers in Physiology*, 8, 258. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00258>
- Mohamed, M., Abdelmajeed, A., Salah-Uddin Anwar Laithy, M. ve Abozaid, D. (2026). Effectiveness of intracanal cryotherapy in reducing post-endodontic pain in irreversible pulpitis: A systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 16, 13386. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-47860-5>
- Monteiro, L. P. B., Guerreiro, M. Y. R., Valino, R. C., Magno, M. B., Maia, L. C. ve Brandão, J. M. S. (2021). Effect of intracanal cryotherapy application on postoperative endodontic pain: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Investigations*, 25(1), 23-35. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03693-8>

- Nadler, S. F., Weingand, K. ve Kruse, R. J. (2004). The physiologic basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner. *Pain Physician*, 7(3), 395-399. <https://doi.org/10.36076/ppj.2004/7/395>
- Parirokh, M., Yosefi, M. H., Nakhaee, N., Abbott, P. V. ve Manochehrifar, H. (2015). The success rate of bupivacaine and lidocaine as anesthetic agents in inferior alveolar nerve block in teeth with irreversible pulpitis without spontaneous pain. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 40(2), 155-160. <https://doi.org/10.5395/rde.2015.40.2.155>
- Puntel, G. O., Carvalho, N. R., Dobrachinski, F., Salgueiro, A. C. F., Puntel, R. L., Folmer, V., Barbosa, N. B. V., Royes, L. F. F., Rocha, J. B. T. ve Soares, F. A. A. (2013). Cryotherapy reduces skeletal muscle damage after ischemia/reperfusion in rats. *Journal of Anatomy*, 222(2), 223-230. <https://doi.org/10.1111/joa.12009>
- Racinais, S., Dablainville, V., Rousse, Y., Ihsan, M., Grant, M.-E., Schobersberger, W., Budgett, R. ve Engebretsen, L. (2024). Cryotherapy for treating soft tissue injuries in sport medicine: A critical review. *British Journal of Sports Medicine*, 58(20), 1215-1223. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2024-108304>
- Reyes-Soto, M. A., Perales-González, A., Rivera-Alonso, I. A., Yee-De León, A. L., Ocampo-Candiani, J. ve Muñoz-Garza, F. Z. (2024). Cold urticaria as a complication of cryotherapy in the treatment of viral warts. *Pediatric Dermatology*, 41(2), 372-373. <https://doi.org/10.1111/pde.15514>
- Sadaf, D., Ahmad, M. Z. ve Onakpoya, I. J. (2020). Effectiveness of intracanal cryotherapy in root canal therapy: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Journal of Endodontics*, 46(12), 1811-1823.e1. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.08.022>
- Saeedi, P., Sarraf Shirazi, A. ve Ghorbani, M. (2025). The effectiveness of cryotherapy and cooled topical anesthesia compared with conventional topical anesthesia in alleviating intraoral injection pain: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 35(4), 655-674. <https://doi.org/10.1111/ipd.13275>
- Sarria, I., Ling, J. ve Gu, J. G. (2012). Thermal sensitivity of voltage-gated Na⁺ channels and A-type K⁺ channels contributes to somatosensory neuron excitability at cooling temperatures. *Journal of Neurochemistry*, 122(6), 1145-1154. <https://doi.org/10.1111/j.1471-4159.2012.07839.x>
- Silva, F., Pinto, C., Barbosa, A., Borges, T., Dias, C. ve Almeida, J. (2019). New insights in cryoglobulinemic vasculitis. *Journal of Autoimmunity*, 105, 102313. <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2019.102313>

- Suwanchai, A., Theerapiboon, U., Chattipakorn, N. ve Chattipakorn, S. C. (2012). NaV1.8, but not NaV1.9, is upregulated in the inflamed dental pulp tissue of human primary teeth. *International Endodontic Journal*, 45(4), 372-378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01986.x>
- Talebi, M., Farmanbar, N., Abolfazli, S. ve Sarraf Shirazi, A. (2012). Management of physiological hyperpigmentation of oral mucosa by cryosurgical treatment: A case report. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 6(4), 148-151. <https://doi.org/10.5681/joddd.2012.030>
- Theodorescu, D. (2004). Cancer cryotherapy: Evolution and biology. *Reviews in Urology*, 6(Suppl 4), S9-S19.
- Topcuoglu, H. S., Arslan, H., Topcuoglu, G. ve Demirbuga, S. (2019). The effect of cryotherapy application on the success rate of inferior alveolar nerve block in patients with symptomatic irreversible pulpitis. *Journal of Endodontics*, 45(8), 965-969. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.05.001>
- Vera, J., Ochoa, J., Romero, M., Vazquez-Carcaño, M., Ramos-Gregorio, C. O., Rosas Aguilar, R., Cruz, A., Sleiman, P. ve Arias, A. (2018). Intracanal cryotherapy reduces postoperative pain in teeth with symptomatic apical periodontitis: A randomized multicenter clinical trial. *Journal of Endodontics*, 44(1), 4-8. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.08.038>
- Vera, J., Ochoa-Rivera, J., Vazquez-Carcano, M., Romero, M., Arias, A. ve Sleiman, P. (2015). Effect of intracanal cryotherapy on reducing root surface temperature. *Journal of Endodontics*, 41(11), 1884-1887. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.08.009>
- Vinothkumar, T. S., Kandaswamy, D., Prabhakaran, G. ve Rajadurai, A. (2016). Mechanical behavior of deep cryogenically treated martensitic shape memory nickel-titanium rotary endodontic instruments. *European Journal of Dentistry*, 10(2), 183-187. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.178314>
- Wang, H., Olivero, W., Wang, D. ve Lanzino, G. (2006). Cold as a therapeutic agent. *Acta Neurochirurgica*, 148(5), 565-570. <https://doi.org/10.1007/s00701-006-0747-z>
- Yazdizadeh, M., Skini, M., Hoseini Goosheh, S. M., Jafarzadeh, M., Shamohammadi, M. ve Rakhshan, V. (2017). Effect of deep cryogenic treatment on cyclic fatigue of endodontic rotary nickel titanium instruments. *Iranian Endodontic Journal*, 12(2), 216-219. <https://doi.org/10.22037/iej.2017.42>

Zhan, C., Huang, M., Yang, X. ve Hou, J. (2021). Dental nerves: A neglected mediator of pulpitis. *International Endodontic Journal*, 54(1), 85-99.
<https://doi.org/10.1111/iej.13400>

BÖLÜM 10

EKSOZOMLAR: DIŞ HEKİMLİĞİ VE ENDODONTİDE REJENERATİF UYGULAMALAR

Esra ARILI ÖZTÜRK¹ , Ceren TURAN GÖKDUMAN²

¹ Uzm. Dt. -Özel Klinik-0000-0003-2137-4442

² Uzm. Dt. -Trakya Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı-0000-0002-8628-1020

GİRİŞ

Eksozomlar 30 ila 150 nm arasında değişen boyutlarda ve vücut sıvılarının çoğunda bulunan hücre dışı sinyal iletim veziküllerinin en küçük alt kümesidir (Miron & Zhang, 2024). Sağlık alanında çeşitli terapötik uygulamalarla birlikte kullanımları artmıştır. Günümüzde eksozomlar, rejeneratif tıpta en çok araştırılan konulardan biridir.

Eksozomlar, hemen hemen her canlı hücre tarafından salgılanan, lipidlerle kaplı biyolojik nanopartiküllerdir (Miron & Zhang, 2024). Hücre sinyalleşmesi, immünolojik yanıtlar, tümör metastazı ve diğer hücrel aktiviter de dahil olmak üzere bir dizi biyolojik süreci yönlendiren sinyal moleküllerini taşırlar (Ghosh et al., 2014). Hem tanısal hem de terapötik işlevlere sahip oldukları bilinmektedir (Miron & Zhang, 2024). Eksozomlar, belirli organları hedeflemek için kullanılabildikleri için ilaç dağıtımında büyük ilgi görmüş ve böylece terapötik tıpta önemli gelişmelere yol açmıştır (Bunggulawa et al., 2018). Hücreler arası iletişimde eksozomlar lipidleri, nükleik asitleri ve proteinleri hücreler arasında taşır (Zhang, Liu, Liu, & Tang, 2019). Eksozomal yük, özellikle nükleik asitler, alıcı hücrenin davranışını kontrol edebilir (Meldolesi, 2018). Genel olarak, eksozomların birçok hücre tipinin etkileşiminde rol oynadığı ve bağışıklık, antimikrobiyal aktivite, çeşitli dokuların yenilenmesinde etkisi olduğu, ayrıca anti-apoptotik, anti-oksidatif stres ve anti-tümör aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir (Miron & Zhang, 2024).

Hücreye bağımlı tedaviler, özellikle miyokard enfarktüsü gibi acil tıbbi müdahaleye ihtiyaç duyulan durumlar için sorun teşkil eden yavaş yanıt süreleri nedeniyle eleştirilirken eksozomal tedaviler daha hızlı gerçekleşebilir (Miron & Zhang, 2024). Eksozomlar küçük boyutları sayesinde pulmoner vasküler yatakta sınırlı tutularak sistemik dolaşıma hızlı geçebilir ve böylece hedef dokulara daha etkin şekilde ulaşabilirler. Ayrıca eksozomların içeriği hücre kaynağı, laboratuvar ortamı, mekanik uyarm vb. ile büyük ölçüde değiştirilebilir (Miron & Zhang, 2024). Eksozomların hücre tedavisine göre avantajları şöyle sıralanabilir:

1. Bu kesecikler, uzun süreli depolama sonrasında biyolojik aktiviterini büyük ölçüde koruyabilirler (Miron & Zhang, 2024),
2. Eksozomlar, yüzeyleri vücut hücrelerinin yüzeylerine benzediği için hedef hücrelerle, çözünür biyolojik faktörlere kıyasla daha etkin etkileşime girebilirler (Markov, Oshchepkova, & Mironova, 2019),

3. Eksozomlar hücrelerden çok daha küçük oldukları için kılcal damarlar ve kan-beyin bariyeri gibi çeşitli bariyerler boyunca serbestçe hareket edebilirler (Ye, Wang, & Mao, 2020),
4. Eksozomlar kolaylıkla manipüle edilebilir ve mühendislik yoluyla değiştirilebilir (Hosseini, Dalirfardouei, Aliramaei, & Najafi, 2022),
5. Eksozom enjeksiyonu, hücre tedavisine göre daha kolaydır (Hosseini et al., 2022).

Eksozomların çoğu, Uluslararası Hücre ve Gen Terapisi Derneęi tarafından ayrıntılı olarak tanımlanmış olan MSC'lerden gelir (Dominici et al., 2006). Diş pulpası, deri, göbek kordonu, yaę dokusu ve kemik iliği de MSC'ler için potansiyel kaynaklardır (Álvarez-Viejo, 2020). Eksozomların hücreSEL kökeni, dağılımlarını ve bileşimlerini belirlemede önemli bir etkindir (Miron & Zhang, 2024). Farklı hücreSEL kaynaklardan gelen eksozomlar, farklı içerikler taşıyabilir. Tek bir büyüme faktörünün tüm dokuları yenilemek için gereken rolleri ve gereksinimleri karşılayamaması gibi, tek bir eksozom veya eksozom kaynağı da tüm doku tiplerini yenilemek için gereken rolleri karşılayamayabilir (Miron & Zhang, 2024). Bu nedenle, eksozomların çeşitli bireysel hastalıkların tedavisinde terapötik uygulaması için hangi eksozomun, hangi hücre kaynağının ve hangi kültür koşullarının veya izolasyon tekniğinin en etkili olduğunun bilinmesi gerekmektedir (Miron & Zhang, 2024).

