

ENDODONTİ ALANINDA GÜNCEL GELİŞMELER VE TEMATİK İNCELEMELER

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Sümeyye Koyuncu

Endodonti Alanında Güncel Gelişmeler ve Tematik İncelemeler

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Sümeyye Koyuncu

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Sümeyye Koyuncu

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Ekim, 2026

Yayımcı Sertifika No
45813

ISBN
978-625-91314-2-9

©copyright

Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan
hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480,
Mamak, Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuspublishing.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1.....5

Endodontide Antimikrobiyal Nanopartiküller: Mekanizmalar, Uygulamalar ve Gelecek Perspektifler

Kezban Meltem Çolak &
Fatma Berna Dedeoğlu

BÖLÜM 2.....23

Endodontide Sıcak Kök Kanal Dolum Teknikleri: Güncel Yaklaşımlar ve Literatürün Değerlendirilmesi

Furkan Pala
Ertuğrul Karataş

BÖLÜM 3.....33

Endodontide Ağrı ve Ağrı Kontrol Yaklaşımları

Yasemin Özdoğan Eser

BÖLÜM 4.....57

Kök Kanal İrrigasyon Ajanlarının Etkinliğini Arttırmaya Yönelik Güncel Yaklaşımlar

Elif Yıldız
Emre Bodrumlu

BÖLÜM 5.....83

Endodontide Lazerler

İlke Menteş
Şevval Akkoca

BÖLÜM 1

**Endodontide
Antimikrobiyal Nanopartiküller:
Mekanizmalar, Uygulamalar ve Gelecek
Perspektifler**

***Kezban Meltem Çolak¹ &
Fatma Berna Dedeoğlu²***

¹ Endodonti Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum/TÜRKİYE, 0000-0001-5472-677X

² Endodonti Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum/TÜRKİYE, 0009-0002-8948-9799

1-GİRİŞ

Endodontik enfeksiyonlar, kök kanal sistemi içerisinde yer alan kompleks ve çoğunlukla polimikrobiyal biyofilm yapılarının neden olduğu, periapikal dokularda inflamatuvar yanıtlarla sonuçlanabilen dinamik patolojik süreçlerdir. Bu biyofilm yapıları, mikroorganizmaların ekstraselüler polimerik matriks içerisinde organize olmasıyla karakterize olup, hem konak immün yanıtına hem de antimikrobiyal ajanlara karşı belirgin direnç geliştirmektedir. Güncel çalışmalar, biyofilm organizasyonunun endodontik tedavi başarısızlığında temel belirleyici faktörlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır.(Jayakumar vd. 2024; Siqueira ve Rôças 2022)

Kök kanal tedavisinin temel amacı, enfekte dokuların uzaklaştırılması ve kök kanal sisteminin maksimum düzeyde dezenfekte edilmesidir. Ancak kök kanal anatomisinin karmaşıklığı, lateral kanallar, apikal deltalar ve dentin tübülleri gibi alanlarda mikroorganizmaların korunmasına olanak tanımakta ve tam eliminasyonu zorlaştırmaktadır. Özellikle *Enterococcus faecalis* gibi dirençli türler, düşük besin ortamlarında hayatta kalabilme ve dentin içine penetre olabilme özellikleri sayesinde sekonder enfeksiyonlarda kritik rol oynamaktadır.(Tsesis vd. 2006)

Günümüzde endodontik irrigasyonun temelini oluşturan Sodium Hypochlorite, güçlü antimikrobiyal ve organik doku çözücü özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sitotoksikite potansiyeli, dentin penetrasyonunun sınırlı olması ve biyofilm yapıları üzerindeki etkinliğinin bazı durumlarda yetersiz kalması, alternatif dezenfeksiyon stratejilerine olan ihtiyacı artırmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, mevcut irrigasyon protokollerinin mikroorganizmaların tamamen eliminasyonunda yetersiz kalabileceğini göstermektedir. (Boutsioukis ve Arias-Moliz 2022a)

Bu sınırlamaların aşılması amacıyla nanoteknoloji temelli yaklaşımlar, endodontik dezenfeksiyonun geliştirilmesinde önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Nanoteknoloji, 1–100 nm boyut aralığındaki materyallerin üretimi ve uygulanmasını kapsamakta olup, bu ölçekteki partiküller yüksek yüzey alanı/hacim oranı ve artmış kimyasal reaktivite gibi özellikler sergilemektedir. Bu özellikler, nanopartiküllerin mikroorganizmalarla daha etkin etkileşime girmesine olanak tanımaktadır. (Capuano vd. 2023; Song ve Ge 2019)

Antimikrobiyal nanopartiküller, mikroorganizmalara karşı etkilerini birden fazla biyokimyasal mekanizma aracılığıyla göstermektedir. Bu mekanizmalar arasında hücre membranının bozulması, hücre içi protein ve nükleik asitlerin hasarlanması ve Reactive Oxygen Species (ROS) üretiminin artması yer almaktadır. Bu çok yönlü etki mekanizması, nanopartiküllerin klasik

antibiyotiklere kıyasla daha düşük direnç gelişimi riski ile etkili olmasını sağlamaktadır.(Dizaj vd. 2014; Hajipour, Fromm, Akbar Ashkarran, vd. 2012)

Endodonti alanında özellikle gümüş, çinko oksit, altın ve kitosan bazı nanopartiküller üzerine yapılan çalışmalar giderek artmakta olup, bu ajanların hem planktonik hem de biyofilm formundaki mikroorganizmalara karşı etkili olduğu gösterilmiştir. Ayrıca bu nanopartiküllerin irrigasyon solüsyonlarına, kök kanal patlarına ve intrakanal medikamentlere entegre edilmesiyle, kök kanal dezenfeksiyonunun etkinliğinin artırılması hedeflenmektedir.(Del Carpio-Perochena vd. 2015; Menon ve Kishen 2023)

Bu bölümde, endodontide kullanılan antimikrobiyal nanopartiküllerin etki mekanizmaları, farklı nanopartikül türlerinin özellikleri ve klinik uygulamaları güncel literatür ışığında kapsamlı bir şekilde ele alınacaktır. Ayrıca bu materyallerin avantajları, sınırlılıkları ve gelecekteki klinik kullanım potansiyelleri de tartışılacaktır.

2-NANOTEKNOLOJİYE GENEL BAKIŞ

Nanoteknoloji, materyallerin 1–100 nm boyut aralığında tasarlanması, karakterizasyonu ve uygulanmasını kapsayan disiplinlerarası bir bilim alanı olarak tanımlanmaktadır. Bu ölçekteki yapılar, makroskobik materyallerden farklı olarak özgün fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler sergilemektedir. Özellikle yüzey alanı/hacim oranındaki belirgin artış, nanopartiküllerin reaktivitesini artırmakta ve biyolojik sistemlerle etkileşimlerini güçlendirmektedir. Bu durum, nanoteknolojiyi tıp ve diş hekimliği başta olmak üzere birçok alanda yenilikçi uygulamalar için cazip hale getirmiştir.(Khan, Saeed, ve Khan 2019; Song ve Ge 2019)

Nanopartiküllerin benzersiz özellikleri, büyük ölçüde boyut küçülmesine bağlı olarak ortaya çıkan kuantum etkileri ve yüzey atomlarının oranındaki artış ile ilişkilidir. Nanoölçekte, materyallerin optik, manyetik ve mekanik özelliklerinde belirgin değişiklikler gözlenmekte; bu da onları konvansiyonel materyallerden ayırmaktadır. Özellikle artmış yüzey enerjisi, nanopartiküllerin mikroorganizmalarla daha yoğun temas kurmasına ve biyolojik ortamlarda daha etkin rol oynamasına olanak tanımaktadır.(Jeevanandam vd. 2018; Zhang vd. 2016)

Nanopartiküller, kimyasal bileşimlerine, yapılarına ve üretim yöntemlerine göre farklı sınıflara ayrılmaktadır. Genel olarak metal nanopartiküller (örneğin gümüş ve altın), metal oksit nanopartiküller (çinko oksit, titanyum dioksit) ve polimerik nanopartiküller (kitosan gibi biyopolimerler) olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma, nanopartiküllerin biyolojik davranışlarını, toksisite profillerini

ve klinik uygulama alanlarını belirlemede kritik rol oynamaktadır (Capuano vd. 2023)

Nanopartiküllerin sentezinde temel olarak iki yaklaşım bulunmaktadır: “top-down” ve “bottom-up” yöntemler. Top-down yaklaşımında, daha büyük materyaller fiziksel veya kimyasal işlemlerle nano boyuta indirgenirken; bottom-up yaklaşımında atom veya moleküllerin kontrollü bir şekilde bir araya getirilmesiyle nanopartiküller oluşturulmaktadır. Özellikle son yıllarda geliştirilen “yeşil sentez” yöntemleri, biyolojik ajanlar kullanılarak daha çevre dostu ve biyouyumlu nanopartiküllerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır.(Iravani 2011)

Nanoteknolojinin diş hekimliğindeki uygulamaları, özellikle antimikrobiyal özelliklerinden dolayı hızla genişlemektedir. Endodontide nanopartiküller; irrigasyon solüsyonlarına eklenerek, kök kanal patlarına entegre edilerek veya intrakanal medikament olarak kullanılarak kök kanal dezenfeksiyonunun etkinliğini artırma potansiyeline sahiptir. Bunun yanı sıra, nanopartiküllerin dentin tübüllerine derin penetrasyon sağlayabilmesi, geleneksel materyallere kıyasla önemli bir avantaj sunmaktadır. (Capuano vd. 2023)

3. ANTİMİKROBİYAL NANOPARTİKÜLLERİN ETKİ MEKANİZMALARI

Antimikrobiyal nanopartiküller, mikroorganizmalara karşı etkilerini tek bir yol üzerinden değil, birden fazla biyokimyasal ve fiziksel mekanizmanın kombinasyonu ile göstermektedir. Bu çok yönlü etki mekanizması, nanopartiküllerin klasik antibiyotiklere kıyasla daha geniş spektrumlu etki göstermesine ve direnç gelişimi riskinin daha düşük olmasına katkıda bulunmaktadır. Özellikle endodontik enfeksiyonlarda görülen kompleks biyofilm yapıları göz önüne alındığında, bu çoklu etki mekanizmaları klinik açıdan önemli bir avantaj sağlamaktadır.(Hajipour, Fromm, Ashkarran, vd. 2012)

Nanopartiküllerin en temel etki mekanizmalarından biri, mikroorganizma hücre zarına doğrudan bağlanarak membran bütünlüğünü bozmasıdır. Nano boyuttaki partiküller, yüksek yüzey enerjileri sayesinde bakteri hücre duvarına elektrostatik etkileşimlerle bağlanmakta ve hücre membranında yapısal hasara neden olmaktadır. Bu durum, hücre içeriğinin dışarı sızmasına, ozmotik dengenin bozulmasına ve sonuç olarak hücre ölümüne yol açmaktadır.(Dizaj vd. 2014)

Bir diğer önemli mekanizma, hücre içi yapılara verilen hasardır. Nanopartiküller, hücre membranını geçerek sitoplazmaya ulaşabilmekte ve burada proteinler, enzimler ve nükleik asitlerle etkileşime girmektedir. Bu etkileşimler sonucunda DNA replikasyonu ve protein sentezi inhibe edilmekte, hücresel metabolizma bozulmaktadır. Özellikle metal bazlı nanopartiküllerin,

bakteri DNA'sına bağlanarak genetik materyalde yapısal değişikliklere yol açtığı gösterilmiştir.(Hajipour, Fromm, Ashkarran, vd. 2012; Rai, Yadav, ve Gade 2009)

Nanopartiküllerin antimikrobiyal etkinliğinde önemli bir rol oynayan mekanizmalardan biri, hücre içerisinde Reactive Oxygen Species üretiminin indüklenmesidir. Bu süreçte oluşan süperoksit anyonları, hidroksil radikalleri ve hidrojen peroksit gibi reaktif oksijen türleri, hücre membranında lipid peroksidasyonuna, protein yapılarında denatürasyona ve DNA hasarına yol açarak hücresel bütünlüğü bozmakta ve sonuç olarak hücre ölümünü tetiklemektedir. Oksidatif stresin artışı, özellikle biyofilm içerisindeki mikroorganizmaların direnç mekanizmalarını zayıflatarak antimikrobiyal etkinliğin artmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, ROS aracılı mekanizmalar nanopartiküllerin geniş spektrumlu antimikrobiyal etkisinin temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir.(Pizzino vd. 2017)

Nanopartiküller ayrıca biyofilm yapısı üzerinde doğrudan etkili olabilmektedir. Nano boyutları sayesinde biyofilm matrisine derinlemesine penetre olabilen bu partiküller, ekstraselüler polimerik matrisi destabilize ederek mikroorganizmaların korunma mekanizmasını zayıflatmaktadır. Bu özellik, özellikle endodontik enfeksiyonlarda sık karşılaşılan dirençli biyofilm yapılarının ortadan kaldırılmasında önemli bir avantaj sunmaktadır.(Del Carpio-Perochena vd. 2015)

Son olarak, bazı nanopartiküllerin metal iyon salınımı yoluyla antimikrobiyal etki gösterdiği bilinmektedir. Özellikle gümüş nanopartiküller, Ag^+ iyonları salarak bakteriyel enzim sistemlerini inhibe etmekte ve hücresel solunum süreçlerini bozmaktadır. Bu iyonlar ayrıca hücre duvarı geçirgenliğini artırarak diğer toksik etkilerin de güçlenmesine katkıda bulunmaktadır.(Slavin vd. 2017)

4. ENDODONTİDE ANTİMİKROBİYAL NANOPARTİKÜLLERİN KLİNİK KULLANIMI

Antimikrobiyal nanopartiküller, kök kanal sisteminde bulunan dirençli mikroorganizmaların eliminasyonuna yönelik geliştirilen yenilikçi yaklaşımlar arasında yer almakta ve endodontik tedavi protokollerinde giderek daha fazla araştırma konusu olmaktadır. Özellikle biyofilm yapılarının konvansiyonel dezenfeksiyon yöntemlerine karşı gösterdiği direnç göz önüne alındığında, nanopartikül bazlı uygulamalar daha etkili bir antimikrobiyal strateji sunmaktadır..(Priyadarsini, Mukherjee, ve Mishra 2018)

4.1. İrrigasyon

Kök kanal irrigasyonu, endodontik tedavinin en kritik aşamalarından biri olup, mikroorganizmaların eliminasyonu ve biyofilm yapılarının parçalanmasında temel rol oynamaktadır. Ancak konvansiyonel irrigasyon solüsyonlarının dentin tübüllerine sınırlı penetrasyonu ve kompleks kanal anatomisinde yetersiz kalması, alternatif yaklaşımların geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Bu bağlamda nanopartiküllerin irrigasyon sistemlerine entegrasyonu, dezenfeksiyon etkinliğini artırmaya yönelik umut verici bir strateji olarak öne çıkmaktadır.(Boutsioukis ve Arias-Moliz 2022b)

Nano boyutları sayesinde dentin tübüllerine daha derin penetrasyon sağlayabilen bu partiküller, mikroorganizmaların yerleştiği ulaşılması güç bölgelerde etkili olabilmektedir. Özellikle kationik nanopartiküllerin biyofilm matriksine bağlanarak antibakteriyel etkinliği artırdığı gösterilmiştir.(Shrestha vd. 2010)

Gümüş nanopartiküller içeren irrigasyon sistemlerinin, *E. faecalis* gibi dirençli mikroorganizmalar üzerinde yüksek antibakteriyel etki gösterdiği bildirilmiştir. Gümüş nanopartiküller, iyon salınımı ve hücre membranı hasarı yoluyla bakterisidal etki göstermekte ve biyofilm yapılarının parçalanmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, nanopartiküllerin ultrasonik veya sonik aktivasyon teknikleri ile birlikte kullanılması, irrigasyon etkinliğini daha da artırabilmektedir.(Wu vd. 2014)

Bunun yanı sıra kitosan nanopartikülleri, biyouyumlulukları ve şelasyon özellikleri sayesinde irrigasyon ajanı olarak dikkat çekmektedir. Kitosan bazlı sistemlerin smear layer uzaklaştırma ve antibakteriyel etkinlik açısından umut verici sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Bu özellikleri sayesinde, hem dezenfeksiyon hem de dentin yüzey modifikasyonu açısından çift yönlü fayda sağlayabilmektedir.(Del Carpio-Perochena vd. 2015)

4.2 Obturasyon

Kök kanal obturasyonu, endodontik tedavinin son aşaması olup, mikroorganizma sızıntısının önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Nanopartiküllerin obturasyon materyallerine ve sealer sistemlerine eklenmesiyle, bu materyallerin antimikrobiyal özelliklerinin artırılması hedeflenmektedir. Bu yaklaşım, özellikle rezidüel bakterilerin elimine edilmesi ve reinfeksiyonun önlenmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır.(Priyadarsini vd. 2018)

Nanopartiküllerin kök kanal dolgu materyalleri ve sealer sistemlerine entegrasyonu, rezidüel mikroorganizmaların ortadan kaldırılması açısından önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bu sayede dolgu

materyallerine antimikrobiyal özellik kazandırılarak kök kanal sisteminde uzun süreli mikrobiyal kontrol sağlanması hedeflenmektedir. Özellikle nanopartikül katkılı materyallerin antibakteriyel etkinliğinin arttığı ve yeniden enfeksiyon riskini azaltılabileceği bildirilmektedir.(Ratih vd. 2023)

4.3 Seanslar Arası Kanal İçi İlaçlar

Nanopartiküller intrakanal medikament olarak da kullanılabilmekte olup, özellikle kitosan bazlı nanopartiküller biyouyumlulukları ve antibakteriyel etkileri nedeniyle öne çıkmaktadır. Bu materyallerin dentin tübüllerine penetre olarak bakteriyel kolonizasyonu inhibe ettiği ve klasik medikamentlere alternatif olabileceği gösterilmiştir.(Del Carpio-Perochena vd. 2015)

Nanopartiküllerin bir diğer önemli kullanım alanı, kontrollü ilaç salınım sistemleridir. Bu sistemler sayesinde antimikrobiyal ajanların hedef dokulara yönlendirilmesi ve uzun süreli etkili konsantrasyonların sağlanması mümkün olmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle lokal tedavi etkinliğinin artırılması ve sistemik yan etkilerin azaltılması açısından önem taşımaktadır. (Gao vd. 2018; Makvandi vd. 2021)

Nanopartiküllerin klinik kullanımı umut verici olmakla birlikte, biyouyumluluk ve sitotoksikite gibi konular halen tartışmalıdır. Özellikle nanopartiküllerin konsantrasyonuna ve yüzey özelliklerine bağlı olarak hücresel düzeyde toksik etkiler oluşturabileceği bildirilmektedir. Bu nedenle, klinik uygulamalarda güvenli kullanım protokollerinin belirlenmesi ve uzun dönem etkilerin değerlendirilmesi gerekmektedir.(Fadeel vd. 2018)

5-ENDODONTİDE KULLANILAN ANTİMİKROBİYAL NANOPARTİKÜL TÜRLERİ

5.1 Organik Nanopartiküller

5.1.1 Grafen ve Grafen Tabanlı Nanopartiküller

Grafen, iki boyutlu karbon yapısı ve geniş yüzey alanı ile dikkat çeken bir nanomateriyaldir. Grafen ve türevleri, keskin kenar yapıları sayesinde bakteriyel hücre zarında mekanik hasar oluşturabilmekte ve aynı zamanda oksidatif stres mekanizmalarını indükleyerek antimikrobiyal etki göstermektedir. Endodontik uygulamalarda grafen bazlı nanopartiküllerin, biyofilm yapılarının inhibisyonunda etkili olduğu ve kök kanal dezenfeksiyonunda potansiyel bir ajan olarak değerlendirildiği bildirilmektedir.(Palmieri ve Papi 2020)

5.1.2 Kitosan Nanopartikülleri

Kitosan, doğal kökenli bir biyopolimer olup, biyouyumluluğu ve antibakteriyel özellikleri nedeniyle endodontide yaygın olarak araştırılmaktadır.

Pozitif yüklü yapısı sayesinde negatif yüklü bakteriyel hücre duvarına bağlanarak membran geçirgenliğini bozmakta ve hücre ölümüne yol açmaktadır.(Kong vd. 2010)

Kitosan nanopartiküllerinin, dentin tübüllerine penetrasyon sağlayarak biyofilm oluşumunu inhibe ettiği ve irrigasyon ajanı veya intrakanal medikament olarak kullanılabileceği bildirilmektedir.(Del Carpio-Perochena vd. 2015)

5.1.3 Poli(laktik) ko-glikolik Asit

Poli(laktik) ko-glikolik asit (PLGA), biyobozunur ve biyouyumlu bir polimer olup, özellikle kontrollü ilaç salınım sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. PLGA nanopartikülleri, antimikrobiyal ajanların kök kanal sistemine hedeflenmiş ve kontrollü şekilde salınmasını sağlayarak tedavi etkinliğini artırabilmektedir.(Danhier vd. 2012)

Endodontide PLGA bazlı sistemlerin, özellikle intrakanal medikament taşıyıcısı olarak kullanımı üzerine çalışmalar artmakta olup, bu sistemlerin uzun süreli antibakteriyel etki sağlayabileceği bildirilmektedir.(Song vd. 2021)

5.2 İnorganik Nanopartiküller

5.2.1 Hidroksiapatit Nanopartiküller

Hidroksiapatit nanopartikülleri, dentin ve kemik dokusuna kimyasal olarak benzer yapıları sayesinde yüksek biyouyumluluk göstermektedir. Bu nanopartiküller, dentin yüzeyine bağlanarak tübül oklüzyonu sağlamakta ve mikrobiyal penetrasyonu azaltmaktadır. Endodontide hidroksiapatit nanopartiküllerinin, özellikle kök kanal dolgu materyallerine ve sealer sistemlerine eklenerek sızdırmazlığı artırdığı ve biyolojik iyileşmeyi desteklediği bildirilmektedir. Ayrıca yüzey modifikasyonu ile antimikrobiyal özellik kazandırılabilirdiği de gösterilmiştir.(Dorozhkin 2010; Sadat-Shojai vd. 2013)

5.2.2 Biyoaktif Cam Nanopartikülleri

Bioactive Glass nanopartikülleri, iyon salınımı yoluyla hem antimikrobiyal etki hem de doku rejenerasyonu sağlayabilen biyoseramik materyallerdir. Bu nanopartiküller, özellikle kalsiyum ve fosfat iyonları salarak ortam pH'sını yükseltmekte ve bu sayede bakteriyel büyümeyi inhibe etmektedir. Aynı zamanda hidroksiapatit benzeri bir yüzey oluşturarak dentin ile kimyasal bağ kurabilmektedir.(Mortazavi vd. 2010)

Endodontik uygulamalarda biyoaktif cam nanopartiküllerinin, kök kanal dezenfeksiyonunu desteklediği ve periapikal iyileşmeyi hızlandırabileceği bildirilmektedir. Özellikle biyofilm yapılarının destabilizasyonu ve

mineralizasyon sürecine katkıları, bu materyali çift etkili bir ajan haline getirmektedir.

5.2.3 Mezogözenekli Kalsiyum Silikat Nanopartiküller

Mezogözenekli Kalsiyum Silikat Nanopartikülleri, yüksek yüzey alanına sahip gözenekli yapıları sayesinde hem iyon salınımı hem de ilaç taşıyıcı sistem olarak işlev görebilmektedir. Bu materyaller, özellikle kalsiyum iyonu salınımı yoluyla mineralizasyonu indüklemekte ve alkali ortam oluşturarak antibakteriyel etki göstermektedir.(Huang vd. 2017)

Endodontide mezogözenekli kalsiyum silikat sistemleri, hem **dezenfeksiyon** hem de **dentin rejenerasyonu** açısından çift fonksiyonlu materyaller olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca gözenekli yapıları sayesinde antimikrobiyal ajanların kontrollü salınımına olanak tanımaktadır.(Huang vd. 2017)

5.3 Metal Nanopartiküller

5.3.1. Gümüş Nanopartiküller (AgNPs)

Gümüş Nanopartiküller (AgNPs), endodontide en yoğun çalışılan nanopartiküller olup, geniş spektrumlu antibakteriyel etkileri ile öne çıkmaktadır. AgNP'ler, bakteriyel hücre duvarına bağlanarak membran bütünlüğünü bozmakta, hücre içi enzim sistemlerini inhibe etmekte ve Ag⁺ iyon salınımı yoluyla hücresel metabolizmayı durdurmaktadır. Ayrıca DNA ile etkileşime girerek replikasyon sürecini engellediği de gösterilmiştir.(Dakal vd. 2016; Rai vd. 2009)

AgNP'lerin en önemli avantajlarından biri, biyofilm yapıları içerisine derinlemesine penetre olabilmesidir. Endodontik enfeksiyonlarda sık görülen *E. faecalis* biyofilmlerine karşı yüksek etkinlik gösterdiği ve biyofilm matriksini destabilize ederek bakteriyel kolonizasyonu azalttığı bildirilmiştir. Bu özellik, özellikle retreatment vakalarında klinik açıdan büyük önem taşımaktadır. (Rodrigues vd. 2018)

Endodontik uygulamalarda AgNP'ler farklı şekillerde kullanılabilir:

- İrrigasyon solüsyonlarına eklenerek
- Kök kanal patlarına entegre edilerek
- İntrakanal medikament olarak

Bu kullanım alanları sayesinde, hem akut dezenfeksiyon hem de uzun süreli antibakteriyel etki sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, nanopartiküllerin konsantrasyonuna bağlı olarak sitotoksosite gelişebileceği ve periapikal dokular

üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği bildirilmiştir. Bu nedenle klinik kullanımda doz optimizasyonu kritik öneme sahiptir.(Marambio-Jones ve Hoek 2010)

5.3.2. Titanyum Dioksit Nanopartiküller (TiO₂ NPs)

Titanium Dioksit nanopartikülleri, özellikle fotokatalitik özellikleri ile antimikrobiyal etki göstermektedir. UV veya görünür ışık altında aktive olarak yoğun Reaktif Oksijen türleri(ROS) üretir ve bu sayede bakteriyel hücrelerde oksidatif hasar oluşturur.Endodontide ışık aktivasyonlu sistemlerle birlikte kullanıldığında, kök kanal dezenfeksiyonunun etkinliğini artırabileceği gösterilmiştir.(Akakuru, Iqbal, ve Wu t.y.)

5.3.3. Demir Oksit Nanopartiküller (Fe₃O₄ NPs)

Demir oksit nanopartiküller (Fe₃O₄ NPs), manyetik özellikleri sayesinde hedefe yönelik tedavi yaklaşımlarında kullanılabilir. Bu nanopartiküller, dış manyetik alan yardımıyla kök kanal sisteminde yönlendirilerek lokal konsantrasyonu artırabilir.Bu özellikleri sayesinde özellikle ilaç taşıyıcı sistemlerde ve biyofilm hedefli tedavilerde potansiyel bir ajan olarak değerlendirilmektedir.(Pankhurst vd. 2003)

5.3.4. Zirkonyum Oksit Nanopartiküller (ZrO₂ NPs)

Zirkonyum oksit nanopartiküller (ZrO₂ NPs), yüksek mekanik dayanıklılık ve biyoyumumluluk özellikleri ile öne çıkmaktadır. Antimikrobiyal etkileri sınırlı olmakla birlikte, özellikle sealer ve restoratif materyallerde yapısal güçlendirme amacıyla kullanılmaktadır.