Eksozomların makromoleküler bileşenleri

Eksozomların makromoleküler bileşenleri arasında proteinler, lipitler, haberci RNA'lar (mRNA'lar) ve mikroRNA'lar bulunur. Rab proteinleri (monomerik G proteinlerinin Ras süper ailesi) ve eksozomlarda bulunan diğer yaygın proteinler, diğer hücrelerin zarlarıyla kaynaşmalarına ve hedef proteinlerle bağlanmalarına yardımcı olur (Schorey & Bhatnagar, 2008). İntegrinler eksozomların yüzeyinde bulunur ve eksozomların belirli hedef hücrelerle kaynaşmasında önemli bir rol oynar (Théry, Zitvogel, & Amigorena, 2002). Eksozomlar proteinlere ek olarak bol miktarda lipit içerir. İzole edildikleri orijinal hücreye kıyasla, eksozomların lipit içeriği yaklaşık dört kat daha fazladır (Miron & Zhang, 2024). Fosfatidilserin, farklı fosfolipit taşıyıcı enzimler şeklinde, eksozomların plazma zarında bulunurken, sfingomiyelin ve GM3 öncelikle eksozom zarının sertliğinden sorumludur (Laulagnier et al., 2004). Bu tür lipitler ayrıca, eksozomların sinyal göndermesi ve plazma zarı ile kaynaşması için gerekli olan diş proteinlerin bağlanmasında da rol oynar (Piccin, Murphy, & Smith, 2007). Eksozom zarının hücre

dışında parçalanmaya karşı yüksek dayanıklı ve taşıyıcı olarak daha dayanıklı olmasını sağlayan sağlamlık ve sertliğin, zardaki yüksek miktarda sfingomiyelin ve doymamış lipidlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Ridder et al., 2014).

Rejeneratif Prosedürler

Eksozomlar, kararlılıkları ve sinyal moleküllerini güvenli şekilde iletmeleri sayesinde tıpta birçok hastalıkta tedavi amaçlı araştırılmaktadır.

Eksozomların kullanımı, kan-beyin bariyerini geçebilme ve çeşitli hücre ve doku fonksiyonlarını onarma potansiyeli sayesinde Alzheimer hastalığı, demans ve multipl skleroz dahil olmak üzere çeşitli bilişsel bozuklukları iyileştirdiği bilindiğinden birçok klinisyen, yaşlanmayı ve özellikle bilişsel işlevdeki gerilemeyi önlemek için eksozom tedavisi kullanımını araştırmaktadır (Lananna & Imai, 2021). Ekstraselüler veziküllerin sistemik yaşlanmayı ve iltihaplanma (ilerleyen yaşla birlikte ortaya çıkan kronik iltihaplanma), hücresel yaşlanma, metabolik disfonksiyon, kardiyovasküler hastalık, kanser ve nörodejenerasyon gibi çeşitli yaşa bağlı sorunları düzenlemede kritik rolünü doğrulayan çalışmalar bulunmaktadır (Kalluri & LeBleu, 2020; Prattichizzo et al., 2019; Shah, Patel, & Freedman, 2018). Eksozomal tedavilerin tıptaki uygulamaları şöyle sıralanabilir:

- Yaşlanma karşıtı tedaviler,
- Kemik yenilenmesi,
- Kıkırdak/eklem/tendon yenilenmesi,
- Deri yaraları tedavileri,
- Atopik dermatit, sedef, gibi dermatolojik hastalıklar ve cilt yenilenmesi,
- Saç yeniden uzaması,
- Omurilik yaralanması ve intervertebral disk onarımı,
- Enfeksiyon hastalıkları,
- Kanser tedavileri,
- İnfertilite, obezite, uyku apnesi gibi rahatsızlıkların tedavisi,
- Dental dokuların tedavisi (R. J. Miron, N. E. Estrin, A. Sculean, & Y. Zhang, 2024).

Diş hekimliğindeki eksozomal uygulamalar

En sık olarak diş pulpası, periodontal ligament hücreleri, diş eti fibroblastları, dökülen süt dişlerinden elde edilen kök hücreler ve apikal papilladan türetilen terapötik eksozomların, kemik, sement, periodontal ligament, sinirler, ortodontik diş hareketi ve temporomandibular eklem bozuklukları da dahil olmak üzere birçok dokunun rejenerasyonunu kolaylaştırdığı gösterilmiştir. Eksozomların diş hekimliğindeki potansiyel terapötik kullanımları şunlardır:

1. Anjiyogenez
2. Kemik yenilenmesi
3. Kanser tedavisi
4. Sementoblast rejenerasyonu
5. Endodonti/pulpa rejenerasyonu
6. Bağışıklık hücresi davranışı
7. Mezenkimal kök hücre davranışı
8. Sinir yenilenmesi
9. Oral patojenlerin kontrolü
10. Ortodontik diş hareketi/rezorpsiyonu
11. Periodontal hastalık/periodontitis
12. Temporomandibular eklem (TME) (Richard J Miron, Nathan E Estrin, Anton Sculean, & Yufeng Zhang, 2024)

İn vitro yayınlardan elde edilen bulgular, insan diş pulpası kök hücreleri (DPSC)'nin eksozomların en yaygın kaynağı olduğunu ve diğer kaynakların periodontal ligament hücreleri (PDLC), kemik iliği kök hücreleri (BMSC), apikal papilla kök hücreleri (SCAP) ve dökülen süt dişleri (SHED) olabileceğini bildirmiştir (Richard J Miron et al., 2024).

Endodontide eksosomal uygulamalar

Eksozomlar, kök hücrelerin odontojenik farklılaşmasını, endotel hücrelerinin proliferasyonunu ve farklılaşmamış mezenkimal kök hücrelerin sinir hücrelerine

farklılaşmasını kolaylaştıran karmaşık bir biyolojik basamağı tetikleyerek pulpa-dentin kompleksinin rejenerasyonuna yol açabilir (Chen, Wang, Lu, Yang, & Wu, 2023). Eksozomların hücre kökenleri, büyüme faktörleri, biyolojik iskeleler ve yetiştirme ortamı pulpa rejenerasyonunun etkinliğini etkileyebilecek faktörler arasındadır (Chen et al., 2023).

Huang ve ark.'nın çalışmasında insan diş pulpası kök hücrelerinden (hDPSC'ler) elde edilen eksozomların, özellikle yumuşak doku-dentin arayüzünde dentin matriks proteini 1 (DMP1) ve dentin fosforin (DPP) birikimini teşvik ederek, vaskülerleşmiş pulpa benzeri dokunun indükleyicileri olduğu ortaya konmuştur (Huang, Narayanan, Alapati, & Ravindran, 2016). Zhuang ve ark. da, apikal papilla kök hücrelerinden (SCAP'ler) gelen eksozomların, ALP gibi genel osteojenik belirteçleri önemli ölçüde değiştirmeden Dentin Sialofosfoproteinini (DSPP) düzenlediğini ve bunun sonucunda odontoblast benzeri hücrelerle kaplı sürekli yeni bir dentin tabakasının oluştuğunu göstermiştir (Zhuang et al., 2020).

Eksozomların endodontideki terapötik uygulamasına ilişkin yapılmış klinik bir pilot çalışmada Guo ve ark. avülse daimi dişleri olan 15 pediatrik hastada pulpa boşluğuna deselülerize edilmiş bir diş matrisine (DTM) entegre edilmiş SHED agregatlarını kullanmış ve 24 ay takip etmiştir. Bu hastalarda, termal ve elektriksel pulpa duyarlılığının tamamen geri kazanılmasının yanı sıra, kök gelişiminin devam ettiği ve kök uzunluğunun arttığı bildirilmiştir (Guo et al., 2021). Ayrıca eksozom salgılayan agregatların implantasyonunu takiben sistemik toksisite veya olumsuz bağışıklık reaksiyonlarının bulunmadığı da eksozomların önemli bir avantajı olarak görülmüştür (Guo et al., 2021). Fareler üzerinde yapılmış bir çalışmada eksozom aracılı rejenerasyonda, herhangi bir ektopik mineralizasyon veya inflamatuvar infiltrasyon olmadan vaskülerleşmiş pulpa benzeri dokunun üretildiği bildirilmiştir (Huang et al., 2016). Benzer şekilde, köpekler üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, ekstraselüler vezikül uygulamasının üç aylık takip sonunda konak endotel hücrelerinin bölgeye göçünü desteklediği ve periapikal dokularda herhangi bir olumsuz lokal yanıt oluşturmadığı bildirilmiştir (Li et al., 2022). Yapılan çalışmalar ekstraselüler veziküllerin canlı hücre tedavilerine özgü tümör oluşumu, immün reddi ve patojen kontaminasyonu risklerini önemli ölçüde azalttıkları için doğrudan kök hücre naklinden daha yüksek bir güvenlik profili sunduğunu bildirmektedir (Merckx et al., 2020). Bu sonuç ekstraselüler veziküllerin, hücre bazlı tedavilerin biyolojik engelleri olmadan, öngörülebilir iyileşmeyi sağlayabilen hücre

içermeyen biyolojik sinyal taşıyıcıları olarak işlev gördüğü düşüncesini güçlendirmektedir (Godoi-Lopes et al., 2026).

Gelecek Önerileri

Eksozom araştırmalarının ilerlemesindeki engellerden biri, çeşitli çalışmalarda tekrarlanabilirliğin oldukça düşük olması ve uygun dokümantasyonun eksikliğidir (Miron & Zhang, 2024). Tekrarlanabilirliği, eleşitel yorumlamayı ve şeffaflığı artırmak için, bu alanda yayın yapan tüm yazarların en güncel MISEV yönergelerini takip etmeleri ve partikül izolasyonu ve nicelleşitme için kullanılan yöntemler hakkında tam açıklama yapmaları tavsiye edilmektedir (Van Deun et al., 2017). Ekstraselüler vezikül yükleme çalışmalarındaki tekdüzelik eksikliği ve literatürde kullanılan yöntemlerdeki çeşitlilik göz önüne alındığında, standart kaynaklar ve yönergeler seti oluşturmak için ekstraselüler vezikül topluluğu içinde daha fazla iş birliğine ihtiyaç vardır (Van Deun et al., 2017). Ayrıca pulpa-dentin kompleksinin güvenli ve etkili bir şekilde restorasyonunu sağlamak için yeterli güce sahip klinik çalışmalar gerekmektedir.

SONUÇ

Eksozomlar çeşitli alanlarda hastalıkları hedef alan tedavilerde ve doku rejenerasyonunda kullanılabilecek biyoaktif maddeler olarak potansiyel göstermektedir. Eksozomların doku onarımı ve rejenerasyon, hücreler arası iletişim ve bağışıklık düzenlemesi gibi birçok alanda önemli rol oynadığı bilindiğinden diş kök hücrelerinden türetilen eksozomların pulpa-dentin rejenerasyonu için oldukça umut vadeden bir biyomimetik araç olabileceği düşünölmektedir. Diş kök hücresi kaynaklı eksozomların doku onarımını destekleyen terapötik potansiyeli ve klinik kullanımları, canlı hücre muadillerine göre önemli avantajlar sunar. Toksik olmama, düşük immünojenite, yüksek stabilite, kolay saklama ve hazır ürün olarak üretilebilme potansiyeli, eksozomların hücresel muadillerine göre sahip olduğu avantajlardır.

KAYNAKÇA

- Álvarez-Viejo, M. (2020). Mesenchymal stem cells from different sources and their derived exosomes: a pre-clinical perspective. *World journal of stem cells*, 12(2), 100.
- Bunggulawa, E. J., Wang, W., Yin, T., Wang, N., Durkan, C., Wang, Y., & Wang, G. (2018). Recent advancements in the use of exosomes as drug delivery systems. *Journal of nanobiotechnology*, 16(1), 81.
- Chen, S., Wang, Z., Lu, H., Yang, R., & Wu, J. (2023). Crucial factors influencing the involvement of odontogenic exosomes in dental pulp regeneration. *Stem Cell Reviews and Reports*, 19(8), 2632-2649.
- Dominici, M., Le Blanc, K., Mueller, I., Slaper-Cortenbach, I., Marini, F., Krause, D., . . . Horwitz, E. (2006). Minimal criteria for defining multipotent mesenchymal stromal cells. The International Society for Cellular Therapy position statement. *Cytotherapy*, 8(4), 315-317.
- Ghosh, A., Davey, M., Chute, I. C., Griffiths, S. G., Lewis, S., Chacko, S., . . . Ouellette, R. J. (2014). Rapid isolation of extracellular vesicles from cell culture and biological fluids using a synthetic peptide with specific affinity for heat shock proteins. *PLoS One*, 9(10), e110443. doi:10.1371/journal.pone.0110443
- Godoi-Lopes, J., Ribeiro-Silva, V. H. A., Candido do Prado, L. G., Petean, I. B. F., Magri, L. V., Lopes-Olhê, F. C., . . . Mazzi-Chaves, J. F. (2026). Efficacy of dental stem cell-derived exosomes for pulp regeneration: a systematic review of clinical, animal, and in vitro studies. *Mol Biol Rep*, 53(1). doi:10.1007/s11033-026-11547-x
- Guo, H., Li, B., Wu, M., Zhao, W., He, X., Sui, B., . . . Huang, X. (2021). Odontogenesis-related developmental microenvironment facilitates deciduous dental pulp stem cell aggregates to revitalize an avulsed tooth. *Biomaterials*, 279, 121223.
- Hosseini, N. F., Dalirfardouei, R., Aliramaei, M. R., & Najafi, R. (2022). Stem cells or their exosomes: which is preferred in COVID-19 treatment? *Biotechnology letters*, 44(2), 159-177.
- Huang, C.-C., Narayanan, R., Alapati, S., & Ravindran, S. (2016). Exosomes as biomimetic tools for stem cell differentiation: applications in dental pulp tissue regeneration. *Biomaterials*, 111, 103-115.
- Kalluri, R., & LeBleu, V. S. (2020). The biology, function, and biomedical applications of exosomes. *Science*, 367(6478). doi:10.1126/science.aau6977
- Lananna, B. V., & Imai, S. I. (2021). Friends and foes: Extracellular vesicles in aging and rejuvenation. *FASEB Bioadv*, 3(10), 787-801. doi:10.1096/fba.2021-00077
- Laulagnier, K., Motta, C., Hamdi, S., Roy, S., Fauvelle, F., Pageaux, J.-F., . . . Bonnerot, C. (2004). Mast cell-and dendritic cell-derived exosomes display a specific lipid composition and an unusual membrane organization. *Biochemical Journal*, 380(1), 161-171.
- Li, Z., Wu, M., Liu, S., Liu, X., Huan, Y., Ye, Q., . . . Huang, X. (2022). Apoptotic vesicles activate autophagy in recipient cells to induce angiogenesis and dental pulp regeneration. *Molecular Therapy*, 30(10), 3193-3208.

- Markov, O., Oshchepkova, A., & Mironova, N. (2019). Immunotherapy based on dendritic cell-targeted/-derived extracellular vesicles—a novel strategy for enhancement of the anti-tumor immune response. *Frontiers in pharmacology*, 10, 1152.
- Meldolesi, J. (2018). Exosomes and ectosomes in intercellular communication. *Current Biology*, 28(8), R435-R444.
- Merckx, G., Hosseinkhani, B., Kuypers, S., Deville, S., Irobi, J., Nelissen, I., . . . Bronckaers, A. (2020). Angiogenic effects of human dental pulp and bone marrow-derived mesenchymal stromal cells and their extracellular vesicles. *Cells*, 9(2), 312.
- Miron, R. J., Estrin, N. E., Sculean, A., & Zhang, Y. (2024). Understanding exosomes: Part 2-Emerging leaders in regenerative medicine. *Periodontol 2000*, 94(1), 257-414. doi:10.1111/prd.12561
- Miron, R. J., Estrin, N. E., Sculean, A., & Zhang, Y. (2024). Understanding exosomes: Part 3—therapeutic+ diagnostic potential in dentistry. *Periodontology 2000*, 94(1), 415-482.
- Miron, R. J., & Zhang, Y. (2024). Understanding exosomes: Part 1—Characterization, quantification and isolation techniques. *Periodontology 2000*, 94(1), 231-256.
- Piccin, A., Murphy, W. G., & Smith, O. P. (2007). Circulating microparticles: pathophysiology and clinical implications. *Blood reviews*, 21(3), 157-171.
- Prattichizzo, F., Giuliani, A., Sabbatinelli, J., Mensà, E., De Nigris, V., La Sala, L., . . . Ceriello, A. (2019). Extracellular vesicles circulating in young organisms promote healthy longevity. *J Extracell Vesicles*, 8(1), 1656044. doi:10.1080/20013078.2019.1656044
- Ridder, K., Keller, S., Dams, M., Rupp, A.-K., Schlaudraff, J., Del Turco, D., . . . Devraj, K. (2014). Extracellular vesicle-mediated transfer of genetic information between the hematopoietic system and the brain in response to inflammation. *PLoS biology*, 12(6), e1001874.
- Schorey, J. S., & Bhatnagar, S. (2008). Exosome function: from tumor immunology to pathogen biology. *Traffic*, 9(6), 871-881.
- Shah, R., Patel, T., & Freedman, J. E. (2018). Circulating Extracellular Vesicles in Human Disease. *N Engl J Med*, 379(10), 958-966. doi:10.1056/NEJMr1704286
- Théry, C., Zitvogel, L., & Amigorena, S. (2002). Exosomes: composition, biogenesis and function. *Nature reviews immunology*, 2(8), 569-579.
- Van Deun, J., Mestdagh, P., Agostinis, P., Akay, Ö., Anand, S., Anckaert, J., . . . Hendrix, A. (2017). EV-TRACK: transparent reporting and centralizing knowledge in extracellular vesicle research. *Nat Methods*, 14(3), 228-232. doi:10.1038/nmeth.4185
- Ye, Q., Wang, B., & Mao, J. (2020). The pathogenesis and treatment of the Cytokine Storm in COVID-19. *Journal of infection*, 80(6), 607-613.
- Zhang, Y., Liu, Y., Liu, H., & Tang, W. H. (2019). Exosomes: biogenesis, biologic function and clinical potential. *Cell & bioscience*, 9(1), 19.

Zhuang, X., Ji, L., Jiang, H., Liu, Y., Liu, X., Bi, J., . . . Chen, X. (2020). Exosomes derived from stem cells from the apical papilla promote dentine-pulp complex regeneration by inducing specific dentinogenesis. *Stem cells international*, 2020(1), 5816723.

BÖLÜM 11

KÖK KANAL TEDAVİSİNDE ANKSİYETE: TETİKLEYİCİLER, KLİNİK ETKİLER VE YÖNETİM

Mehmet Eren GÜNNER¹

¹ Araştırma Görevlisi, Selçuk Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Konya, Türkiye. ORCID ID: 0009-0004-0792-5118.

1. Giriş

Kök kanal tedavisine ilişkin anksiyete, yalnızca tedavi öncesindeki genel kaygı düzeyini değil; tanısal işlemlere, lokal anesteziye, giriş kavitesine, kanal preparasyonuna ve tedavi sonrasındaki ağrı beklentisine verilen yanıtları da etkileyebilen klinik bir değişkendir (Khan vd., 2016; LeClaire vd., 1988; Murillo-Benítez vd., 2020; Vitali vd., 2024). Endodontik hastalar kliniğe sıklıkla ağrı, uykusuzluk, yeme güçlüğü veya şişlik gibi akut yakınmalarla başvurduğundan, mevcut hastalığın oluşturduğu biyolojik yük ile tedaviye ilişkin tehdit beklentisi aynı anda değerlendirilmelidir (Dou vd., 2018; Haug vd., 2024; Wu vd., 2022). Bu nedenle endodontik anksiyete, genel dental anksiyetenin basit bir alt başlığı olarak değil, pulpal/periapikal semptomlar ile kök kanal tedavisine özgü duyuşsal, bilişsel ve öğrenilmiş tetikleyicilerin kesiştiği bir klinik durum olarak ele alınmalıdır (Carter, Carter ve George, 2015; Chen vd., 2020; Khan vd., 2016).

Yetişkinlerde dental korku ve anksiyetenin tahmini prevalansı, kullanılan ölçek ve eşik değerine göre değişmektedir; meta-analizde genel dental korku/anksiyete %15,3, yüksek düzey %12,4 ve şiddetli düzey %3,3 olarak hesaplanmıştır (Silveira vd., 2021). Cerrahi olmayan kök kanal tedavisine odaklanan sistematik derlemede tedavi öncesi anksiyetenin ortalama olarak orta düzeyde olduğu ve tedavi sonrasında normalize puanın yaklaşık %30 azaldığı bildirilmiştir (Khan vd., 2016). Beklenen ağrının çoğu çalışmada deneyimlenen ağrıdan yüksek bulunması ve gelecekteki kök kanal tedavisine yönelik anksiyetenin başarılı bir deneyimden sonra azalması, tehdidin önemli bir bölümünün işlem öncesi beklentilerden kaynaklandığını düşündürmektedir (Chandraweera vd., 2019; Perković vd., 2014; Watkins vd., 2002).