Endodontide bu nanopartiküller, materyal stabilitesini artırarak dolgu başarısına dolaylı katkı sağlamaktadır.(Manicone, Rossi Iommetti, ve Raffaelli 2007)

5.3.5. Magnezyum Oksit Nanopartiküller (MgO NPs)

Magnesium oksit nanopartikülleri, düşük toksisite ve güçlü antibakteriyel etkileri ile dikkat çekmektedir. Hücre membranı hasarı ve ROS üretimi yoluyla mikroorganizmalar üzerinde etkili olmaktadır.Bu nanopartiküllerin, biyofilm oluşumunu inhibe etme potansiyeli nedeniyle endodontik irrigasyon sistemlerinde kullanılabileceği öne sürülmektedir.(Jin ve He 2011)

5.3.6 Kalsiyum Oksit Nanopartiküller (CaO NPs)

Kalsiyum oksit nanopartikülleri, güçlü alkali özellikleri ve iyon salınım kapasitesi sayesinde antimikrobiyal etki gösteren inorganik nanomateryaller arasında yer almaktadır. Bu nanopartiküller, ortamda hidroksil iyonları oluşturarak pH seviyesini yükseltmekte ve bu sayede bakteriyel hücreler üzerinde

yıkıcı bir etki oluşturmaktadır. Yüksek pH ortamı, özellikle hücre membranı bütünlüğünü bozarak protein denatürasyonuna ve enzim inhibisyonuna yol açmaktadır. (Sawai 2003)

Kalsiyum oksit nanopartiküllerinin antimikrobiyal etkisi yalnızca alkalinite ile sınırlı olmayıp, aynı zamanda reaktif oksijen türlerinin oluşumunu tetikleyerek oksidatif stres mekanizmaları üzerinden de gerçekleşmektedir. Bu çift yönlü etki, özellikle dirençli mikroorganizmaların eliminasyonunda önemli bir avantaj sağlamaktadır. (Stoimenov vd. 2002)

Endodontik açıdan değerlendirildiğinde, CaO nanopartikülleri kalsiyum iyonu salınımı sayesinde yalnızca antibakteriyel etki göstermekle kalmayıp, aynı zamanda mineralizasyon süreçlerine katkıda bulunabilmektedir. Bu özellikleri, özellikle kök kanal tedavisi sonrası iyileşme sürecinin desteklenmesi açısından önem taşımaktadır. Ayrıca dentin yüzeyi ile etkileşime girerek biyouyumlu bir ortam oluşturduğu da bildirilmiştir. (Shi vd. 2012)

Bununla birlikte, kalsiyum oksit nanopartiküllerinin yüksek alkalinitesi nedeniyle sitotoksik etkiler oluşturabileceği ve bu durumun özellikle periapikal dokular açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu nedenle klinik uygulamalarda uygun konsantrasyonların belirlenmesi ve kontrollü kullanım büyük önem taşımaktadır. (Sawai 2003)

5.3.7 Bakır Oksit Nanopartiküller (CuO NPs)

Bakır oksit nanopartiküller (CuO NPs), güçlü antibakteriyel ve antifungal özellikleri ile bilinmektedir. Bu nanopartiküller, bakır iyonlarının salınımı ve oksidatif stres yoluyla bakteriyel hücrelerde toksik etki oluşturmaktadır. Endodontide özellikle dirençli mikroorganizmalar üzerinde etkili olabileceği ve alternatif bir dezenfeksiyon ajanı olarak değerlendirilebileceği bildirilmektedir. (Azam vd. 2012)

6. GELECEK PERSPEKTİFLER

Nanoteknoloji temelli yaklaşımlar, endodontik tedavide enfeksiyon kontrolünü geliştirme potansiyeli ile giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Ancak mevcut çalışmaların büyük çoğunluğu in vitro veya hayvan deneyleri ile sınırlı olup, klinik uygulamaya yönelik yüksek düzeyde kanıt sağlayan çalışmaların sayısı halen yetersizdir. Bu nedenle gelecekte yapılacak araştırmaların, nanopartiküllerin klinik etkinliğini ve güvenliğini değerlendiren randomize kontrollü çalışmalar üzerine odaklanması gerekmektedir. (Schmalz 2018)

Gelecekteki en önemli gelişim alanlarından biri, nanopartiküllerin hedefe yönelik (targeted) ilaç taşıyıcı sistemler olarak kullanılmasıdır. Bu sistemler

sayesinde antimikrobiyal ajanlar doğrudan enfekte bölgeye yönlendirilebilmekte ve kontrollü salınım ile uzun süreli etki sağlanabilmektedir. Bu yaklaşım, hem tedavi etkinliğini artırmakta hem de sistemik yan etkilerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır.(Liang vd. 2020)

Bir diğer önemli araştırma alanı, **akıllı (stimuli-responsive) nanopartiküller** olarak adlandırılan ve çevresel değişimlere yanıt verebilen sistemlerdir. Bu nanopartiküller, pH, sıcaklık veya enzimatik aktivite gibi faktörlere bağlı olarak aktif hale gelmekte ve yalnızca enfekte dokuda antimikrobiyal etki göstermektedir. Bu özellik, sağlıklı dokuların korunması açısından önemli bir avantaj sunmaktadır.(Makvandi vd. 2021)

Nanoteknolojinin rejeneratif endodonti ile entegrasyonu da gelecekte dikkat çeken bir diğer önemli alan olarak değerlendirilmektedir. Nanopartiküllerin, kök hücre proliferasyonu ve diferansiyasyonu üzerinde olumlu etkiler gösterebildiği ve doku mühendisliği uygulamalarında kullanılabileceği bildirilmektedir. Bu yaklaşım, yalnızca enfeksiyon kontrolü değil aynı zamanda pulpa-dentin kompleksinin yeniden oluşturulmasını hedefleyen biyolojik tedavi stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.(Pecci-Lloret vd. 2024)

Bununla birlikte, nanopartiküllerin klinik kullanımında karşılaşılan en önemli zorluklardan biri **biyogüvenlik ve toksisite** konularıdır. Nanopartiküllerin boyut, yüzey özellikleri ve konsantrasyonuna bağlı olarak hücresel düzeyde toksik etkiler oluşturabileceği bilinmektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmaların, biyoyumumluluk, uzun dönem etkiler ve güvenli doz aralıklarının belirlenmesine odaklanması gerekmektedir. (Fadeel vd. 2018)

7. SONUÇ

Antimikrobiyal nanopartiküller, endodontik enfeksiyonların yönetiminde geleneksel yöntemlere kıyasla önemli avantajlar sunan yenilikçi biyomateryaller olarak öne çıkmaktadır. Bu nanopartiküller; geniş spektrumlu antimikrobiyal etkileri, biyofilm yapıları içerisine derin penetrasyon yetenekleri ve çoklu etki mekanizmaları sayesinde kök kanal sisteminde bulunan dirençli mikroorganizmaların eliminasyonunda etkili bir alternatif oluşturmaktadır. Özellikle kompleks kök kanal anatomisinin neden olduğu dezenfeksiyon zorlukları göz önünde bulundurulduğunda, nanoteknoloji temelli yaklaşımların klinik önemi daha da belirgin hale gelmektedir.(Shrestha vd. 2010)

Bu derlemede ele alınan organik ve inorganik nanopartiküller, farklı mekanizmalar üzerinden antimikrobiyal etki göstermekte olup, her bir nanopartikül türünün kendine özgü avantaj ve sınırlılıkları bulunmaktadır. Özellikle metal ve metal oksit nanopartiküller güçlü antibakteriyel özellikleri ile öne çıkarken, organik nanopartiküller biyoyumumluluk ve kontrollü ilaç salınımı

açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu çeşitlilik, klinik uygulamalarda ihtiyaca yönelik materyal seçiminin yapılabilmesine olanak tanımaktadır.(Makvandi vd. 2021)

Nanopartiküllerin endodontide irrigasyon sistemlerinden intrakanal medikamentlere ve obturasyon materyallerine kadar geniş bir kullanım alanı bulunmakta olup, bu materyallerin entegrasyonu ile tedavi başarısının artırılması hedeflenmektedir. Özellikle biyofilm eliminasyonu, dentin tübüllerine penetrasyon ve uzun süreli antibakteriyel etki sağlama potansiyelleri, nanopartikülleri endodontik dezenfeksiyonun geleceğinde önemli bir konuma taşımaktadır .(Rodrigues vd. 2018)

Bununla birlikte, nanopartiküllerin klinik kullanımı öncesinde çözülmesi gereken bazı önemli sınırlılıklar bulunmaktadır. Özellikle sitotoksosite, biyoyumluluk ve uzun dönem güvenlik konularında mevcut veriler sınırlı olup, bu materyallerin rutin klinik uygulamalara entegrasyonu için daha kapsamlı klinik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca nanopartiküllerin doz, boyut ve yüzey özelliklerine bağlı olarak değişen biyolojik etkileri, standartizasyon gereksinimini ortaya koymaktadır.(Fadeel vd. 2018)

Sonuç olarak, antimikrobiyal nanopartiküller endodontide hem dezenfeksiyon hem de biyolojik iyileşmeyi destekleyen çok yönlü materyaller olarak büyük bir potansiyel taşımaktadır. Gelecekte yapılacak multidisipliner ve klinik odaklı çalışmaların, bu materyallerin güvenli ve etkin kullanımını belirleyerek endodontik tedavi protokollerine entegrasyonunu hızlandırması beklenmektedir. Bu doğrultuda, nanoteknolojinin endodonti pratiğinde daha yaygın ve standart bir uygulama haline gelmesi öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akakuru, Ozioma U., Zubair M. Iqbal, ve Aiguo Wu. t.y. “TiO₂ Nanoparticles: Properties and Applications”.
- Azam, Ameer, Arham S. Ahmed, Mohammad Oves, Mohammad S. Khan, Sami S. Habib, ve Adnan Memic. 2012. “Antimicrobial Activity of Metal Oxide Nanoparticles against Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria: A Comparative Study”. *International Journal of Nanomedicine* 7:6003-9. doi:10.2147/IJN.S35347.
- Boutsioukis, Christos, ve Maria Teresa Arias-Moliz. 2022a. “Present Status and Future Directions – Irrigants and Irrigation Methods”. *International Endodontic Journal* 55(S3):588-612. doi:10.1111/iej.13739.
- Boutsioukis, Christos, ve Maria Teresa Arias-Moliz. 2022b. “Present Status and Future Directions – Irrigants and Irrigation Methods”. *International Endodontic Journal* 55(S3):588-612. doi:10.1111/iej.13739.
- Capuano, Nicoletta, Alessandra Amato, Federica Dell’Annunziata, Francesco Giordano, Veronica Folliero, Federica Di Spirito, Pragati Rajendra More, Anna De Filippis, Stefano Martina, Massimo Amato, Massimiliano Galdiero, Alfredo Iandolo, ve Gianluigi Franci. 2023. “Nanoparticles and Their Antibacterial Application in Endodontics”. *Antibiotics* 12(12):1690. doi:10.3390/antibiotics12121690.
- Dakal, Tikam Chand, Anu Kumar, Rita S. Majumdar, ve Vinod Yadav. 2016. “Mechanistic Basis of Antimicrobial Actions of Silver Nanoparticles”. *Frontiers in Microbiology* 7. doi:10.3389/fmicb.2016.01831.
- Danhier, Fabienne, Eduardo Ansorena, Joana M. Silva, Régis Coco, Aude Le Breton, ve Véronique Préat. 2012. “PLGA-based nanoparticles: An overview of biomedical applications”. *Journal of Controlled Release* 161(2):505-22. doi:10.1016/j.jconrel.2012.01.043.
- Del Carpio-Perochena, Aldo, Anil Kishen, Annie Shrestha, ve Clovis Monteiro Bramante. 2015. “Antibacterial Properties Associated with Chitosan Nanoparticle Treatment on Root Dentin and 2 Types of Endodontic Sealers”. *Journal of Endodontics* 41(8):1353-58. doi:10.1016/j.joen.2015.03.020.
- Dizaj, Solmaz Maleki, Farzaneh Lotfipour, Mohammad Barzegar-Jalali, Mohammad Hossein Zarrintan, ve Khosro Adibkia. 2014. “Antimicrobial activity of the metals and metal oxide nanoparticles”. *Materials Science and Engineering: C* 44:278-84. doi:10.1016/j.msec.2014.08.031.
- Dorozhkin, Sergey V. 2010. “Nanosized and nanocrystalline calcium orthophosphates”. *Acta Biomaterialia* 6(3):715-34. doi:10.1016/j.actbio.2009.10.031.

- Fadeel, Bengt, Lucian Farcas, Barry Hardy, Socorro Vázquez-Campos, Danail Hristozov, Antonio Marcomini, Iseult Lynch, Eugenia Valsami-Jones, Harri Alenius, ve Kai Savolainen. 2018. "Advanced Tools for the Safety Assessment of Nanomaterials". *Nature Nanotechnology* 13(7):537-43. doi:10.1038/s41565-018-0185-0.
- Gao, Weiwei, Yijie Chen, Yue Zhang, Qiangzhe Zhang, ve Liangfang Zhang. 2018. "Nanoparticle-Based Local Antimicrobial Drug Delivery". *Advanced drug delivery reviews* 127:46-57. doi:10.1016/j.addr.2017.09.015.
- Hajipour, Mohammad J., Katharina M. Fromm, Ali Akbar Ashkarran, Dorleta Jimenez de Aberasturi, Idoia Ruiz de Larramendi, Teofilo Rojo, Vahid Serpooshan, Wolfgang J. Parak, ve Morteza Mahmoudi. 2012. "Antibacterial properties of nanoparticles". *Trends in Biotechnology* 30(10):499-511. doi:10.1016/j.tibtech.2012.06.004.
- Hajipour, Mohammad J., Katharina M. Fromm, Ali Akbar Ashkarran, Dorleta Jimenez de Aberasturi, Idoia Ruiz de Larramendi, Teofilo Rojo, Vahid Serpooshan, Wolfgang J. Parak, ve Morteza Mahmoudi. 2012. "Antibacterial Properties of Nanoparticles". *Trends in Biotechnology* 30(10):499-511. doi:10.1016/j.tibtech.2012.06.004.
- Huang, Ching-Yuang, Tsui-Hsien Huang, Chia-Tze Kao, Yuan-Haw Wu, Wan-Chen Chen, ve Ming-You Shie. 2017. "Mesoporous Calcium Silicate Nanoparticles with Drug Delivery and Odontogenesis Properties". *Journal of Endodontics* 43(1):69-76. doi:10.1016/j.joen.2016.09.012.
- Iravani, Siavash. 2011. "Green Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants". *Green Chemistry* 13(10):2638-50. doi:10.1039/C1GC15386B.
- Jayakumar, Srilekha, Dinesh Sridhar, Bindu M. John, Karthikeyan Arumugam, Prashanth Ponnusamy, ve Hema Pulidindi. 2024. "Biofilm in Endodontic Infection and its Advanced Therapeutic Options – An Updated Review". *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences* 16(Suppl 2):S1104-9. doi:10.4103/jpbs.jpbs_394_23.
- Jeevanandam, Jaison, Ahmed Barhoum, Yen S. Chan, Alain Dufresne, ve Michael K. Danquah. 2018. "Review on Nanoparticles and Nanostructured Materials: History, Sources, Toxicity and Regulations". *Beilstein Journal of Nanotechnology* 9(1):1050-74. doi:10.3762/bjnano.9.98.
- Jin, Tony, ve Yiping He. 2011. "Antibacterial Activities of Magnesium Oxide (MgO) Nanoparticles against Foodborne Pathogens". *Journal of Nanoparticle Research* 13(12):6877-85. doi:10.1007/s11051-011-0595-5.
- Khan, Ibrahim, Khalid Saeed, ve Idrees Khan. 2019. "Nanoparticles: Properties, Applications and Toxicities". *Arabian Journal of Chemistry* 12(7):908-31. doi:10.1016/j.arabjc.2017.05.011.

- Kong, Ming, Xi Guang Chen, Ke Xing, ve Hyun Jin Park. 2010. “Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review”. *International Journal of Food Microbiology* 144(1):51-63. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2010.09.012.
- Liang, Jingou, Xinyu Peng, Xuedong Zhou, Jing Zou, ve Lei Cheng. 2020. “Emerging Applications of Drug Delivery Systems in Oral Infectious Diseases Prevention and Treatment”. *Molecules* 25(3):516. doi:10.3390/molecules25030516.
- Makvandi, Pooyan, Uros Josic, Masoud Delfi, Filippo Pinelli, Vahid Jahed, Emine Kaya, Milad Ashrafizadeh, Atefeh Zarepour, Filippo Rossi, Ali Zarrabi, Tarun Agarwal, Ehsan Nazarzadeh Zare, Matineh Ghomi, Tapas Kumar Maiti, Lorenzo Breschi, ve Franklin R. Tay. 2021. “Drug Delivery (Nano)Platforms for Oral and Dental Applications: Tissue Regeneration, Infection Control, and Cancer Management”. *Advanced Science* 8(8):2004014. doi:10.1002/advs.202004014.
- Manicone, Paolo Francesco, Pierfrancesco Rossi Iommetti, ve Luca Raffaelli. 2007. “An overview of zirconia ceramics: Basic properties and clinical applications”. *Journal of Dentistry* 35(11):819-26. doi:10.1016/j.jdent.2007.07.008.
- Marambio-Jones, Catalina, ve Eric M. V. Hoek. 2010. “A Review of the Antibacterial Effects of Silver Nanomaterials and Potential Implications for Human Health and the Environment”. *Journal of Nanoparticle Research* 12(5):1531-51. doi:10.1007/s11051-010-9900-y.
- Menon, Nandita, ve Anil Kishen. 2023. “Nociceptor–Macrophage Interactions in Apical Periodontitis: How Biomolecules Link Inflammation with Pain”. *Biomolecules* 13(8):1193. doi:10.3390/biom13081193.
- Mortazavi, V., M. Mehdikhani Nahrkhalaji, M. H. Fathi, S. B. Mousavi, ve B. Nasr Esfahani. 2010. “Antibacterial effects of sol-gel-derived bioactive glass nanoparticle on aerobic bacteria”. *Journal of Biomedical Materials Research Part A* 94A(1):160. doi:10.1002/JBM.A.32678.
- Palmieri, V., ve M. Papi. 2020. “Can graphene take part in the fight against COVID-19?” *Nano Today* 33:100883. doi:10.1016/j.nantod.2020.100883.
- Pankhurst, Q. A., J. Connolly, S. K. Jones, ve J. Dobson. 2003. “Applications of Magnetic Nanoparticles in Biomedicine”. *Journal of Physics D: Applied Physics* 36(13):R167. doi:10.1088/0022-3727/36/13/201.
- Pecci-Lloret, María Pilar, Silvia Gea-Alcocer, Laura Murcia-Flores, Francisco Javier Rodríguez-Lozano, ve Ricardo Elías Oñate-Sánchez. 2024. “Use of Nanoparticles in Regenerative Dentistry: A Systematic Review”. *Biomimetics* 9(4):243. doi:10.3390/biomimetics9040243.

- Pizzino, Gabriele, Natasha Irrera, Mariapaola Cucinotta, Giovanni Pallio, Federica Mannino, Vincenzo Arcoraci, Francesco Squadrito, Domenica Altavilla, ve Alessandra Bitto. 2017. "Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health". *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2017(1):8416763. doi:10.1155/2017/8416763.
- Priyadarsini, Subhashree, Sumit Mukherjee, ve Monalisa Mishra. 2018. "Nanoparticles used in dentistry: A review". *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research* 8(1):58-67. doi:10.1016/j.jobcr.2017.12.004.
- Rai, Mahendra, Alka Yadav, ve Aniket Gade. 2009. "Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials". *Biotechnology Advances* 27(1):76-83. doi:10.1016/j.biotechadv.2008.09.002.
- Ratih, Diatri Nari, Ema Mulyawati, Rika Kurnia Santi, ve Yulita Kristanti. 2023. "Antibacterial and Cytotoxicity of Root Canal Sealer with the Addition of Chitosan Nanoparticle at Various Concentrations". *European Journal of Dentistry* 17(02):398-402. doi:10.1055/s-0042-1746415.
- Rodrigues, C. T., F. B. de Andrade, L. R. S. M. de Vasconcelos, R. Z. Midena, T. C. Pereira, M. C. Kuga, M. a. H. Duarte, ve N. Bernardineli. 2018. "Antibacterial Properties of Silver Nanoparticles as a Root Canal Irrigant against Enterococcus Faecalis Biofilm and Infected Dentinal Tubules". *International Endodontic Journal* 51(8):901-11. doi:10.1111/iej.12904.
- Sadat-Shojai, Mehdi, Mohammad-Taghi Khorasani, Ehsan Dinpanah-Khoshdargi, ve Ahmad Jamshidi. 2013. "Synthesis methods for nanosized hydroxyapatite with diverse structures". *Acta Biomaterialia* 9(8):7591-7621. doi:10.1016/j.actbio.2013.04.012.
- Sawai, J. 2003. "Quantitative Evaluation of Antibacterial Activities of Metallic Oxide Powders (ZnO, MgO and CaO) by Conductimetric Assay". *Journal of Microbiological Methods* 54(2):177-82. doi:10.1016/s0167-7012(03)00037-x.
- Schmalz, Gottfried. 2018. "Scientific update on nanoparticles in dentistry". *International Dental Journal*. doi:10.1111/IDJ.12394.
- Shi, Lu-E., Xiu-Juan Fang, Zhi-Liang Zhang, Ting Zhou, Dan Jiang, Huan-Huan Wu, ve Zhen-Xing Tang. 2012. "Preparation of nano-ZnO using sonication method and its antibacterial characteristics". *International Journal of Food Science and Technology* 47(9):1866-71. doi:10.1111/j.1365-2621.2012.03043.x.
- Shrestha, Annie, Zhilong Shi, Koon Gee Neoh, ve Anil Kishen. 2010. "Nanoparticulates for Antibiofilm Treatment and Effect of Aging on Its Antibacterial Activity". *Journal of Endodontics* 36(6):1030-35. doi:10.1016/j.joen.2010.02.008.

- Siqueira, José F., ve Isabela N. Rôças. 2022. "Present Status and Future Directions: Microbiology of Endodontic Infections". *International Endodontic Journal* 55 Suppl 3:512-30. doi:10.1111/iej.13677.
- Slavin, Yael N., Jason Asnis, Urs O. Häfeli, ve Horacio Bach. 2017. "Metal Nanoparticles: Understanding the Mechanisms behind Antibacterial Activity". *Journal of Nanobiotechnology* 15(1):65. doi:10.1186/s12951-017-0308-z.
- Song, Wencheng, Shue Li, Qingming Tang, Lili Chen, ve Zhenglin Yuan. 2021. "In vitro biocompatibility and bioactivity of calcium silicate-based bioceramics in endodontics (Review)". *International Journal of Molecular Medicine* 48(1):128. doi:10.3892/ijmm.2021.4961.
- Song, Wenjing, ve Shaohua Ge. 2019. "Application of Antimicrobial Nanoparticles in Dentistry". *Molecules* 24(6):1033. doi:10.3390/molecules24061033.
- Stoimenov, Peter K., Rosalyn L. Klinger, George L. Marchin, ve Kenneth J. Klabunde. 2002. "Metal Oxide Nanoparticles as Bactericidal Agents". *Langmuir* 18(17):6679-86. doi:10.1021/la0202374.
- Tsesis, Igor, Eyal Rosen, Devorah Schwartz-Arad, ve Zvi Fuss. 2006. "Retrospective Evaluation of Surgical Endodontic Treatment: Traditional versus Modern Technique". *Journal of Endodontics* 32(5):412-16. doi:10.1016/j.joen.2005.10.051.
- Wu, Daming, Wei Fan, Anil Kishen, James L. Gutmann, ve Bing Fan. 2014. "Evaluation of the Antibacterial Efficacy of Silver Nanoparticles against *Enterococcus Faecalis* Biofilm". *Journal of Endodontics* 40(2):285-90. doi:10.1016/j.joen.2013.08.022.
- Zhang, Xi-Feng, Zhi-Guo Liu, Wei Shen, ve Sangiliyandi Gurunathan. 2016. "Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches". *International Journal of Molecular Sciences* 17(9):1534. doi:10.3390/ijms17091534.

BÖLÜM 2

Endodontide Sıcak Kök Kanal Dolum Teknikleri: Güncel Yaklaşımlar ve Literatürün Değerlendirilmesi

Furkan Pala¹

Ertuğrul Karataş²

¹Arş. Gör., Atatürk Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Erzurum, Türkiye. ORCID: 0009-0006-0084-6016

²Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Erzurum, Türkiye. ORCID: 0000-0002-8145-8763

1.GİRİŞ

Kök kanal tedavisinin uzun dönem başarısı, etkili bir biyomekanik preparasyon ve irrigasyon protokolünün yanı sıra, kök kanal sisteminin üç boyutlu ve sızdırmaz biçimde doldurulmasına bağlıdır (Ng et al., 2007). Yetersiz bir kök kanal dolumu, koronal ve apikal mikrosızıntıya, dolayısıyla bakteriyel enfeksiyona ve tedavi başarısızlığına zemin hazırlamaktadır (Gasner, 2023).

Güta-perka; biyouyumluluğu, boyutsal stabilitesi, ısı ile plastikleşebilmesi ve gerektiğinde kanaldan kolayca uzaklaştırılabilmesi nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan kök kanal dolum materyalidir (Jaha, 2024a). Güta-perkanın kök kanal sistemine uygulanmasında kullanılan obturasyon teknikleri, temel olarak soğuk lateral kondenzasyon ve ısı ile yumuşatılmış güta-perkanın kullanıldığı sıcak obturasyon teknikleri olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir. Soğuk lateral kondenzasyon, kolay uygulanabilirliği ve düşük maliyeti nedeniyle uzun süre yaygın biçimde tercih edilmiştir; ancak güta-perkanın kök kanal duvarlarına yeterli adaptasyon gösterememesi, kök kanal dolumunun homojenliğini olumsuz etkileyerek mikrosızıntı riskinin artmasına neden olabilmektedir (Bhatia, 2023).

Bu dezavantajların giderilmesi amacıyla, güta-perkanın ısı etkisiyle yumuşatılarak kök kanal sistemindeki anatomik düzensizliklere daha etkin adaptasyon göstermesini sağlayan sıcak obturasyon teknikleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda sıcak vertikal kondenzasyon tekniği, güta-perkanın kök kanal duvarlarına adaptasyonunu ve üç boyutlu obturasyonu iyileştirmek amacıyla Schilder tarafından 1967 yılında tanımlanmıştır (Schilder, 2006).

Sonraki yıllarda bu yaklaşımın basitleştirilmesine yönelik sürekli ısı (continuous wave) tekniği (Buchanan, 1994), taşıyıcı temelli sistemler ve enjeksiyon esaslı termoplastik yöntemler klinik kullanıma girmiştir. Bu derlemenin amacı, endodontide kullanılan sıcak dolum tekniklerini çalışma prensipleri, klinik etkinlikleri ve güncel karşılaştırmalı çalışmalar temelinde ele almak; özellikle biyoseramik patların yaygınlaşmasıyla, kök kanal dolumunda bu tekniklerin yerini değerlendirmektir.

2. Sıcak Dolum Tekniklerinin Sınıflandırılması

Sıcak dolum teknikleri, ısının güta-perka üzerine uygulanma biçimine ve kök kanal dolumunun elde edilme yöntemine göre başlıca dört grup altında incelenebilir: vertikal kondansasyon tekniği, devamlı ısı ile kondansasyon tekniği, kor taşıyıcı teknikler ve termoplastik güta-perka enjeksiyon teknikleri. Aşağıda her bir yöntemin çalışma prensibi ve klinik özellikleri ele alınmıştır.