2. Endodontik Anksiyetenin Kavramsal Sınırları

Korku, belirli ve yakın bir tehde verilen tepkiyi; anksiyete ise henüz gerçekleşmemiş bir olaya ilişkin belirsizlik, endişe ve olumsuz beklentiyi ifade eder (Appukuttan, 2016; Beaton vd., 2014; Khan vd., 2016). Endodontik bağlamda enjeksiyon, ağrılı dişe perküsyon uygulanması veya kanal eğelerinin hissedilmesi belirli korku uyaranları olabilirken, “anestezinin tutmayacağı” ya da “işlemin dayanılmaz olacağı” düşüncesi daha çok beklentiye dayalı anksiyeteyi yansıtır (LeClaire vd., 1988; Murillo-Benítez vd., 2020). Dental fobi, yoğun korkuya belirgin kaçınmanın, ciddi sıkıntının veya işlev kaybının eşlik ettiği klinik düzeyi tanımlar; tek bir yüksek anksiyete puanı tek başına fobi tanısı koydurmaz (Appukuttan, 2016; Oosterink vd., 2009). Bu ayrım yönetimi de belirler: özgül bir enjeksiyon korkusu hedefe yönelik maruz bırakma ve gevşeme yöntemleriyle ele alınabilirken, yaygın ve işlev

bozucu kaçınma psikolojik değerlendirme ve gerektiğinde sedasyon konusunda yetkin bir ekiple iş birliği gerektirebilir (Armfield ve Heaton, 2013; Heaton vd., 2013; Hoffmann vd., 2022).

Endodontik randevuda ölçülen anksiyete, hastanın daha kalıcı kaygı eğilimi ile o günkü ağrı, ilk tedavi seansı ve beklenen işlem gibi durumsal etkenlerin bileşkesidir (Alroomy vd., 2020; Anatürk vd., 2025). STAI'nin durumluk ve süreklilik alt ölçeklerini birlikte kullanan endodontik çalışmalarda bu iki bileşenin aynı hastada farklı düzeylerde olabildiği gösterilmiştir (Anatürk vd., 2025). Daha önce kök kanal tedavisi görmemiş, yeni bir tedavi için gelen veya ağrı bildiren hastalarda anksiyetenin daha sık görülmesi, klinik bağlamın durumluk anksiyete üzerindeki etkisini desteklemektedir (Alroomy vd., 2020). Bu nedenle klinik değerlendirme, yalnızca tek bir toplam puana değil, hastanın genel kaygı eğilimine, o günkü semptomlarına ve ilk seans olup olmadığına birlikte odaklanmalıdır (Alroomy vd., 2020; Anatürk vd., 2025).

3. Kök Kanal Tedavisinde Anksiyetenin Başlıca Kaynakları

3.1. Kök Kanal Tedavisinin Toplumsal İmgesi ve Önceki Deneyim

“Kanal tedavisi” ifadesi, kişisel deneyim bulunmasa bile ağrı ve rahatsızlıkla ilişkilendirilebilmektedir (Khan vd., 2016; Wong ve Lytle, 1991). Kök kanal tedavisi ile oral cerrahinin karşılaştırıldığı çalışmada, işlem hakkında olumsuz öykü duyanların ilgili tedaviye yönelik anksiyetesi daha yüksek bulunmuş; gerçek kök kanal tedavisi deneyimi olanların değerlendirmeleri ise tedavi görmeyenlerin beklentilerinden daha olumlu olmuştur (Wong ve Lytle, 1991). Benzer biçimde, ilk endodontik randevuya gelen hastalarda anksiyetenin tedaviye devam eden hastalardan daha sık olması, bilinmezlik ve deneyimsizliğin önemini göstermektedir (Alroomy vd., 2020). Bu bulgular, endodontik korkunun yalnızca yaşanmış ağrıdan değil, başkalarından aktarılan bilgiler ve işlem öncesinde kurulan zihinsel senaryolardan da beslendiğini göstermektedir (Carter, Carter ve George, 2015; Chen vd., 2020).

Başarılı bir endodontik deneyimin korkuyu azaltabildiği bildirilmiştir (Alghofaily ve Alsalleeh, 2022; Khan vd., 2016). Tedavi sonrasında hastaların %93,9’unda korkunun azaldığı veya değişmediği ve %96,3’ünün dişi korumak amacıyla yeniden kök kanal tedavisini kabul edeceği bildirilmiştir (LeClaire vd., 1988). Yapılmış olan bir sistematik derlemede de tedavi öncesi normalize anksiyete puanının tedavi sonrasında yaklaşık %30 azaldığı gösterilmiştir (Khan vd., 2016). Daha önce kaçınma yaşamış ancak korkusu azalmış bireylerde olumlu dental deneyimlerin daha fazla olması, güvenli deneyimin öğrenilmiş

korkunun güncellenmesine katkıda bulunabileceğini desteklemektedir (Liddell ve Locker, 2000). Bu nedenle ilk endodontik seans, yalnızca mevcut dişin tedavisi değil, hastanın sonraki dental başvuru davranışını biçimlendirebilecek bir öğrenme deneyimidir (Khan vd., 2016; Liddell ve Locker, 2000).

3.2. Endodontiye Özgü Prosedürel ve Duyusal Tetikleyiciler

Endodontik anksiyete tek bir uyararla açıklanamaz; tanısal ve operatif aşamalar farklı duyuşsal ve bilişsel tetikleyiciler içerir (LeClaire vd., 1988). Endodontik Korku Anketi'nde ağırlı diş vurma/basınç uygulanması, enjeksiyon ve kanal eğelerinin hissedilmesi en rahatsız edici unsurlar arasında yer alırken, rubber dam ve randevu süresi ortalama olarak daha düşük puan almıştır (LeClaire vd., 1988). Daha güncel bir endodontik çalışmada da enjektör ve keskin aletlerin görüntüsü, kavite hazırlığındaki ses ve titreşimler, öğürme veya boğulma endişesi ve ağırlı beklentisi olası anksiyete kaynakları olarak tanımlanmıştır (Anatürk vd., 2025). Bu veriler, tanı sırasında perküsyon ve pulpa testinden başlayıp lokal anestezi, rubber dam, giriş kavitesi, kanal preparasyonu ve işlem süresine uzanan aşamaların ayrı ayrı sorgulanması gerektiğini göstermektedir (Anatürk vd., 2025; LeClaire vd., 1988).

Ancak ortalama sıralamalar her hastanın korku örüntüsünü yansıtmaz; yüksek dental anksiyeteli yetişkinlerde dahi farklı öğrenme öyküleri ve tercih edilen tedavi koşullarıyla ayrıışan alt gruplar tanımlanmıştır (Kajita vd., 2025). Bir hastada enjeksiyon korkusu baskınken başka bir hastada kontrol kaybı, ağırlı beklentisi veya uzun süre ağız açık tutma daha belirleyici olabilir (Appukuttan, 2016; LeClaire vd., 1988). Bu nedenle “Kök kanal tedavisinden korkuyor musunuz?” sorusu, “En çok hangi aşama sizi endişelendiriyor?” sorusuyla tamamlanmalıdır (Appukuttan, 2016; Carter, Carter ve George, 2015). Tetikleyicinin açık biçimde belirlenmesi, yönetimin genel güvence yerine hastaya özgü bir müdahaleye dönüştürölmesini sağlar (Armfield ve Heaton, 2013; Kajita vd., 2025).

3.3. Preoperatif Ağrı ve Semptomatik Pulpal Hastalık

Endodontik hastanın anksiyetesi çoğu zaman tedaviden önce başlayan ağırlı ve işlev kaybından bağımsız değildir (Alroomy vd., 2020; Dou vd., 2018; Wu vd., 2022). Endodontik acil hastalarında ağırlıya uykusuzluk, yeme güçlüğü ve şişlik eşlik edebilmekte; bu semptomlar hastanın tehdit algısını ve aciliyet hissini artırabilmektedir (Haug vd., 2024). İrreversibl pulpitisli yetişkinlerde orta veya yüksek dental anksiyete sık görölmüş; yakın dönemdeki ağırlı dental deneyim ve mevcut ağırlı düzeyi daha yüksek anksiyete ile ilişkili bulunmuştur (Dou vd., 2018). Bu oranlar genel toplum prevalansı olarak değil, ağırlı nedeniyle başvuran

seçilmiş bir endodontik hasta grubunun özelliği olarak yorumlanmalıdır (Dou vd., 2018; Silveira vd., 2021).

Anksiyete beklenen ağrıyı ve ağrılı uyaranlara yönelen dikkati artırabilir, ancak bu ilişki hastanın bildirdiği ağrının “yalnızca psikolojik” olduğu anlamına gelmez (Perković vd., 2014; Vitali vd., 2024). Benzer biçimde şiddetli ağrı sırasında gözlenen huzursuzluk, tek başına yerleşik dental fobi olarak yorumlanmamalıdır (Appukuttan, 2016; Oosterink vd., 2009). Anamnezde mevcut ağrı, önceki endodontik deneyim ve tedaviye ilişkin korku ayrı sorularla değerlendirilmelidir (Alroomy vd., 2020; Appukuttan, 2016).

3.4. Kontrol Kaybı ve Öngörülemezlik

Kök kanal tedavisi, hastanın kontrol ve öngörülebilirlik algısını azaltabilen bir işlem düzenine sahiptir (Armfield vd., 2008; LeClaire vd., 1988). Hastanın işlem alanını görememesi, rubber dam altında sözlü iletişimin kısıtlanması ve kanal içinde yürütölen aşamaları kendiliğinden izleyememesi, belirsizlik duygusunu artırabilir (Anatürk vd., 2025; LeClaire vd., 1988). Bilişsel kırılganlık modeli, dental durumun kontrol edilemez, öngörülemez ve tehlikeli olarak algılanmasının yüksek dental korkuyla ilişkili olduğunu göstermektedir (Armfield vd., 2008). Endodontik bağlamda bu algı, anestezinin yetersiz kalacağı, ağrının bildirilemeyeceği veya işlemin beklenenden uzun süreceği düşünceleriyle güçlenebilir (Alroomy vd., 2020; Murillo-Benítez vd., 2020).

3.5. Endodontik Korkunun Öğrenilme Yolları

Kök kanal tedavisine ilişkin korku doğrudan travmatik deneyim, başkalarından edinilen bilgi, ebeveyn etkisi, sözel tehdit veya görsel-dolaylı öğrenme yoluyla gelişebilir (Carter, Carter ve George, 2015; Davey, 1989). Endodontik hastalarda bilişsel koşullanma ve ebeveyn yolu öne çıkmış; kadınların bilgilendirici, ebeveyn, sözel tehdit ve dolaylı yollardan daha sık etkilendiği bildirilmiştir (Carter, Carter ve George, 2015).

Doğrudan ağrılı bir deneyimi olan hastada önceki olayın hangi aşamada gerçekleştiği, başkalarının anlatılarından etkilenen hastada ise duyulan öykünün içeriği sorgulanmalıdır (Carter, Carter ve George, 2015). “Daha önce anestezi yetersiz kaldı mı?”, “Kanal tedavisi hakkında sizi en çok etkileyen bilgi neydi?” ve “Çevrenizden hangi öyküleri duydunuz?” gibi sorular, korkunun kökenini ve güncel tetikleyicisini ayırmaya yardımcı olabilir (Carter, Carter ve George, 2015; Chen vd., 2020). Önceki olumsuz deneyimin ayrıntılandırılması, yeni randevuda hangi davranışsal ve iletişimsel düzenlemelerin gerekli olduğunu belirlemeyi kolaylaştırır (Appukuttan, 2016; Davey, 1989).

4. Endodonti Kliniğinde Anksiyetenin Değerlendirilmesi

4.1. Endodontik Görüşme ve Tetikleyici Haritalaması

Anksiyete değerlendirmesi endodontik anamnezin doğal bir parçası olmalıdır (Appukuttan, 2016; Khan vd., 2016). Önceki kök kanal tedavileri, bu tedavilerde yaşanan ağrı, lokal anestezi güçlüğü, randevu erteleme veya iptali ve tedavinin tamamlanıp tamamlanmadığı sorgulanmalıdır (Alroomy vd., 2020; Dou vd., 2018; Wong ve Lytle, 1991). O günkü başvuruda preoperatif ağrı, beklenen işlem ağrısı, enjeksiyon korkusu, perküsyon ve pulpa testine ilişkin endişe, rubber dam, kanal aletlerinin hissedilmesi ve işlem süresi ayrı başlıklar halinde değerlendirilmelidir (LeClaire vd., 1988; Watkins vd., 2002). Kısa bir tetikleyici haritası, toplam anksiyete puanının açıklayamadığı endodontiye özgü korku içeriğini görünür kılar (Carter, Carter ve George, 2015; Kajita vd., 2025).

Davranışsal gözlem yararlı olmakla birlikte tek başına yeterli değildir (Appukuttan, 2016). Hızlı konuşma, terleme, kas gerginliği, koltuğa oturmada isteksizlik veya aynı soruyu tekrarlama anksiyete işareti olabilir; ancak hastanın dışarıdan sakin görünmesi düşük anksiyete düzeyini garanti etmez (Appukuttan, 2016; Perković vd., 2014). Diş hekimlerinin hasta anksiyetesini değerlendirmesi ile hastanın öz-bildirimi arasında ilişki bulunsa da, öz-bildirim daha doğrudan bilgi sağlar (Perković vd., 2014). Bu nedenle kısa bir ölçek, yapılandırılmış endodontik sorular ve klinik gözlem birlikte kullanılmalıdır (Appukuttan, 2016; Armfield ve Heaton, 2013).

4.2. Ölçekler ve Endodontik Kullanımları

Ölçekler psikiyatrik tanı koymak için değil, anksiyetenin şiddetini taramak ve zaman içindeki değişimi izlemek için kullanılır (Appukuttan, 2016; Facco vd., 2011). Endodonti kliniğinde VAS-A veya MDAS genel şiddeti hızlı biçimde gösterebilir; Endodontik Korku Anketi ise perküsyon, pulpa testi, radyografi, enjeksiyon, rubber dam ve kanal eğeleri gibi özgül uyaranları ayırt edebilir (İlgüy vd., 2005; LeClaire vd., 1988; Luyk vd., 1988). Tek bir toplam puanın, korkunun kaynağını ve klinik fobi ölçütlerini tek başına göstermediği unutulmamalıdır (Appukuttan, 2016; Oosterink vd., 2009). Başlıca araçlar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Endodontik hastalarda kullanılabilecek anksiyete değerlendirme araçları

Araç	Yapı	Endodontik katkısı	Temel sınırlılık
Dental Anksiyete Skalası (DAS) (Corah, 1969)	Dört maddelik genel dental anksiyete ölçeği	Kısa tarama ve tarihsel karşılaştırma sağlar	Enjeksiyonu ve endodontik tetikleyicileri ayırmaz
Modifiye Dental Anksiyete Skalası (MDAS) (İlgüy vd., 2005)	Beş madde; enjeksiyon maddesi eklenmiştir	Hızlı uygulanır; Türkçe geçerlik ve güvenilirliği gösterilmiştir	Rubber dam, kanal aleti ve işlem ağrısını ayırmaz
Görsel Analog Anksiyete Skalası (VAS-A) (Facco vd., 2011; Luyk vd., 1988)	Tek maddelik 0–10 cm veya 0–100 mm çizgi	O andaki anksiyete ve seanslar arası izlem için uygundur	Tetikleyicinin içeriğini ve klinik fobiyi belirlemez
Endodontik Korku Anketi (LeClaire vd., 1988)	Tanı ve tedavi aşamalarına özgü maddeler	Perküsyon, pulpa testi, radyografi, enjeksiyon, rubber dam ve kanal eğelerini ayırır	Güncel dil ve farklı kültürler için yeniden doğrulama gerektirir

Not. Genel ölçekler anksiyetenin şiddetini, Endodontik Korku Anketi ise tetikleyicinin içeriğini gösterir; ölçek sonuçları kısa bir endodontik görüşmeyle birlikte yorumlanmalıdır.

5. Anksiyetenin Endodontik Tedavi Sürecine Etkileri

5.1. Tedaviden Kaçınma ve Acil Endodontik Başvuru

Dental korku ve anksiyetenin en belirgin davranışsal sonuçlarından biri tedaviyi erteleme veya tedaviden kaçınmadır (Appukuttan, 2016; Armfield vd., 2007). Korku nedeniyle düzenli kontrollerin gecikmesi, hastanın ancak ağrı veya ileri tedavi gereksinimi ortaya çıktığında başvurmasına yol açabilir (Armfield vd., 2007; Silveira vd., 2021). Bu örüntü, kötüleşen ağız sağlığı ve daha invaziv tedavi gereksiniminin yeni olumsuz deneyimler üreterek korkuyu pekiştirdiği “dental korkunun kısır döngüsü” ile açıklanmaktadır (Armfield vd., 2007). Türkiye’de restoratif diş tedavisi için başvuran yetişkinlerde randevuyu erteleyenlerin MDAS puanları daha yüksek bulunmuş, ancak anksiyete ile DMFT, DMFS ve gingival indeks arasında anlamlı ilişki saptanmamıştır (Saba ve Katirci, 2023).

Endodontik açıdan kaçınmanın önemli sonucu, hastanın ilk karşılaşmasının elektif bir randevu yerine akut ağrı altında gerçekleşebilmesidir (Dou vd., 2018; Haug vd., 2024). Bununla birlikte her gecikme anksiyeteden kaynaklanmaz; maliyet, erişim, zaman ve tedaviye ilişkin diğer engeller de başvuru davranışını etkileyebilir (Chandraweera vd., 2019; Lee vd., 2024). Bu nedenle klinik yaklaşım hastayı suçlamak yerine gecikmenin nedenini belirlemeli, akut ağrı kontrolü ile uzun dönem bakım planını birlikte kurmalıdır (Armfield ve Heaton, 2013; Haug vd., 2024).

5.2. Tanısal İşlemler ve Hastanın Yanıtı

Endodontik tanı, ağrı öyküsü ile pulpa duyarlılık testleri, perküsyon, palpasyon ve radyografik bulguların birlikte yorumlanmasını gerektirir (Haug vd., 2024). Anksiyeteli hasta özellikle ağrılı dişe vurma/basınç uygulanması, elektrikli pulpa testi veya intraoral radyografin yerleştirilmesi sırasında belirgin gerginlik gösterebilir; bu uyarıların tümü Endodontik Korku Anketi'nde ayrı maddeler olarak yer almaktadır (LeClaire vd., 1988). Perküsyon ve pulpa testinin yüksek korku puanı alabilmesi, tanısal aşamanın da anksiyete yönetiminin bir parçası olduğunu göstermektedir (LeClaire vd., 1988). Bu durum testlerin atlanmasını değil, sırasının ve açıklamasının dikkatle planlanmasını gerektirir (Appukuttan, 2016; Armfield ve Heaton, 2013).

Önce ağrısız bir kontrol dışında test yapılması, uyarının kısa ve kontrollü uygulanacağını açıklanması ve aynı ağrılı testin gereksiz tekrarıdan kaçınılması, tanısal iş birliğini artırmaya yönelik makul düzenlemelerdir (Appukuttan, 2016; Armfield ve Heaton, 2013). Hastaya test sırasında kullanabileceği bir durdurma işareti verilmesi, kontrol algısını güçlendirebilir (Appukuttan, 2016; Armfield vd., 2008). Anksiyete klinik tanının yerine geçmemeli; ağrı bildirimi de “yalnızca psikolojik” olarak değerlendirilmemelidir (Dou vd., 2018; Murillo-Benítez vd., 2020).

5.3. Beklenen Ağrı ve İntraoperatif Ağrı

Kök kanal tedavisinde beklenen ağrı, deneyimlenen ağrıdan daha yüksek olabilir (Chandraweera vd., 2019; Perković vd., 2014; Watkins vd., 2002). Hastaların %43'ünün tedavi öncesinde yüksek ağrı beklediği, ancak tedavi sırasında yüksek ağrı yaşayanların oranının %22 olduğu bildirilmiştir (Watkins vd., 2002). Hastaların beklenen ağrı puanlarının işlem sırasında yaşanan ağrıdan anlamlı düzeyde yüksek olduğu ve tedavi sonrasında gelecekteki kök kanal tedavisine ilişkin anksiyetenin azaldığı da gösterilmiştir (Chandraweera vd., 2019; Perković vd., 2014). Bu bulgular, “Hiç ağrı olmayacak” biçimindeki mutlak

güvenceden çok, ağrının izleneceği ve gerektiğinde müdahale edileceği yönünde gerçekçi bilgi verilmesini desteklemektedir (van Wijk ve Hoogstraten, 2006).

Anksiyete ile intraoperatif ağrı arasında klinik olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Murillo-Benítez vd., 2020). Anksiyetenin orta veya şiddetli intraoperatif ağrı olasılığıyla ilişkili olduğu ve anksiyete puanı ile işlem sırasındaki ağrı arasında pozitif korelasyon bulunduğu bildirilmiştir (Murillo-Benítez vd., 2020). Buna karşılık daha küçük bir endodontik çalışmada anksiyete beklenen ağrıyla ilişkili bulunurken gerçek işlem ağrısıyla anlamlı ilişki göstermemiştir (Perković vd., 2014). Bu farklılıklar, anksiyete-ağrı ilişkisinin örneklem, ölçüm aracı ve klinik bağlama göre değişebileceğini; ancak yüksek anksiyetenin ağrı yönetiminde dikkate alınması gereken bir risk göstergesi olduğunu düşündürmektedir (Khan vd., 2016; Murillo-Benítez vd., 2020).

5.4. Lokal Anestezi ve Semptomatik İrreversibl Pulpitis

Semptomatik irreversible pulpitisli dişlerde derin pulpal anestezi sağlamak, inflamatuvar durum ve klinik özellikler nedeniyle güçleşebilir (Dou vd., 2018). Anksiyete bu güçlüğün tek nedeni değildir ve anksiyolitik yaklaşım yeterli lokal anestezinin yerine geçmez (Appukuttan, 2016; Dou vd., 2018). Bununla birlikte “anestezi yine tutmayacak” beklentisi, enjeksiyon öncesi gerginliği ve işlem sırasındaki duyumlara yönelen dikkati artırabilir (Appukuttan, 2016; Murillo-Benítez vd., 2020). Bu nedenle lokal anestezi planı, biyolojik ve teknik gerekliliklerle birlikte hastanın önceki anestezi deneyimini ve beklentisini de içermelidir (Dou vd., 2018; Murillo-Benítez vd., 2020).