2.1. Sıcak Vertikal Kondenzasyon (*Warm Vertical Condensation*)

"Schilder tarafından tanımlanan bu klasik teknikte, uygun koniklikte hazırlanmış kök kanalına yerleştirilen ana gütaperka konu, ısıtıcı uç ve plugger yardımıyla apikalden koronale doğru tekrarlanan ısıtma ve vertikal kondansasyon ile sıkıştırılır." (Schilder, 2006). Isı ile yumuşayan gütaperka, kanal düzensizliklerine, lateral ve aksesuar kanalları doldurarak üç boyutlu sızdırmaz bir dolum oluşturur. Yöntemin en belirgin üstünlüğü, kanal duvarına adaptasyon ve lateral kanalların doldurulma kapasitesidir; ancak işlem süresinin uzunluğu, tekniğe duyarlılık ve apikale taşması riski başlıca dezavantajlarıdır (Jaha, 2024b).

2.2. Devamlı Isı ile Kondensasyon Tekniği (*Continuous Wave of Condensation*)

Buchanan tarafından, geleneksel sıcak vertikal kondansasyon tekniğinin kolaylaştırılması amacıyla geliştirilen bu teknikte; Sistem, bir ısı kaynağı ile bu kaynağa bağlı ısı taşıyıcı uçlardan meydana gelir. Bu teknikte ısının gütaperka içerisinde düzenli ve sürekli dalgalar hâlinde yayılması sağlanır; kök kanalındaki gütaperka ısınarak yumuşar ve vertikal yönde kondanse edilir (Buchanan, 1994). Ardından apikal tıkaç oluşturulur ve geri dolum (backfill) yöntemiyle kanalın koronal kısmı tamamlanır. Çok sayıda ısıtma-soğutma döngüsü gerektiren klasik yöntemle karşılaştırıldığında işlem süresini kısaltması ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle günümüzde yaygın kullanıma sahiptir. System B ve benzeri elektronik ısı üniteleri bu teknikle birlikte kullanılmaktadır (Gençoğlu N, n.d.).

2.3. Kor Taşıyıcı Teknikler (*Carrier-Based*)

Thermafil, GuttaCore ve Guttafusion gibi sistemlerde, önceden ısıtılmış gütaperka ile kaplı bir taşıyıcı tek seferde kanala yerleştirilir. Bu yöntem, dar ve anatomik olarak karmaşık kanallarda hızlı ve etkin bir dolum sağlayabilmesiyle öne çıkar (McMurtrey et al., 1992). Ancak taşıyıcının varlığı, post boşluğu hazırlanması ve retreatment gerektiren durumlarda problem olabilir. Gütaperka esaslı taşıyıcı içeren sistemler (GuttaCore), bu dezavantajı azaltmayı ve retreatment vakalarında kök kanal dolumunun sökümünü kolaylaştırmayı hedeflemektedir (Zampani et al., 2024).

2.4. Termoplastik Gütaperka Enjeksiyon Teknikleri

Obtura, Calamus ve Elements gibi termoplastik gütaperka enjeksiyon sistemlerinde, gütaperka ısıtılarak termoplastik hâle getirilmekte ve özel uygulama cihazları aracılığıyla doğrudan kök kanalına enjekte edilmektedir. Bu teknik, özellikle geniş ve anatomik düzensizlikler içeren kök kanallarının obturasyonunda ve geri dolum aşamasında sıklıkla tercih edilmektedir. Uygulama kolaylığı ve kök kanal duvarlarına etkin adaptasyon sağlaması önemli

avantajları arasında yer alırken, güta-perkanın soğumasına bağılı büzülme sonucunda dolum içerisinde düzensiz boşluk oluşumu ve materyalin apikal forameniden periapikal dokulara taşma riski tekniğın başlıca sınırlılıkları arasında yer almaktadır.

3.Sıcak Dolum Tekniklerinin Biyoseramik Patlarla Kombinasyonu

Biyoseramik (kalsiyum silikat esaslı) kök kanal patları; hidrofilik özellikleri, kalsiyum iyonu salınımına bağılı alkalen pH oluşturmaları ve hidroksiapatit oluşumunu desteklemeleri sayesinde biyouyumluluk ve biyoaktivite açısından önemli avantajlar sunmakta ve son yıllarda endodontik uygulamalarda giderek daha yaygın kullanılmaktadır. "Bununla birlikte, bu materyallerin ısıya karşı gösterdikleri davranış ve ısıl işlem sonrasında fizikokimyasal özelliklerinde meydana gelebilecek değişiklikler, sıcak obturasyon teknikleriyle birlikte kullanımlarının dikkatle değerlendirilmesini gerektirmektedir." Güncel çalışmalarda, farklı dolum tekniklerinin biyoseramik patların bağlanma direnci ve dentin adaptasyonu üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bir in vitro çalışmada, soğuk lateral kondenzasyon tekniğının, sıcak dolum teknikleriyle (Thermafil ve termoplastik) karşılaştırıldığında hem AH Plus hem de Bioseramik patlarda daha yüksek bağlanma direnci değerleri gösterdiği bildirilmiştir (Vemuri et al., 2024). Buna karşılık, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilen mikroyapısal değerlendirmelerde, sıcak vertikal kondenzasyon tekniğının kanal düzensizliklerine daha güçlü güta-perka penetrasyonu sağladığı ve kök kanal duvarı ile dolum materyali arasındaki ara yüzey adaptasyonunu artırıdığı bildirilmiştir (Juha et al., 2024a).

Lateral kanalların dolumunu değerlendiren çalışmalarda, kullanılan obturasyon tekniğinden bağımsız olarak koronal bölgede yer alan lateral kanalların apikal bölgedekilere kıyasla daha yüksek oranda doldurulduğu bildirilmiştir. Sıcak dolum teknikleri + AH Plus grubunda koronal lateral kanalların hem kök kanal patı hem de güta-perka ile dolduğu, apikal lateral kanalların ise ağırlıklı olarak yalnızca güta-perka ile obture edildiği; tek kon + biyoseramik pat grubunda ise lateral kanalların çoğunlukla yalnızca kök kanal patı ile dolduğu gösterilmiştir (Albero-Monteagudo et al., 2026). Benzer biçimde, üç boyutlu görüntüleme yöntemi kullanılan bir başka çalışma da tekniğe bağlı lateral kanal doldurma oranı farklılıklarını doğrulamıştır (Juha et al., 2024a). Bu bulgular, dolum tekniği ve pat çeşidinin kök kanal dolumunun kalitesini belirleyen kritik bir değişken olduğunu ortaya koymaktadır.

4. Karşılaştırmalı alışmalar ve Güncel Literatür Bulguları

Sıcak dolum tekniklerinin soğuk tekniklerle karşılaştırıldığı çok sayıda in vitro ve klinik çalışma bulunmaktadır. Sistematik bir derlemede, sıcak vertikal

kondenzasyon ile tek kon tekniklerinin klinik sonuçları karşılaştırılmış; taranan çok sayıda çalışma içinden sınırlı sayıda çalışma dahil edilebilmiş ve her iki tekniğin de tatmin edici kök kanal dolumu sağladığı sonucuna varılmıştır (Juha et al., 2024b). Bu durum, farklı dolum tekniklerinin tek başına başarıyı belirlemediğine işaret etmektedir.

Mikro-bilgisayarlı tomografi (Micro-CT) ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) verilerine dayanan güncel bir meta-analizde, soğuk lateral kondenzasyon ile sıcak vertikal kondenzasyonun üç boyutlu dolum kalitesi karşılaştırılmıştır (Dashti et al., 2025). Sıcak vertikal kondenzasyonun daha iyi adaptasyon ve daha az boşluk sağladığı, ancak pat taşması riskinin daha yüksek olduğu; tüm kanal boyunca üstün dolum kalitesi elde edilmekle birlikte apikal üçte birde çalışmaların yetersiz kaldığı bildirilmiştir. Kök kanal dolumundaki düzensizlikleri değerlendiren mikro-BT (Micro-CT) çalışmaları da, obtürasyon tekniğine bağlı olarak kök kanalındaki düzensizlik oluşumu ve dağılımında farklılıklar meydana gelebildiğini göstermektedir (Loiacono et al., 2024).

Anatomik olarak zorlu C-şekilli kanallarda yürütülen çalışmalarda ise sıcak vertikal kondenzasyonun periodontal sağlık, kırılma direnci, postoperatif ağrı ve sekonder çürük insidansı açısından olumlu sonuçlar verdiği öne sürülmüştür (Yu et al., 2024). Klinik düzeyde, iki yıllık bir randomize kontrollü çalışmada sıcak vertikal kondenzasyon ile biyoseramik ve rezin esaslı patların başarı oranları arasında anlamlı fark bulunmamıştır (Hu et al., 2023).

Benzer biçimde, postoperatif ağrı bakımından sıcak vertikal kondenzasyon ile pat esaslı (tek koni + kalsiyum silikat) tekniklerin karşılaştırıldığı randomize çalışmalarda gruplar arasında anlamlı fark saptanmamış; ağrının daha çok yaş ve pat taşması ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Alzoubi et al., 2024). Farklı dolum tekniklerinin ve pat tiplerinin karşılaştırıldığı bir başka randomize klinik çalışmada da tekniğin ağrı şiddetiyle ilişkili olmadığı, ağrının pat taşmasıyla arttığı bildirilmiştir (Mahmoud Hamdy Abada et al., 2025). Pat taşmasının tedavi sonucu üzerindeki etkisini inceleyen bir meta-analiz de bu ilişkiyi desteklemektedir (Aminoshariae & Kulild, 2020). Bu bulgular, kök kanal dolumunun başarısının teknik-pat etkileşiminin bütününe bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

5. Klinik Değerlendirme ve Sınırlılıklar

Sıcak dolum teknikleri, kanal duvarı adaptasyonu ve lateral kanalların doldurulması bakımından teorik ve klinik üstünlükler sunmakla birlikte, klinik pratiğe aktarılmasında dikkat edilmesi gereken birkaç husus bulunmaktadır. Bu teknikler, soğuk lateral kondenzasyona kıyasla daha yüksek ekipman maliyeti ve daha fazla teknik tecrübe gerektirmesidir; nitekim klinik deneyim düzeyinin

dolum kalitesini etkilediği gösterilmiştir (Yu et al., 2024). Sıcak dolum tekniklerinde apikale pat veya gütta perka taşması, postoperatif ağrıya yol açabilen önemli bir komplikasyondur (Koçer et al., 2022). Ayrıca ısının periodontal dokulara iletilmesi ve periapikal bölgede olası bir hasara neden olması, özellikle ince kök duvarlarına sahip dişlerde göz önünde bulundurulmalıdır.

Teknik seçimi; kanal anatomisi (düz/eğri, dar/geniş, C-şekilli), kullanılan pat tipi (rezin esaslı veya biyoseramik), ve klinisyenin deneyimi gibi değişkenler göz önünde bulundurularak hasta bazında yapılmalıdır. Basit ve düz kanallarda soğuk teknikler yeterli ve pratik olabilirken, kompleks anatomilerde sıcak dolum teknikleri klinik avantaj sağlayabilir.

6. Güncel Yaklaşımlar ve Geleceğe Yönelik Perspektifler

Son yıllarda kablosuz ve dijital ısı kontrollü dolum sistemleri, tekniğe duyarlılığı azaltarak sıcak dolum uygulamalarını teknik olarak kolaylaştırmayı hedeflemektedir. Biyoseramik patların yaygınlaşması, geleneksel sıcak dolum protokollerinin bu materyallerin ısı davranışına göre yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir (Rao et al., 2025). Ayrıca Micro-CT ve KIBT gibi üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinin kök kanal dolum kalitesi değerlendirmesinde giderek daha fazla kullanılması, teknikler arası karşılaştırmalarda objektifliği artırmaktadır. Bununla birlikte, mevcut çalışmalarda yüksek metodolojik heterojenlik, standardize edilmiş çalışma tasarımlarına ve uzun dönemli klinik takip verilerine olan ihtiyacı göstermektedir (De-Deus et al., 2022).

7. Sonuç

Sıcak dolum teknikleri, kanal duvarına adaptasyon ve düzensiz anatomilerin doldurulması bakımından soğuk tekniklere kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak güncel kanıtlar, hiçbir tekniğin tek başına mutlak üstünlüğe sahip olmadığını; dolum başarısının teknik, pat tipi, kanal anatomisi ve klinisyen deneyiminin etkileşiminden doğduğunu göstermektedir. Özellikle biyoseramik patların yaygın kullanımıyla birlikte, teknik-pat uyumu dolumun niteliğini belirleyen kritik bir değişken hâline gelmiştir. Klinik karar, olgunun özelliklerine göre kanıta dayalı biçimde bireyselleştirilmeli; teknik seçimi, mevcut çalışmalarda sınırlılıklar ve heterojenlik göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Albero-Montagudo, A., Davo, G., Collado-Castellanos, N., Grau-Benitez, M., Campo, ÁD., & Micó-Muñoz, P. (2026). "Obturation capacity of lateral canals using Thermafil® with AH Plus® and a single-cone with AH Plus Bioceramic® sealer: An in vitro study". *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e50–e56. <https://doi.org/10.4317/jced.63381>
- Alzoubi, F., Alajmi, S., Alkandari, A., Alqahtani, S., Alanezi, A., & Setzer, F. C. (2024). Post-operative pain in non-surgical root canal treatment after sealer-based obturation versus warm vertical compaction: A randomized clinical trial. *International Endodontic Journal*, 57(9), 1168–1179. <https://doi.org/10.1111/iej.14102>
- Aminoshariae, A., & Kulild, J. C. (2020). The impact of sealer extrusion on endodontic outcome: A systematic review with meta-analysis. *Australian Endodontic Journal*, 46(1), 123–129. <https://doi.org/10.1111/aej.12370>
- Bhatia, K. (2023). Comparative evaluation of the apical sealing ability of different obturation techniques-an in vitro study. *Turkish Endodontic Journal*. <https://doi.org/10.14744/TEJ.2022.85057>
- Buchanan, L. S. (1994). The continuous wave of condensation technique: a convergence of conceptual and procedural advances in obturation. *Dentistry Today*, 13(10), 80, 82, 84–85.
- Dashti, M., Ghadimi, N., Yalcın, T. Y., Zahmatkesh, H., Orhan, K., Rankouhi, S. I., Khurshid, Z., & Zafar, M. S. (2025). Three-Dimensional Filling Quality of Cold Lateral vs Warm Vertical Condensation: A Micro-CT and CBCT-Based Systematic Review and Meta-Analysis. *European Endodontic Journal*, 10(6), 479–487. <https://doi.org/10.14744/eej.2025.22599>
- De-Deus, G., Souza, E. M., Silva, E. J. N. L., Belladonna, F. G., Simões-Carvalho, M., Cavalcante, D. M., & Versiani, M. A. (2022). A critical analysis of research methods and experimental models to study root canal fillings. *International Endodontic Journal*, 55(S2), 384–445. <https://doi.org/10.1111/iej.13713>
- Gasner, N. S. B. M. (2023). Endodontic Materials Used To Fill Root Canals. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Gençoğlu N, G. Y. B. M. S. S. (n.d.). Comparison of 4 gutta-percha filling techniques in oval canals. In *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* (93rd ed., pp. 333–336).
- Hu, J., Zhu, Y., Deng, S., Wang, Z., & He, F. (2023). Outcome of root canal treatment using warm vertical compaction with bioceramic and resin-based sealers: A randomised clinical trial. *Australian Endodontic Journal*, 49(S1), 170–178. <https://doi.org/10.1111/aej.12713>

- Jaha, H. S. (2024a). Hydraulic (Single Cone) Versus Thermogenic (Warm Vertical Compaction) Obturation Techniques: A Systematic Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.62925>
- Jaha, H. S. (2024b). Hydraulic (Single Cone) Versus Thermogenic (Warm Vertical Compaction) Obturation Techniques: A Systematic Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.62925>
- Juha, W., Sarkis, E., & Alsayed Tolibah, Y. (2024a). Three-dimensional assessment of obturation volume in lateral canals after three obturation techniques with bioceramic sealer: an in vitro comparative study. *BDJ Open*, 10(1), 50. <https://doi.org/10.1038/s41405-024-00240-5>
- Juha, W., Sarkis, E., & Alsayed Tolibah, Y. (2024b). Three-dimensional assessment of obturation volume in lateral canals after three obturation techniques with bioceramic sealer: an in vitro comparative study. *BDJ Open*, 10(1), 50. <https://doi.org/10.1038/s41405-024-00240-5>
- Koçer, A., Dönmez Özkan, H., & Turk, T. (2022). Postoperative pain intensity and incidence following single visit root canal treatment with different obturation techniques: a randomized clinical trial. *PeerJ*, 10, e13756. <https://doi.org/10.7717/peerj.13756>
- Loiacono, R., Gómez, A., González Clavín, M. C., Pinasco, L. B., Vázquez, D. J., Gualtieri, A. F., & Rodríguez, P. A. (2024). Micro-CT evaluation of the presence of voids in endodontic obturation. *Acta Odontológica Latinoamericana*, 37(1), 3–12. <https://doi.org/10.54589/aol.37/1/3>
- Mahmoud Hamdy Abada, H., Abd El Rahman El Shreif, M., Mohamed Ahmed Ghonimy, F., Osama Abo El-Mal, E., & Saeed Abd Elmonem El gemaie, D. (2025). The effect of different obturation techniques on post-obturation pain and sealer extrusion in single-visit root canal treatment: a prospective clinical randomized study. *Clinical Oral Investigations*, 29(10), 445. <https://doi.org/10.1007/s00784-025-06487-y>
- McMurtrey, L. G., Krell, K. V., & Wilcox, L. R. (1992). A comparison between thermafil and lateral condensation in highly curved canals. *Journal of Endodontics*, 18(2), 68–71. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81373-7](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81373-7)
- Ng, Y. -L., Mann, V., Rahbaran, S., Lewsey, J., & Gulabivala, K. (2007). Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature – Part 1. Effects of study characteristics on probability of success. *International Endodontic Journal*, 40(12), 921–939. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01322.x>
- Rao, M. H., Krishnan, R., Gopal, P., Thomas, E., Kumaraswamy, M., & Keshav, A. (2025). Assessment of Treatment Outcomes with Complete Orthograde Obturation with Bioceramic Materials: A Scoping Review. *The Journal of*

- Contemporary Dental Practice*, 25(12), 1190–1197.
<https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3764>
- Schilder, H. (2006). Filling Root Canals in Three Dimensions. *Journal of Endodontics*, 32(4), 281–290. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.02.007>
- Vemuri, S., Rachamadugu, E. S., Naveena, T., Garlapati, R., Bolla, N., & Basam, R. C. (2024). Comparative evaluation of the effect of three different obturation techniques on push-out bond strength of AH Plus Bioceramic and EndoCeramic sealers: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27(10), 1026–1031.
https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_345_24
- Yu, Y., Yuan, C.-Y., Yin, X.-Z., & Wang, X.-Y. (2024). Assessment of isthmus filling using two obturation techniques performed by students with different levels of clinical experience. *Journal of Dental Sciences*, 19(1), 169–176.
<https://doi.org/10.1016/j.jds.2023.05.010>
- Zamparini, F., Lenzi, J., Duncan, H. F., Spinelli, A., Gandolfi, M. G., & Prati, C. (2024). The efficacy of premixed bioceramic sealers versus standard sealers on root canal treatment outcome, extrusion rate and post-obturation pain: A systematic review and meta-analysis. *International Endodontic Journal*, 57(8), 1021–1042. <https://doi.org/10.1111/iej.14069>

BÖLÜM 3

Endodontide Ağrı ve Ağrı Kontrol Yaklaşımları

Yasemin Özdoğan Eser¹

¹Uzm. Dt., Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Bolu, Türkiye, ORCID: 0009-0000-1032-1324

1. Giriş

Endodontik ağrı, diş pulpası ve periapikal dokulardaki inflamatuvar, enfeksiyöz veya travmatik süreçlerle ilişkili; duysal, duygusal, bilişsel ve motivasyonel bileşenleri bulunan çok boyutlu bir deneyimdir ve hastaların diş hekimine başvurmalarının önemli nedenleri arasında yer almaktadır (Abbott & Parirokh, 2018).

Endodontik ağrı yalnızca tedavi öncesi dönemde görülmemekte; yeterli anestezinin sağlanamaması, pulpal veya periapikal dokuların işlem sırasında uyarılması ya da tedavi sonrasında gelişen inflamatuvar yanıt sonucunda intraoperatif ve postoperatif dönemlerde de ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle ağrı kontrolü, endodontik tedavinin belirli bir aşamasıyla sınırlı olmayıp tanıdan tedavi sonrasındaki döneme kadar devam eden klinik sürecin temel bileşenlerinden birini oluşturmaktadır (Tomizioli vd., 2025).

Endodontik ağrı kontrolü, yalnızca ağrının farmakolojik olarak baskılanmasına dayanmamaktadır. Ağrının etiyolojik kaynağının belirlenmesi ve uygun endodontik girişimle kontrol altına alınması temel yaklaşımı oluşturmaktadır (Abbott & Parirokh, 2018).

Bu bölümde endodontik ağrının nörofizyolojik ve klinik özelliklerinin ele alınması; lokal anestezikler, analjezikler, kortikosteroidler ve antibiyotiklerin ağrı yönetimindeki yerlerinin değerlendirilmesi ve preoperatif, intraoperatif ve postoperatif dönemleri kapsayan ağrı kontrol yaklaşımlarının bütüncül bir çerçevede incelenmesi amaçlanmaktadır.

2. Endodontik Ağrının Nörofizyolojik Temelleri

Endodontik ağrının klinik özelliklerinin anlaşılabilmesi, pulpa ve periapikal dokuların duysal innervasyonunun ve inflamasyon sırasında meydana gelen nörofizyolojik değişikliklerin değerlendirilmesini gerektirmektedir. Dental pulpa yoğun biçimde innerve edilen bir bağ dokusu olup termal, mekanik ve kimyasal uyarılara karşı gelişen duysal yanıtların oluşumunda farklı özelliklere sahip sinir lifleri rol oynamaktadır (Zhan, Huang, Yang, & Hou, 2021).

2.1. Pulpa ve Periapikal Dokuların Duyusal İnnervasyonu

Dental pulpanın duysal innervasyonu başlıca trigeminal sinirin maksiller ve mandibular dallarından köken alan afferent sinir lifleri tarafından sağlanmaktadır. Sinir lifleri pulpa dokusuna apikal foramen ve mevcut aksesuar kanallar aracılığıyla girmekte, kan damarlarıyla birlikte koronal yönde ilerlemektedir. Koronal pulpada dallanan sinir lifleri özellikle odontoblast tabakasının altında yoğunlaşarak subodontoblastik sinir plexusunu (Raschkow sinir plexusu) oluşturmaktadır (Ronan, Nagel, & Emrick, 2024).

Periapikal dokuların duysal innervasyonu, farklı morfolojik ve fonksiyonel özelliklere sahip sinir sonlanmalarından oluşmaktadır. Byers'in deneysel sıçan

molar modelinde gerçekleştirdiği çalışmada, periapikal dokulara ilişkin dokuz farklı trigeminal innervasyon paterni tanımlanmıştır. Apikal bölgede serbest sinir sonlanmalarının, apikal foramen düzeyinde damarlarla ilişkili sinir liflerinin ve periodontal dokularda Ruffini tipi mekanoreseptörlerin bulunduğu bildirilmiştir. Serbest sinir sonlanmaları nosiseptif uyaranların algılanmasına katkıda bulunurken, periodontal ligamentteki Ruffini tipi mekanoreseptörler mekanik kuvvetlerin algılanması ve proprioseptif duyunun oluşumunda rol oynamaktadır. Bu nöroanatomik çeşitliliğin, inflamasyonun apikal periodontal dokulara yayılmasıyla perküsyon ve çiğneme gibi mekanik uyaranlara karşı gelişen duyarlılığın açıklanmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir (Byers, 2025).

Pulpal duyunun önemli özelliklerinden biri, farklı nitelikteki uyaranların büyük ölçüde ağrı olarak algılanmasıdır. Dentine uygulanan termal, mekanik veya ozmotik uyaranlar, dentin tübüllerindeki sıvı hareketi aracılığıyla pulpal sinir uçlarını aktive edebilmekte ve farklı karakterlerde ağrı yanıtlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Kaur, Lau, Rohilla, & Pancharia, 2026).

2.2. A-delta ve C Sinir Liflerinin Endodontik Ağrıdaki Rolü

Dental pulpanın nosiseptif iletiminde başlıca A-delta lifleri ve C lifleri rol oynamaktadır. C liflerinden daha büyük çaplı olan A-delta lifleri, pulpa-dentin kompleksine yakın bölgelerde yoğunlaşmaları nedeniyle dentin tübüllerindeki sıvı hareketlerinden ve termal değişikliklerden etkilenebilmektedir. Bu liflerin aktivasyonu genellikle keskin, kısa süreli ve nispeten iyi lokalize edilebilen ağrı ile ilişkilendirilmektedir (Abd-Elmeguid & Yu, 2009).

C lifleri ise miyelinsiz olmaları nedeniyle daha yavaş iletim göstermekte ve pulpanın daha derin bölgelerinde bulunmaktadır. Bu liflerin aktivasyonu daha çok künt, zonklayıcı, yaygın ve uzun süre devam eden ağrı ile ilişkilendirilmektedir. İnflamasyonun ilerlemesi, pulpal mikrosirkülasyondaki değişiklikler ve doku basıncındaki artış C liflerinin aktivasyonunu artırabilmekte ve spontan ağrının belirginleşmesine katkıda bulunabilmektedir (R. Ackerley & Watkins, 2018).

A-delta ve C liflerinin yapısal ve fonksiyonel farklılıkları, pulpal ağrının klinik karakterinin açıklanmasına katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, hastanın deneyimlediği ağrı yalnızca belirli bir sinir lifi grubunun aktivasyonuna bağlı olmamakta; inflamasyonun derecesi, periferik sensitizasyon ve santral sinir sisteminde meydana gelen değişiklikler de ağrının niteliğini ve şiddetini etkilemektedir (Bender, 2000).

2.3. İnflamatuvar Mediyatörler ve Periferik Sensitizasyon

Pulpal ve periapikal inflamasyon sırasında doku hasarı ve immün yanıt sonucunda prostaglandinler, bradikinin, histamin, sitokinler ve çeşitli nöropeptidler açığa çıkmaktadır. Bu mediyatörler nosiseptif sinir uçlarının aktivasyonunu ve duyarlılığını artırabilmektedir. Nosiseptörlerin uyarılma

eşiğinin azalması ve uyaranlara verilen yanıtın artması periferik sensitizasyon olarak tanımlanmaktadır (Pohl vd., 2024).

Periferik sensitizasyon sonucunda normal koşullarda sınırlı bir duyuşsal yanıt oluşturabilecek termal veya mekanik uyaranlar daha şiddetli ağrıya neden olabilmekte, spontan nöronal aktivitenin gelişmesi ise dış uyaran bulunmaksızın ağrı hissedilmesine katkıda bulunabilmektedir. Semptomatik pulpal ve periapikal hastalıklarda gözlenen spontan ağrı ve hiperaljezinin yanı sıra, normal koşullarda ağrı oluşturmeyen mekanik uyaranların ağrılı olarak algılanması şeklinde tanımlanan allodini de periferik sensitizasyonla ilişkili olarak ortaya çıkabilmektedir. Uyaran ortadan kaldırıldıktan sonra ağrının devam etmesinde de bu mekanizmalar rol oynamaktadır (Sipert, Shimizu, Paula-Silva, Kawashima, & Okiji, 2024).