5.5. Rubber Dam, Giriş Kavitesi ve Kanal Preparasyonu

Rubber dam endodontik işlemin rutin bir parçası olmasına karşın bazı hastalarda klemp basısı, konuşamama ve kontrol kaybı endişesi oluşturabilir (LeClaire vd., 1988). Endodontik Korku Anketi’nde rubber damın kendisi ortalama olarak en yüksek korku kaynaklarından biri değildir, buna karşın klemp yerleştirilmesi daha yüksek rahatsızlık puanı alabilmiştir (LeClaire vd., 1988). Bu nedenle anksiyete gerekçesiyle izolasyondan vazgeçmek yerine, rubber damın amacı açıklanmalı, yerleştirme öncesinde iletişim ve durdurma işareti kararlaştırılmalıdır (Appukuttan, 2016; Armfield ve Heaton, 2013). Gerekli hastalarda kısa bir prova yapılması, bilinmezliği azaltmaya yardımcı olabilir (Armfield vd., 2008).

Yüksek anksiyete, daha fazla açıklama ve mola gereksinimi, kas gerginliği veya tedavi akışında kesintilerle birlikte görülebilir (Appukuttan, 2016; Hoffmann vd., 2022). Bununla birlikte mevcut klinik kanıtlar, anksiyetenin alet kırılması, perforasyon veya diğer teknik komplikasyonların bağımsız nedeni olduğunu göstermemektedir. Bu nedenle anksiyete teknik

başarısızlığın doğrudan nedeni olarak değil, kooperasyonu ve işlem akışını etkileyebilen bir klinik değiştirici olarak değerlendirilmelidir (Appukuttan, 2016; Armfield ve Heaton, 2013).

5.6. Tedavi Sonrası Ağrı, Hatırlanan Deneyim ve Sonraki Randevu

Hastanın kök kanal tedavisine ilişkin kalıcı yargısı, işlem sırasındaki deneyimin yanı sıra postoperatif dönemdeki ağrı ve belirsizlikten de etkilenir (Lee vd., 2024; Vitali vd., 2024). Dental anksiyete, dental korku ve önceki olumsuz deneyimlerin postoperatif ağrı üzerinde doğrudan veya dolaylı etkileri bildirilmiştir (Vitali vd., 2024). Bu nedenle beklenen hassasiyet, analjezik planı, olağan iyileşme belirtileri ve kliniğe yeniden başvurmayı gerektiren durumlar açık biçimde anlatılmalıdır (Armfield ve Heaton, 2013; Vitali vd., 2024). Açık bir takip planı, belirsizliği azaltarak normal duyumların yeni bir travmatik deneyim olarak kodlanma riskini sınırlayabilir (Davey, 1989; Liddell ve Locker, 2000).

6. Kök Kanal Tedavisinde Anksiyete Yönetimi

6.1. Randevu Öncesi Hasta Değerlendirmesi ve İlk Temas

Anksiyete yönetimi randevu oluşturulurken ve ilk temas sırasında başlar (Appukuttan, 2016; Armfield ve Heaton, 2013). Ağrı ile başvuran hastada aciliyet ve sistemik bulgular değerlendirilirken, önceki anestezi güçlüğü, belirgin enjeksiyon korkusu, sedasyon öyküsü ve yarıda kalmış tedaviler de kısa biçimde kaydedilmelidir (Dou vd., 2018; Haug vd., 2024). Yüksek anksiyeteli hastalarda uzun bekleme süreleri kaygıyı artırabileceğinden, mümkün olduğunda randevu akışı öngörülebilir ve acele edilmeyecek biçimde düzenlenmelidir (Appukuttan, 2016; Armfield ve Heaton, 2013). İlk temasta alınan bu bilgiler, sonraki iletişim, anestezi ve mola planının kişiselleştirilmesine olanak sağlar (Appukuttan, 2016).

“Korkacak bir şey yok” veya “Kesinlikle acımayacak” gibi genelleştirici ifadeler, hastanın önceki deneyimini geçersizleştirebilir ve gerçekleşmesi garanti edilemeyen bir beklenti oluşturabilir (Armfield ve Heaton, 2013; van Wijk ve Hoogstraten, 2006). Daha uygun yaklaşım, korkunun içeriğini doğrulamak ve somut bir plan sunmaktır (Appukuttan, 2016). Örneğin, daha önce anestezi yetersizliği yaşamış hastaya tedaviye başlamadan önce anestezinin kontrol edileceği ve gerektiğinde ek yöntem uygulanacağı açıklanabilir (Dou vd., 2018; Murillo-Benítez vd., 2020). Böylece belirsiz güvence, klinik olarak izlenebilir bir taahhüde dönüşür (Armfield vd., 2008).

6.2. Endodontik Bilgilendirme ve Kontrol Anlaşması

Bilgilendirme hastanın tercihine ve bilgi gereksinimine göre ayarlanmalıdır (Armfield ve Heaton, 2013). Bazı hastalar bütün basamakları öğrenmek isterken, bazıları yalnızca ne

hissedebileceğini, işlemin yaklaşık sũresini ve ağrı olduğunda ne yapılacağını bilmek ister (Appukuttan, 2016). Korkutucu teknik ayrıntılardan çok tanı, anestezi, rubber dam, kanal temizliği ve seans sonundaki planın işlevi açıklanmalıdır (Anatũrk vd., 2025; LeClaire vd., 1988). Kũk kanal tedavisindeki ağrı hakkında olumlu fakat doğru bilgi verilmesinin ağrı korkusunu azaltabildiği gũsterilmiřtir (van Wijk ve Hoogstraten, 2006). Video temelli bilgilendirme endodontik hastalarda tedavi ũncesi ve sonrası anksiyete puanlarını azaltabilse de, standart sũzlũ bilgilendirmeye ũstũnlũęũ her ۆlçũtte gũsterilememiřtir (Anatũrk vd., 2025).

Tedavi başlamadan ũnce bir durdurma işareti belirlenmeli ve bu işaret kullanıldığında işlem gerçekten durdurulmalıdır (Appukuttan, 2016). Rubber dam yerleştirildikten sonra uzun yanıt gerektiren sorular yerine başparmak işareti veya ũnceden kararlaştırılmış el hareketi kullanılabilir (Appukuttan, 2016; LeClaire vd., 1988). Her yeni aşamadan ũnce kısa sũre ve duyum bilgisi vermek, işlemin ۆngũrũlebilirlięini artırır (Armfield vd., 2008; van Wijk ve Hoogstraten, 2006). Kontrol anlaşmasının tutarlı biçimde uygulanması, hasta-hekim gũveninin korunması açasından sũzlũ gũvenceden daha ۆnemlidir (Appukuttan, 2016; Armfield ve Heaton, 2013).

6.3. Ağrı Kontrolũnũ Anksiyete Yũnetiminin Merkezine Yerleştirmek

Endodontik anksiyete yũnetiminde temel gũven oluşturucu unsur etkili ağrı kontrolũdũr (Dou vd., 2018; Murillo-Benítez vd., 2020). Topikal anestezi, yavaş ve kontrollũ enjeksiyon, yeterli bekleme sũresi ve gerektiğinde ek anesteziye geçilmesi, hem enjeksiyon deneyimini hem de tedaviye ilişkin gũveni iyileştirebilir (Appukuttan, 2016). Yavaş lokal anestezi akışının doku distansiyonunu ve enjeksiyon rahatsızlığını azaltabileceği; bilgisayar kontrollũ enjeksiyon sistemlerinin de bazı hastalarda daha konforlu deneyim sağlayabileceği bildirilmiştir (Appukuttan, 2016). Enjeksiyon korkusu belirgin olan hastalarda nefes egzersizi, gevşeme ve kademeli maruz bırakma gibi yũntemler ayrıca değerlendirilebilir (Heaton vd., 2013; Hoffmann vd., 2022).

Anksiyolitik yũntemler yetersiz anesteziyi maskelemek için kullanılmamalıdır (Appukuttan, 2016). Hasta sakin gũrũnse bile keskin ağrı bildirdiğinde işlem durdurulmalı ve anestezi yeniden değerlendirilmelidir (Murillo-Benítez vd., 2020). Buna karşılık yeterli anestezi sağlandıktan sonra sũren yoğun tehdit beklentisi, davranışsal veya bilişsel destek gerektirebilir (Armfield ve Heaton, 2013; Hoffmann vd., 2022). Ağrı ve anksiyetenin ayrı fakat etkileşen hedefler olarak ele alınması, hem gerçek nosisepsiyonun hem de tehdit beklentisinin uygun biçimde yũnetilmesini sağlar (Dou vd., 2018; Vitali vd., 2024).

6.4. Rubber Dam ve Operatif Aşamaların Yönetimi

Rubber dam yerleştirilmeden önce hastaya iletişim biçimi, beklenen basınç hissi ve işlemi durdurma yöntemi açıklanmalıdır (Appukuttan, 2016; LeClaire vd., 1988). Klemp yerleştirildikten sonra dudak ve yumuşak dokular kontrol edilmeli; hastanın rahatsızlığı yalnızca “alışması gereken” bir durum olarak görülmemelidir (Appukuttan, 2016). Öğürme veya klostrofobik rahatsızlık bildiren hastada çerçevenin konumu ve hasta pozisyonu düzenlenebilir, gerekirse kısa bir prova yapılabilir (Appukuttan, 2016; Armfield ve Heaton, 2013). Anksiyete yönetimi izolasyonun kaldırılmasına değil, izolasyon altında kontrol ve iletişimin sürdürülmesine dayanmalıdır (Appukuttan, 2016; LeClaire vd., 1988).

Kanal preparasyonu ve irrigasyon sırasında hastaya yalnızca klinik açıdan anlamlı duyular açıklanmalıdır (Armfield ve Heaton, 2013). Basınç, titreşim ve aspirasyon sesi beklenebilir; keskin ağrı ise bildirilmesi gereken bir uyarıdır (Anatürk vd., 2025; LeClaire vd., 1988). Planlı molalar, güvenli işlem aşamalarında verilmeli ve mola noktaları önceden kararlaştırılmalıdır (Appukuttan, 2016). Uzun süre ağız açık tutmakta zorlanan hastalarda kısa aralıklar ve çene desteği, yorgunluk ile kontrol kaybı hissini azaltmaya yardımcı olabilir (Armfield ve Heaton, 2013).