İnflamasyonun nöronal uyarılabilirlik üzerindeki etkileri lokal anestezi başarısı açısından da klinik önem taşımaktadır. Nosiseptörlerin artmış duyarlılığı ve voltaj kapılı sodyum kanallarında meydana gelebilen fonksiyonel değişiklikler, özellikle semptomatik irreversibl pulpitisli dişlerde yeterli pulpal anestezinin sağlanmasını güçleştirebilmektedir (Drum, Reader, Nusstein, & Fowler, 2017).

2.4. Santral Sensitizasyon

Periferik dokulardan merkezi sinir sistemine ulaşan yoğun ve devamlı nosiseptif uyarı, ağrı iletiminden sorumlu santral nöronların yanıt özelliklerinde değişikliklere neden olabilmektedir. Santral nöronların uyarılabilirliğinin artması ve duyuşsal girdilere daha güçlü yanıt vermesi santral sensitizasyon olarak ifade edilmektedir. Uzmanış nosiseptif girdi santral duyarlılık değişikliklerine katkıda bulunabilmekle birlikte, klinik ağrı özellikleri tek başına santral sensitizasyon tanısı koydurmamaktadır (Sooratgar vd., 2021).

Santral sensitizasyon gelişmesiyle ağrının şiddeti periferik doku hasarının düzeyiyle doğrudan orantılı olmayabilmekte ve ağrı daha geniş bir bölgede algılanabilmektedir. Bu durum endodontik ağrının lokalizasyonunu güçleştirebilmekte ve yansıyan ağrıların ortaya çıkmasına katkıda bulunabilmektedir. Özellikle uzun süre devam eden şiddetli pulpal ağrıda santral ağrı yollarındaki değişikliklerin klinik önemi artabilmektedir (Hodges vd., 2026; Sooratgar vd., 2021).

Periferik ve santral sensitizasyonun birlikte değerlendirilmesi, endodontik ağrı yönetiminin yalnızca semptomların baskılanmasına indirgenmemesi gerektiğini göstermektedir. Nosiseptif girdinin kaynağının uygun endodontik tedaviyle kontrol altına alınması ve inflamatuvar yanıtın gerektiğinde farmakolojik yaklaşımlarla modüle edilmesi, etkili ağrı yönetiminin temelini oluşturmaktadır (Khan & Diogenes, 2021; Santini vd., 2021).

3. Endodontik Ağrının Klinik Özellikleri ve Değerlendirilmesi

Endodontik ağrının etkili biçimde yönetilebilmesi, öncelikle ağrının kaynağının doğru belirlenmesini gerektirmektedir. Ağrının şiddeti tek başına pulpal veya periapikal hastalığın niteliğini belirlemek için yeterli değildir. Ağrının başlangıcı, süresi, karakteri, lokalizasyonu, yayılımı, spontan veya provoke olması ve uyaran ortadan kaldırıldıktan sonraki seyri birlikte değerlendirilmelidir. Ağrı şiddetinin görsel analog skala (VAS), sayısal derecelendirme ölçeği (NRS) veya sözel derecelendirme ölçeği (VRS) gibi standart yöntemlerle kaydedilmesi, başlangıç bulgularının belgelenmesine ve tedaviye verilen yanıtın izlenmesine yardımcı olmaktadır (Abbott & Parirokh, 2018).

Klinik değerlendirmede hastanın öyküsü; termal ve elektrikli pulpa testleri, perküsyon, palpasyon, periodontal sondalama ve mobilite değerlendirmesi gibi tanısal testlerle desteklenmelidir. Elde edilen yanıtlar komşu ve karşıt dişlerle karşılaştırılmalı; radyografik bulgular klinik verilerle birlikte yorumlanmalıdır. Pulpa duyarlılık testleri pulpanın gerçek kanlanması değil, duyuşal sinir yanıtını değerlendirdiğinden tek başına pulpal durumun kesin göstergesi olarak kabul edilmemelidir. Benzer biçimde, klinik belirtilerin şiddeti ile pulpadaki histopatolojik değişikliklerin düzeyi her zaman doğrudan örtüşmeyebilmektedir (Samir vd., 2023).

Ağrının belirli bir dişle ilişkilendirilemediği veya klinik bulgularla açıklanamadığı durumlarda odontojenik olmayan ağrı kaynakları da göz önünde bulundurulmalıdır. Maksiller sinüzit, temporomandibular bozukluklar, miyofasiyal ağrı, nöropatik ağrı ve diğer kraniyofasiyal ağrı tabloları endodontik ağrıyı taklit edebilmektedir. Bu nedenle geri dönüşü olmayan bir endodontik girişimden önce ağrının odontojenik kaynağı klinik ve radyografik bulgularla doğrulanmalıdır (Duncan & El-Karim, 2025; Duncan vd., 2023).

3.1. Pulpal ve Periapikal Kaynaklı Ağrının Klinik Özellikleri

Pulpal ağrının klinik özellikleri inflamasyonun derecesine ve aktive olan sinir liflerinin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. İleri pulpal inflamasyon tablolarında spontan, uzayan veya yansıyan ağrı görülebilmekle birlikte, klinik semptomların histopatolojik durumla her zaman doğrudan örtüşmediği göz önünde bulundurulmalıdır (Pohl vd., 2024).

Periapikal dokuların inflamatuvar sürece katılmasıyla ağrı daha iyi lokalize edilebilir hâle gelmektedir. Perküsyon veya çiğneme sırasında hassasiyetin ortaya çıkması, apikal periodontal dokuların mekanik uyaranlara duyarlılığının arttığını gösterebilmektedir. Bu nedenle pulpal ve apikal tanının birlikte değerlendirilmesi, ağrının kaynağının belirlenmesi ve uygun tedavinin planlanması açısından önem taşımaktadır (Samir vd., 2023).

3.2. Preoperatif Ağrının Değerlendirilmesi

Preoperatif ağrının şiddeti ve süresi, tedavi sırasında ve sonrasında gelişebilecek ağrı açısından önemli klinik göstergeler arasında bulunmaktadır. Uzun süredir devam eden veya şiddetli ağrı, periferik ve santral sensitizasyonun artmasına katkıda bulunabilmekte ve lokal anesteziye verilen yanıtı etkileyebilmektedir (Alı vd., 2016).

3.3. İntraoperatif Ağrı

İntraoperatif ağrı çoğunlukla yeterli pulpal anestezinin sağlanamamasıyla ilişkili olmakla birlikte, periapikal dokuların mekanik veya kimyasal olarak uyarılması da ağrıya neden olabilmektedir. Özellikle semptomatik irreversibl pulpitisli dişlerde teknik olarak uygun lokal anestezi uygulamasına rağmen pulpal duyarlılık devam edebilmektedir (Arora vd., 2026).

Tedavi sırasında ağrı ortaya çıktığında işlemin sürdürülmesi yerine ağrının olası kaynağı değerlendirilmelidir. Yetersiz anestezinin söz konusu olduğu durumlarda destekleyici anestezi uygulanması; periapikal dokuların mekanik irritasyonunun düşünüldüğü durumlarda ise çalışma boyu, preparasyon sınırları ve kullanılan endodontik teknikler gözden geçirilmelidir (Arora vd., 2026; Tomizioli vd., 2025).

3.4. Postendodontik Ağrı

Postendodontik ağrı, kök kanal tedavisini takiben ortaya çıkan ağrı veya hassasiyeti ifade ederken; flare-up, tedavi seansları arasında ya da tedavi sonrasında gelişen ve planlanmamış acil klinik müdahale gerektiren belirgin ağrı ve/veya şişlik tablosu olarak tanımlanmaktadır (Vishwanathaiah vd., 2021).

Preoperatif ağrı, semptomatik apikal periodontitis, kadın cinsiyeti, apikal debris ekstrüzyonu, apikal sınırların ötesine taşan preparasyon veya irrigasyon ve oklüzal travma, postendodontik ağrı gelişimiyle ilişkili risk faktörleri arasında yer almaktadır (Tomizioli vd., 2025).

Bu nedenle postendodontik ağrının yönetimi yalnızca tedavi sonrasında analjezik reçete edilmesine indirgenmemelidir. Çalışma boyunun doğru belirlenmesi, periapikal dokuların korunması, apikal debris ve irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonunun önlenmesi, oklüzal faktörlerin değerlendirilmesi ve etiyolojik etkenlerin kontrol altına alınması, postendodontik ağrının önlenmesine yönelik yaklaşımın temel bileşenlerini oluşturmaktadır (Tomizioli vd., 2025).

4. Endodontik Ağrı Kontrolünde Lokal Anestezi

Lokal anestezi, endodontik tedavi sırasında ağrı kontrolünün temel farmakolojik yöntemini oluşturmaktadır. Bununla birlikte klinik başarı yalnızca kullanılan anestetik ajana bağlı bulunmamakta; pulpal tanı, inflamasyonun

derecesi, anatomik bölge, enjeksiyon tekniği ve hastaya özgü faktörlerden etkilenmektedir (Saraf vd., 2026).

4.1. Lokal Anesteziklerin Etki Mekanizması ve Klinik Etkinliği Belirleyen Faktörler

Lokal anestezikler, nöronal membranda bulunan voltaj kapılı sodyum kanallarını inhibe ederek aksiyon potansiyelinin oluşmasını ve iletilmesini geri dönüşümlü biçimde engellemektedir. Noniyonize formdaki lokal anestezik moleküllü sinir membranını geçmekte, hücre içinde iyonize hâle geldikten sonra sodyum kanalının iç yüzeyine bağlanarak sinir iletimini baskılamaktadır. Tekrarlayan nöronal aktivite sırasında kanalların açık ve inaktive durumlarına bağlanmanın artması, kullanıma ve voltaja bağlı blok oluşmasına katkıda bulunmaktadır (Fozzard, Lee, & Lipkind, 2005).

Lokal anesteziklerin etki başlangıcı, gücü ve süresi; pKa, lipit çözünürlüğü, proteinlere bağlanma oranı, kullanılan doz ve vazokonstriktör varlığı gibi farmakolojik özelliklerden etkilenmektedir. Klinik başarı ayrıca pulpal ve periapikal tanı, inflamasyonun düzeyi, anatomik bölge, enjeksiyon tekniği ve hastaya özgü faktörlere bağlıdır. İnflamasyonlu dokulardaki düşük pH, anestezik moleküllerin sinir membranından geçebilen noniyonize formunu azaltabilmektedir (Janani, Venkata Teja, K, Apoorva Vasundhara, & Jose, 2022). Bununla birlikte semptomatik irreversibl pulpitisli dişlerde görülen anestezi güçlüğü yalnızca doku pH'sıyla açıklanamamakta; periferik sensitizasyon, artmış nöronal uyarılabilirlik ve sodyum kanallarındaki değişiklikler de anestezi başarısızlığına katkıda bulunmaktadır (Ji, Nackley, Huh, Terrando, & Maixner, 2018).

4.2. Endodontide Kullanılan Lokal Anestezik Ajanlar

4.2.1. Lidokain

Lidokain, diş hekimliğinde uzun yıllardır yaygın biçimde kullanılan amid grubu bir lokal anestezik olup diğer lokal anesteziklerin klinik etkinliklerinin değerlendirilmesinde sıklıkla referans ajan olarak kabul edilmektedir. Güvenilir farmakolojik profili, öngörülebilir etki başlangıcı ve farklı enjeksiyon teknikleriyle kullanılabilmesi, lidokainin endodontik uygulamalardaki önemini sürdürmesini sağlamaktadır. Lidokain çoğunlukla vazokonstriktör içeren preparatlar şeklinde kullanılmaktadır (Karunajothi vd., 2026).

Endodontik tedavide lidokain özellikle inferior alveolar sinir bloğu gibi rejonel anestezi tekniklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, semptomatik irreversibl pulpitisli mandibular posterior dişlerde teknik olarak başarılı bir sinir bloğuna rağmen yeterli pulpal anestezi her zaman elde edilemeyebilmektedir. Bu durum lidokainin farmakolojik olarak yetersiz bir ajan olduğunu göstermemekte; inflamasyonlu pulpal dokuda meydana gelen nörofizyolojik değişikliklerin ve mandibular anestezinin klinik sınırlılıklarının önemini ortaya koymaktadır (Gandhi vd., 2021).

4.2.2. Artikain

Artikain, diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan ve sahip olduğu özgün kimyasal yapı nedeniyle diğer amid grubu lokal anesteziklerden ayrılmaktadır. Molekölün aromatik bölümünde klasik benzen halkası yerine tiyofen halkasının bulunması, lipit çözünürlüğünün ve biyolojik membranlardan geçiş kapasitesinin artmasına katkıda bulunmaktadır. Bunun yanında artikain molekülünün yapısında bir ester grubunun da bulunması, diğer amid lokal anesteziklerden farklı olarak metabolizmasının önemli bir bölümünün plazma esterazları aracılığıyla gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır (Hurtado vd., 2026).

Artikainin yumuşak doku ve kemik içerisindeki difüzyon kapasitesi, maksiller infiltrasyonların yanı sıra mandibular bölgede gerçekleştirilen destekleyici infiltrasyon uygulamalarında da etkili bir seçenek oluşturmasını sağlamaktadır. Mandibular posterior bölgede kortikal kemiğin daha yoğun olması infiltrasyon anestesinin etkinliğini sınırlandırarak birlikte, artikainin bu bölgede özellikle primer sinir bloğuna ilave olarak uygulanması klinik anestezi derinliğinin artırılmasına katkıda bulunabilmektedir bu da artikainin endodontide en önemli kullanım alanlarından birini oluşturmaktadır (Aggarwal, Jain, & Kabi, 2009; Hurtado vd., 2026; Luo vd., 2022).