6.5. Uzun ve Karmaşık Endodontik İşlemler

Kanal tedavisi yenilemesi, kalsifiye kanallar, kırık alet yönetimi veya mikroskop altında uzun süren işlemlerde anksiyete seans boyunca değişebilir; kanal tedavisi yenilemesi hastalarında psikolojik rahatsızlığın primer tedavi grubundan daha yüksek olabildiği bildirilmiştir (Lee vd., 2024). Tek seansta tamamlanamama olasılığı, muhtemel mola noktaları ve seans sayısı başlangıçta konuşulmalı; sürenin uzamasının “bir şeyler ters gidiyor” anlamına gelmediği açıklanmalıdır (Armfield ve Heaton, 2013; Lee vd., 2024). Seansı basamaklara ayırmak, her basamak sonunda kısa geri bildirim vermek ve hastanın yorgunluğunu yeniden değerlendirmek öngörülebilirliği korur (Appukuttan, 2016; Armfield vd., 2008).

6.6. Dikkat Dağıtma ve Duyusal Düzenlemeler

Hastanın seçtiği müzik, kulaklıkla görsel-işitsel içerik, rehberli nefes ve kas gevşetme düşük riskli tamamlayıcı yöntemlerdir (Hoffmann vd., 2022). Endodontik hastalarda tedavi öncesi hastanın seçtiği kısa bir görsel-işitsel içeriğin öznel anksiyete düzeyini azalttığı, ancak kan basıncı ve kalp hızı üzerinde anlamlı değişiklik oluşturmadığı gösterilmiştir (Craveiro ve Caldeira, 2020). Endodontik işlem öncesi ayrıntılı video bilgilendirmesi de tedavi sonrası anksiyete puanlarında azalma sağlamış, fakat galvanik deri yanıtı ve gruplar arası bazı karşılaştırmalarda ek üstünlük göstermemiştir (Anatürk vd., 2025). Bu nedenle görsel-işitsel

yöntemlerin etkisi, kullanılan içeriğin amacı ve seçilen sonuç ölçütüne göre değerlendirilmelidir (Anatürk vd., 2025; Craveiro ve Caldeira, 2020).

Müzik, sanal gerçeklik, gevşeme ve benzeri dikkat dağıtıcı yöntemlere ilişkin dental literatür bazı olumlu sonuçlar bildirse de, çalışmaların yöntemleri ve kanıt düzeyleri heterojendir (Hoffmann vd., 2022). Bu uygulamalar, hastanın tercih ettiği ve klinik iletişimi engellemediği ölçüde kullanılmalıdır (Armfield ve Heaton, 2013; Hoffmann vd., 2022). Kulaklık kullanıldığında durdurma işareti ve klinisyenin kısa komutlarını algılama biçimi önceden kararlaştırılmalıdır (Appukuttan, 2016). Duyusal düzenlemeler etkili iletişim ve ağrı kontrolünün alternatifi değil, uygun hastalarda bunları tamamlayan desteklerdir (Hoffmann vd., 2022).

6.7. Farmakolojik Destek ve Sedasyon

Davranışsal yöntemlerin yetersiz kaldığı, belirgin fobinin bulunduğu veya uzun ve karmaşık tedavinin planlandığı seçilmiş hastalarda farmakolojik destek düşünülebilir (Appukuttan, 2016; Armfield ve Heaton, 2013). Karar; tıbbi öykü, kullanılan ilaçlar, anksiyete düzeyi, işlem süresi, klinisyenin eğitimi, monitörizasyon ve acil durum altyapısı dikkate alınarak verilmelidir (Appukuttan, 2016; Hoffmann vd., 2022). Sedasyon, riskleri ve kontrendikasyonları bulunan bir uygulamadır ve yalnızca eğitimli ekip ile uygun klinik koşullarda yürütülmelidir (Hoffmann vd., 2022). Farmakolojik yaklaşım, hasta-hekim iletişiminin ve davranışsal desteğin yerini almamalıdır (Armfield ve Heaton, 2013).

Nitröz oksit-oksijen, oral sedasyon veya intravenöz sedasyon dental anksiyetenin farmakolojik yönetiminde kullanılan seçenekler arasındadır; yöntemin seçimi anksiyetenin şiddetine ve hastanın tıbbi özelliklerine göre yapılmalıdır (Appukuttan, 2016; Hoffmann vd., 2022). Sedasyon ağrısı tek başına ortadan kaldırmadığından, endodontik işlem için yeterli lokal anestezi yine sağlanmalıdır (Appukuttan, 2016). Her anksiyeteli hastada rutin sedasyon yerine, önce korkunun içeriği ve daha düşük riskli yöntemlere yanıt değerlendirilmelidir (Armfield ve Heaton, 2013; Hoffmann vd., 2022). Dental fobi, panik belirtileri veya belirgin psikiyatrik eş tanı bulunan hastalarda psikolog/psikiyatrist ve sedasyon konusunda yetkin klinisyenlerle iş birliği gerekebilir (Appukuttan, 2016; Armfield ve Heaton, 2013).

6.8. Tedavi Sonrası Düzeltici Deneyim ve İzlem

Seans sonunda beklenen ve yaşanan ağrı arasındaki fark, en zor aşama ve rahatlatıcı bulunan uygulamalar kaydedilmeli; sonraki randevuda yararlı stratejiler sürdürülmelidir (Khan vd., 2016; Lee vd., 2024; Watkins vd., 2002). Postoperatif talimatlar kısa ve mümkünse yazılı olmalı; beklenen hassasiyet, analjezik kullanımı, geçici restorasyonun

korunması ve acil başvuru gerektiren belirtiler açıkça ayrılmalıdır (Vitali vd., 2024). Böylece normal iyileşme duyumlarının komplikasyon olarak yorumlanması ve belirsizliğe bağlı kaygı azaltılabilir (Armfield vd., 2008).

7. Özel Endodontik Klinik Senaryolar

7.1. Semptomatik İrreversibl Pulpitis ve Acil Başvuru

Şiddetli ağrı ile başvuran hastada uzun bir psikolojik değerlendirme yerine kısa ve işlevsel bir tarama gerekir (Dou vd., 2018; Haug vd., 2024). Önce endodontik tanı ve ağrının özellikleri belirlenmeli; aynı anda önceki anestezi gücü, en güçlü korku tetikleyicisi ve durdurma işareti konuşulmalıdır (Alroomy vd., 2020; Appukuttan, 2016). Ek anestezi gerekebileceğinin baştan açıklanması, ilk yöntemin yetersiz kalmasını “tedavi edilemeyeceğim” biçiminde yorumlama riskini azaltabilir (Armfield vd., 2008; Dou vd., 2018). Ağrı ve anksiyete güçlü biçimde ilişkili olsa da ayrı yapılar olarak değerlendirilmelidir (Dou vd., 2018; Murillo-Benítez vd., 2020; Wu vd., 2022).

7.2. İlk Kök Kanal Tedavisi

Daha önce kök kanal tedavisi görmemiş hastalarda belirsizlik, ağrı beklentisi ve çevreden duyulan öyküler daha belirgin olabilir (Alroomy vd., 2020; Wong ve Lytle, 1991). İşlem basamakları basit ve nötr bir dille açıklanmalı; başka kişilerin deneyiminin hastanın kendi tanı, anestezi ve tedavi planını belirlemediği vurgulanmalıdır (Carter, Carter ve George, 2015; van Wijk ve Hoogstraten, 2006). Beklenen ağrının çoğu zaman deneyimlenen ağrıdan yüksek olduğuna ilişkin veriler, mutlak garanti vermeden olumlu ve gerçekçi bilgilendirme yapmak için kullanılabilir (Chandraweera vd., 2019; Watkins vd., 2002). İlk seansın sonunda gerçekleşen deneyimin beklentiden nasıl farklılaştığı konuşularak gelecekteki anksiyete azaltılabilir (Khan vd., 2016; LeClaire vd., 1988).

7.3. Önceki Anestezi veya Endodontik Tedavi Travması

Önceki randevuda anestezi yetersizliği, yoğun ağrı veya iletişim kaybı yaşamış hastada genel güvence çoğu zaman yeterli değildir (Davey, 1989; Dou vd., 2018). Önceki olay; diş, tanı, işlem aşaması, duyum ve hekimin yanıtı bakımından ayrıntılandırılmalıdır (Carter, Carter ve George, 2015). Yeni randevuda farklı yapılacak uygulamalar açıkça belirtilmeli, özellikle anestezinin kontrolü ve durdurma işareti somutlaştırılmalıdır (Appukuttan, 2016; Armfield vd., 2008). Önceki olumsuz deneyimin yeni bir güvenli deneyimle güncellenmesi, korkunun azalmasında temel hedef olmalıdır (Liddell ve Locker, 2000).

7.4. Kanal Tedavisi Yenilemesi ve Uzun Seans

Kanal tedavisi yenilemesi ve mikroskop destekli karmaşık olgularda anksiyete, teknik belirsizlik, önceki başarısızlık algısı ve seans süresiyle artabilir (Lee vd., 2024). Olası tedavi alternatifleri, dişin prognozu, işlem basamakları ve tek seansta bitmeme ihtimali başlangıçta açıklanmalıdır (Armfield ve Heaton, 2013; Lee vd., 2024). Kanal tedavisi yenilemesi hastalarında psikolojik rahatsızlığın primer kök kanal tedavisi görenlerden daha yüksek olabildiği bildirilmiştir (Lee vd., 2024). Sürenin uzaması başarısızlık olarak değil, mevcut materyallerin uzaklaştırılması ve karmaşık anatomide kontrollü çalışma için gereken bir süreç olarak çerçevelenmelidir (Lee vd., 2024).

8. Kanıtın Sınırları ve Gelecek Araştırmalar

Endodontik anksiyete literatürü farklı ölçekler, eşik değerleri, klinik ortamlar ve hasta grupları kullanmaktadır; bu durum çalışmalar arasında doğrudan karşılaştırmayı güçleştirmektedir (Khan vd., 2016). Genel dental anksiyete ile kök kanal tedavisine özgü korku her çalışmada ayrılmamış, ağrılı acil hastalar ile elektif tedavi hastaları farklı oranlarda örneklenmiştir (Alroomy vd., 2020; Dou vd., 2018; Khan vd., 2016). Çalışmaların önemli bir bölümü kesitseldir ve anksiyete ile ağrı arasındaki ilişkinin yönünü kesin olarak gösteremez (Dou vd., 2018; Murillo-Benítez vd., 2020; Wu vd., 2022). Ayrıca tek bir toplam anksiyete puanı, farklı tetikleyici profillerini ve öğrenme yollarını gizleyebilir (Carter, Carter ve George, 2015; Kajita vd., 2025).

Gelecek çalışmalarda toplam anksiyete puanına ek olarak enjeksiyon, anestezi yetersizliği, perküsyon, rubber dam, kanal aletlerinin hissi, işlem süresi, kontrol kaybı ve postoperatif ağrı beklentisi ayrı değişkenler olarak incelenmelidir (LeClaire vd., 1988; Vitali vd., 2024). Endodontiye özgü kısa değerlendirme araçlarının Türkçe psikometrik özelliklerinin gösterilmesine ve anksiyetenin tedavinin farklı aşamalarındaki değişiminin izlenmesine gereksinim vardır (Anatürk vd., 2025; LeClaire vd., 1988). Yüksek anksiyeteli hastalarda farklı alt tiplerin bulunabilmesi, tek tip müdahale yerine profil temelli yönetim yaklaşımlarının araştırılmasını gerekli kılmaktadır (Kajita vd., 2025). Müdahale çalışmalarında seans öncesi puanın yanı sıra intraoperatif ağrı, randevunun tamamlanması, sonraki seansa devam, hasta deneyimi ve uzun dönem bakım arama davranışı da sonuç ölçütü olarak kullanılmalıdır (Khan vd., 2016; Lee vd., 2024).

9. Sonuç

Kök kanal tedavisindeki anksiyete, genel diş hekimi korkusunun endodonti kliniğine taşınmış biçimiyle sınırlı değildir. Mevcut pulpal ağrı, tanısal testler, enjeksiyon, rubber dam, frez ve kanal eğelerinin oluşturduğu duyular, işlem süresi, dişin prognozu ve daha önce yaşanan veya başkalarından duyulan deneyimler aynı hastada farklı oranlarda birleşir. Bu nedenle etkili yönetim, anksiyetenin yalnızca şiddetini değil, endodontik içeriğini de belirlemeyi gerektirir.

Klinik olarak en güvenilir yaklaşım; anksiyeteyi ilk temasta tanımak, tetikleyiciyi doğrudan sormak, hastaya gerçek kontrol sağlamak, tanı ve tedavi basamaklarını öngörülebilir hâle getirmek, pulpal anestezinin yeterliliğini doğrulamak, rubber dam ve kanal preparasyonu sırasında kısa ve düzenli iletişimi sürdürmek, gerektiğinde tamamlayıcı davranışsal veya farmakolojik desteğe başvurmak ve tedavi sonrasındaki olumlu deneyimi pekiştirmektir. İyi yönetilmiş bir endodontik seans yalnızca diş korumaz; hastanın kök kanal tedavisine ilişkin öğrenilmiş tehdit beklentisini de değiştirebilir.

Kaynakça

- Alghofaily, M. ve Alsalleeh, F. (2022). Levels of anxiety and fear related to non-surgical root canal treatment performed by endodontic residents and endodontists. *Frontiers in Dental Medicine*, 3, 851834. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2022.851834>
- Alroomy, R., Kim, D., Hochberg, R., Chubak, J., Rosenberg, P. A. ve Malek, M. (2020). Factors influencing pain and anxiety before endodontic treatment: A cross-sectional study amongst American individuals. *European Endodontic Journal*, 5(3), 199–204. <https://doi.org/10.14744/eej.2020.17363>
- Anatürk, ř., Dönmez Özkan, H., Saral, İ. P. ve Çakar, T. (2025). Determining the effect of video information on the dental anxiety levels of the endodontic patients: A randomised clinical trial. *Journal of Oral Rehabilitation*, 52, 1933–1944. <https://doi.org/10.1111/joor.14054>
- Appukuttan, D. P. (2016). Strategies to manage patients with dental anxiety and dental phobia: Literature review. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*, 8, 35–50. <https://doi.org/10.2147/CCIDE.S63626>
- Armfield, J. M. ve Heaton, L. J. (2013). Management of fear and anxiety in the dental clinic: A review. *Australian Dental Journal*, 58(4), 390–407. <https://doi.org/10.1111/adj.12118>
- Armfield, J. M., Slade, G. D. ve Spencer, A. J. (2008). Cognitive vulnerability and dental fear. *BMC Oral Health*, 8, 2. <https://doi.org/10.1186/1472-6831-8-2>
- Armfield, J. M., Stewart, J. F. ve Spencer, A. J. (2007). The vicious cycle of dental fear: Exploring the interplay between oral health, service utilization and dental fear. *BMC Oral Health*, 7, 1. <https://doi.org/10.1186/1472-6831-7-1>
- Beaton, L., Freeman, R. ve Humphris, G. (2014). Why are people afraid of the dentist? Observations and explanations. *Medical Principles and Practice*, 23(4), 295–301. <https://doi.org/10.1159/000357223>
- Carter, A. E., Carter, G., Boschen, M., AlShwaimi, E. ve George, R. (2015). Ethnicity and pathways of fear in endodontics. *Journal of Endodontics*, 41(9), 1437–1440. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.04.014>
- Carter, A. E., Carter, G. ve George, R. (2015). Pathways of fear and anxiety in endodontic patients. *International Endodontic Journal*, 48(6), 528–532. <https://doi.org/10.1111/iej.12343>
- Chen, W. J., Carter, A., Boschen, M., Love, R. M. ve George, R. (2020). Fear and anxiety pathways associated with root canal treatments amongst a population of East Asian

- origin. *European Endodontic Journal*, 5(1), 2–5.
<https://doi.org/10.14744/eej.2019.46338>
- Chandraweera, L., Goh, K., Lai-Tong, J., Newby, J. ve Abbott, P. (2019). A survey of patients’ perceptions about, and their experiences of, root canal treatment. *Australian Endodontic Journal*, 45(2), 225–232. <https://doi.org/10.1111/aej.12312>
- Corah, N. L. (1969). Development of a dental anxiety scale. *Journal of Dental Research*, 48(4), 596. <https://doi.org/10.1177/00220345690480041801>
- Craveiro, M. A. ve Caldeira, C. L. (2020). Influence of an audiovisual resource on the preoperative anxiety of adult endodontic patients: A randomized controlled clinical trial. *Journal of Endodontics*, 46(7), 909–914.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.03.024>
- Davey, G. C. L. (1989). Dental phobias and anxieties: Evidence for conditioning processes in the acquisition and modulation of a learned fear. *Behaviour Research and Therapy*, 27(1), 51–58. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(89\)90119-8](https://doi.org/10.1016/0005-7967(89)90119-8)
- Dou, L., Vanschaayk, M. M., Zhang, Y., Fu, X., Ji, P. ve Yang, D. (2018). The prevalence of dental anxiety and its association with pain and other variables among adult patients with irreversible pulpitis. *BMC Oral Health*, 18, 101. <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0563-x>
- Facco, E., Zanette, G., Favero, L., Bacci, C., Sivoilella, S., Cavallin, F. ve Manani, G. (2011). Toward the validation of Visual Analogue Scale for Anxiety. *Anesthesia Progress*, 58(1), 8–13. <https://doi.org/10.2344/0003-3006-58.1.8>
- Haug, S. R., Røegh, M. ve Frisstad, I. (2024). Endodontic emergency patients’ profile and treatment outcome – a prospective cohort study. *BMC Oral Health*, 24, 1557. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05338-8>
- Heaton, L. J., Leroux, B. G., Ruff, P. A. ve Coldwell, S. E. (2013). Computerized dental injection fear treatment: A randomized clinical trial. *Journal of Dental Research*, 92(1 Suppl), 37S–42S. <https://doi.org/10.1177/0022034513484330>
- Hoffmann, B., Erwood, K., Ncomanzi, S., Fischer, V., O’Brien, D. ve Lee, A. (2022). Management strategies for adult patients with dental anxiety in the dental clinic: A systematic review. *Australian Dental Journal*, 67(S1), S3–S13. <https://doi.org/10.1111/adj.12926>
- İlgüy, D., İlgüy, M., Dinçer, S. ve Bayırlı, G. (2005). Reliability and validity of the Modified Dental Anxiety Scale in Turkish patients. *Journal of International Medical Research*, 33(2), 252–259. <https://doi.org/10.1177/147323000503300214>

- Kajita, M., Pohjola, V., Kataja, E.-L. ve Lahti, S. (2025). Exploring high dental anxiety subtypes using cluster analysis approach: A cross-sectional study. *BMC Oral Health*, 25, 1506. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06820-7>
- Khan, S., Hamedy, R., Lei, Y., Ogawa, R. S. ve White, S. N. (2016). Anxiety related to nonsurgical root canal treatment: Systematic review. *Journal of Endodontics*, 42(12), 1726–1736. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.007>
- LeClaire, A. J., Skidmore, A. E., Griffin, J. A., Jr. ve Balaban, F. S. (1988). Endodontic fear survey. *Journal of Endodontics*, 14(11), 560–564. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(88\)80091-8](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(88)80091-8)
- Lee, E. Y. N., Sua, Z. Y., Bhatia, S., Kohli, S., Rossi-Fedele, G., Doğramacı, E. J. ve Nagendrababu, V. (2024). Oral health-related quality of life and perceptions of patients following primary root canal treatment or non-surgical retreatment. *Australian Endodontic Journal*, 50(3), 559–570. <https://doi.org/10.1111/aej.12868>
- Liddell, A. ve Locker, D. (2000). Changes in levels of dental anxiety as a function of dental experience. *Behavior Modification*, 24(1), 57–68.
- Luyk, N. H., Beck, F. M. ve Weaver, J. M. (1988). A visual analogue scale in the assessment of dental anxiety. *Anesthesia Progress*, 35(3), 121–123.
- Murillo-Benítez, M., Martín-González, J., Jiménez-Sánchez, M. C., Cabanillas-Balsera, D., Velasco-Ortega, E. ve Segura-Egea, J. J. (2020). Association between dental anxiety and intraoperative pain during root canal treatment: A cross-sectional study. *International Endodontic Journal*, 53(4), 447–454. <https://doi.org/10.1111/iej.13245>
- Oosterink, F. M. D., de Jongh, A. ve Hoogstraten, J. (2009). Prevalence of dental fear and phobia relative to other fear and phobia subtypes. *European Journal of Oral Sciences*, 117(2), 135–143.
- Perković, I., Perić, M., Romić Knežević, M. ve Jukić Krmek, S. (2014). The level of anxiety and pain perception of endodontic patients. *Acta Stomatologica Croatica*, 48(4), 258–267. <https://doi.org/10.15644/asc48/4/3>
- Saba, Z. ve Katirci, G. (2023). Relationship between dental anxiety levels and oral health among dental patients in Turkey: A cross-sectional study. *BMC Oral Health*, 23, 328. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03041-8>
- Silveira, E. R., Cademartori, M. G., Schuch, H. S., Armfield, J. A. ve Demarco, F. F. (2021). Estimated prevalence of dental fear in adults: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 108, 103632. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103632>

- van Wijk, A. J. ve Hoogstraten, J. (2006). Reducing fear of pain associated with endodontic therapy. *International Endodontic Journal*, 39(5), 384–388. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01090.x>
- Vitali, F. C., Mafra, G., Santos, P. S., Garcia, L. F. R. ve Teixeira, C. S. (2024). Patient-related predictors of post-operative pain following root canal treatment: A structural model analysis. *International Endodontic Journal*, 57(12), 1758–1768. <https://doi.org/10.1111/iej.14137>
- Watkins, C. A., Logan, H. L. ve Kirchner, H. L. (2002). Anticipated and experienced pain associated with endodontic therapy. *Journal of the American Dental Association*, 133(1), 45–54. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2002.0020>
- Wong, M. ve Lytle, W. R. (1991). A comparison of anxiety levels associated with root canal therapy and oral surgery treatment. *Journal of Endodontics*, 17(9), 461–465. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(07\)80138-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(07)80138-5)
- Wu, L.-T., Lin, C.-S. ve Yang, S.-F. (2022). Association between pain, anxiety, and pain relief in patients receiving emergent endodontic treatment. *Clinical Oral Investigations*, 26, 275–285. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03997-3>