4.2.3. Mepivakain

Endodontik uygulamalarda mepivakain, özellikle vazokonstriktör kullanımının sınırlandırılmasının düşünüldüğü seçilmiş hastalarda alternatif bir lokal anestezi olarak değerlendirilebilmektedir. Bununla birlikte, sistemik hastalığı bulunan bir hastada yalnızca vazokonstriktör içermeyen bir ajan seçilmesi yeterli bir güvenlik yaklaşımı oluşturmamaktadır. Hastanın tıbbi durumu, uygulanacak toplam lokal anestezi miktarı, işlem süresi ve yetersiz ağrı kontrolünün oluşturabileceği fizyolojik stres birlikte değerlendirilmelidir (Eskandarinezhad, Ghasemi, Rostami, & Abdollahi, 2023; Vieira, Paranhos, Cericato, Franco, & Ribeiro, 2018).

Randomize klinik çalışmaların değerlendirildiği bir ağ meta-analizinde tüm lokal anestezi ajanları arasında, inferior alveolar sinir bloğunun (İASB) başarı oranını artırmada mepivakainin (SUCRA = 0,81) ilk sırada yer aldığı; mepivakaini sırasıyla prilokainin (SUCRA = 0,62), artikainin (SUCRA = 0,54), bupivakainin (SUCRA = 0,41) ve lidokainin (SUCRA = 0,13) izlediği görülmüştür (Nagendrababu vd., 2019).

Sonuç olarak mepivakain, uygun hasta seçimi ve dikkatli doz planlamasıyla, endodontik işlemlerde etkili bir lokal anestezi alternatif olarak değerlendirilebilmektedir (Eskandarinezhad vd., 2023).

4.2.4. Prilokain

Prilokain, amid grubu bir lokal anestezi olup dental uygulamalarda vazokonstriktörlü veya vazokonstriktörsüz formülasyonlar hâlinde kullanılabilir. Klinik etkinliği açısından güvenilir bir alternatif olmakla birlikte metaboliti olan orto-toluidin, hemoglobini oksitleyerek doza bağlı methemoglobinemi gelişimine neden olabilmektedir. Bu nedenle konjenital veya edinilmiş methemoglobinemisi, ciddi anemisi ya da methemoglobinemi riskini artıran ilaç kullanımı bulunan hastalarda dikkatli olunmalıdır (Richter, 2011; Vasters vd., 2006).

4.2.5. Bupivakain

Bupivakain, uzun etkili amid grubu bir lokal anestezi olup yüksek protein bağlanma özelliği nedeniyle anestezi etkisinin uzun süre devam etmesiyle karakterizedir. Endodontik uygulamalarda özellikle uzun süren işlemlerde veya tedavi sonrasında erken dönemde analjezik etkinin sürdürülmesinin amaçlandığı seçilmiş olgularda değerlendirilebilir (Jouhar, Ahmed, & Ghani, 2020; Su vd., 2014).

Uzamış periferik sinir bloğu, işlem sonrasında nosiseptif iletimin belirli bir süre daha baskılanmasına katkıda bulunabilmektedir. Bu özellik, preoperatif ağrının şiddetli olduğu veya postendodontik ağrı riskinin yüksek olduğu düşünülen hastalarda avantaj sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, uzun süre devam eden yumuşak doku anestezisi hasta konforunu azaltabilmekte ve dudak, yanak veya dil travması riskini artırabilmektedir (Jouhar vd., 2020; Su vd., 2014).

4.2.6. Lokal Anestezi Ajan Seçimine Klinik Yaklaşım

Endodontik tedavide ideal lokal anestezi ajanının tüm klinik durumlar için tek bir seçenek olarak tanımlanması mümkün olmamaktadır. Lokal anestezi seçimi; ilgili dişin anatomik konumu, pulpal ve periapikal tanı, uygulanacak anestezi tekniği, preoperatif ağrının şiddeti, işlemin beklenen süresi ve hastanın sistemik özellikleri dikkate alınarak bireyselleştirilmelidir (Abbott & Parirokh, 2018).

Lidokain, güvenilir ve öngörülebilir özellikleri nedeniyle temel lokal anestezi ajanlardan biri olmaya devam etmektedir (Karunajothi vd., 2026). Artikain ise özellikle infiltrasyon anestezisi ve mandibular posterior bölgede gerçekleştirilen destekleyici bukkal infiltrasyon uygulamalarındaki klinik özellikleri nedeniyle endodontik pratikte ayrı bir önem taşımaktadır (Aggarwal vd., 2009). Mepivakain ve prilokain belirli hasta gruplarında alternatif seçenekler oluştururken, bupivakain uzun etki süresi nedeniyle seçilmiş klinik durumlarda kullanılabilir (Eskandarinezhad vd., 2023; Su vd., 2014).

4.3. Semptomatik İrreversibl Pulpitiste Lokal Anestezi Güçlükleri

Semptomatik irreversible pulpitis, yeterli pulpal anestezinin sağlanmasının güçleştiği başlıca endodontik durumlardan birini oluşturmaktadır (Li vd., 2026).

Bakteriyel ürünler ve inflamatuvar mediyatörler; Substance P (SP) ve kalsitonin geniyle ilişkili peptit (CGRP) gibi nöropeptitlerin salınımını artırırken Nav1.7, Nav1.8, Nav1.9, TRPV1 ve TRPV4 gibi nosiseptif iyon kanallarının ekspresyonunu da değiştirmektedir. Özellikle tetrodoksine dirençli Nav1.8 ve Nav1.9 sodyum kanallarındaki artış, pulpal sinirlerin uyarılma eşiğini düşürerek nöronal aşırı uyarılabilirliğe ve ağrı iletiminin devam etmesine neden olabilmektedir. Ayrıca inflamasyonun oluşturduğu doku asidozu, lokal anestezi molekülünün iyonize formdaki oranını artırarak sinir membranından geçişlerini azaltabilmektedir. Bu nörofizyolojik ve kimyasal değişiklikler, semptomatik irreversible pulpitisi dişlerde geleneksel lokal anestezi tekniklerinin başarı oranının azalmasını açıklayan temel mekanizmalar arasında yer almaktadır (Cen vd., 2026).

Bu klinik güçlük özellikle mandibular posterior dişlerde belirginleşmektedir. Inferior alveolar sinir bloğu sonrasında dudak ve çevre yumuşak dokularda anestezi gelişmesine rağmen pulpal duyarlılık devam edebilmektedir. Bu nedenle yumuşak doku anestezisinin oluşması, yeterli pulpal anestezinin kesin göstergesi olarak değerlendirilmemelidir (Cho vd., 2019).

Yeterli yumuşak doku anestezisine rağmen pulpal duyarlılığın devam ettiği durumlarda aynı enjeksiyonun tekrarlanmasından ziyade farklı uygulama yollarından yararlanan destekleyici tekniklerin kullanılması daha uygun olabilmektedir (Eldafrawi, Elsewify, & Eid, 2026).

4.4. Destekleyici Lokal Anestezi Teknikleri

İlave bukkal infiltrasyon, intraligamenter, intraosseöz, intraseptal ve intrapulpal anestezi, primer anestezinin yetersiz olduğu endodontik olgularda kullanılabilen destekleyici yöntemler arasında bulunmaktadır (Eldafrawi vd., 2026).

İlave bukkal infiltrasyon özellikle mandibular posterior dişlerde primer sinir bloğunun ardından uygulanabilmekte ve artikain bu amaçla sıklıkla değerlendirilmektedir. İntraligamenter anestezide lokal anestezi solüsyon periodontal ligament aralığına uygulanmakta ve ilgili dişte lokalize pulpal anestezinin artırılması amaçlanmaktadır. İntraosseöz anestezide ise kortikal kemik bariyeri geçilerek anestezi solüsyon doğrudan kansellöz kemiğe ulaştırılmaktadır. İntraseptal enjeksiyon da lokalize destekleyici anestezi sağlayabilen yöntemlerden birini oluşturmaktadır (Singhal vd., 2022; Zargar vd., 2022).

İntrapulpal anestezi, pulpa dokusuna erişim sağlanmasına rağmen ağrının devam ettiği durumlarda uygulanmaktadır. Etkinliği basınçlı enjeksiyona bağlı olup enjeksiyonun kendisinin ağırlı olabilmesi ve pulpal erişim gerektirmesi nedeniyle diğer yöntemlerin yerine rutin olarak kullanılmamakta; pulpal manipülasyon sırasında ağrının devam ettiği dirençli olgularda tamamlayıcı bir

seçenek olarak değerlendirilmektedir (Penukonda, Choudhary, Singh, Sharma, & Pattar, 2024).

Başarısız inferior alveolar sinir bloğu sonrasında klinik koşullara göre destekleyici bukkal infiltrasyon, intraligamenter veya intraosseöz enjeksiyon uygulanabilir; pulpa odasına erişildikten sonra ağrının devam etmesi hâlinde ise intrapulpal anestezi düşünölebilir (Singhal vd., 2022).

5. Endodontik Ağrı Kontrolünde Analjezikler

Farmakolojik analjezi, endodontik ağrının yönetiminde lokal ve etiyolojik tedaviyi tamamlayan önemli bir yaklaşımı oluşturmaktadır. İlaç seçimi ağrının şiddeti ve inflamatuvar karakteri kadar hastanın sistemik durumu, kullanılan diğer ilaçlar ve olası kontrendikasyonlar doğrultusunda gerçekleştirilmelidir (Di Spirito vd., 2022).

5.1. Nonsteroid Antiinflamatuvar İlaçlar

Akut endodontik ağrının önemli bir bölümünde, pulpa ve periapikal dokulardan prostaglandinler, interlökinler ve bradikinin gibi inflamatuvar mediyatörlerin salınımıyla ilişkili inflamatuvar mekanizmalar rol oynamaktadır. Nonsteroid antiinflamatuvar ilaçlar (NSAİİ'ler), endodontide preoperatif ağrının azaltılması, semptomatik irreversibl pulpitisli dişlerde lokal anestezi başarısının artırılması ve endodontik tedavi sonrası ağrının kontrol altına alınması olmak üzere üç farklı destekleyici role sahiptir. Bununla birlikte, farmakolojik ağrı kontrolü, ağrının kaynağını ortadan kaldıran kesin endodontik tedavinin yerine geçmemekte; bu tedaviyi tamamlayan bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Kotowska-Rodziejewicz, Zalewska, & Maciejczyk, 2023).

NSAİİ'ler siklooksijenaz enzimlerinin inhibisyonu sonucunda prostaglandin sentezini azaltarak inflamatuvar hiperaljezinin ve ağrının kontrolüne katkıda bulunmaktadır (Jose, Teja, Palanivelu, Khandelwal, & Siddique, 2022).

Preoperatif NSAİİ uygulaması, prostaglandin sentezini azaltarak inflamatuvar nosiseptif girdiyi sınırlandırabilmekte ve bazı klinik durumlarda postoperatif ağrının azalmasına katkı sağlayabilmektedir (Mrini vd., 2026). Preoperatif ağrıyla başvuran hastalarda lokal inflamatuvar mediyatör düzeylerinin önceden artmış olması, nosiseptif sürecin kesintiye uğratılması amacıyla tedavi öncesi analjezik kullanımını anlamlı kılmaktadır (Venkata Teja, Ramesh, & Vasundhara, 2021).

İbuprofen, bu amaçla en fazla araştırılan NSAİİ olup tek seanslı endodontik tedavilerde öncelikli ilaç seçeneklerinden biri olarak kabul edilmektedir (Venkata Teja vd., 2021).

İnflame pulpa dokusunda artan prostaglandin düzeyleri, ağrı eşiğini düşürmekte ve tetrodotoksine dirençli sodyum kanallarının aktivitesini artırmaktadır. Bu nörofizyolojik değişiklikler, pulpal sinirlerin uyarılabilirliğini

artırarak lokal anesteziye verilen yanıtın azalmasına ve özellikle semptomatik irreversibl pulpitisi dişlerde anestezi başarısızlığına neden olabilmektedir (Kotowska-Rodziewicz vd., 2023).

Lokal anestezi enjeksiyonundan 30–60 dakika önce oral NSAİİ uygulanması, siklooksijenaz enzimini inhibe ederek prostaglandin sentezini azaltmakta ve inflamasyonla ilişkili periferik sensitizasyonu baskılamaktadır. Bu mekanizma sayesinde bölgesel anestezinin etkinliği ve semptomatik irreversibl pulpitisi dişlerde başarılı pulpal anestezi sağlanma olasılığı artırılabilir (Kotowska-Rodziewicz vd., 2023).

5.2. Parasetamol

Parasetamol, analjezik ve antipiretik etkileri nedeniyle endodontik ağrının kontrolünde kullanılabilir. Periferik antiinflamatuvar etkisinin sınırlı olması nedeniyle inflamasyonu baskılama açısından NSAİİ'ler kadar etkili olmamakla birlikte, NSAİİ kullanımının kontrendike olduğu hastalarda alternatif bir analjezik olarak değerlendirilebilir. Ayrıca uygun hastalarda NSAİİ'lerle birlikte kullanılması daha güçlü analjezi sağlayabilir. Karaciğer hastalığı, yoğun alkol kullanımı veya parasetamol içeren başka ilaçların eş zamanlı kullanımı durumunda toplam doz ve hepatotoksikite riski göz önünde bulundurulmalıdır (Khan & Diogenes, 2021).

5.3. Kombine Analjezik Yaklaşımlar

NSAİİ'lerin parasetamolle birlikte uygulanması, farklı ağrı yollarını hedefleyen multimodal bir analjezi yaklaşımıdır (Silva, Costa, Veiga, Cardoso, & Paiva-Santos, 2023). NSAİİ'ler periferik prostaglandin sentezini azaltırken parasetamol analjezik etkisini ağırlıklı olarak santral mekanizmalar üzerinden göstermektedir. Bu nedenle uygun hastalarda ibuprofen–parasetamol kombinasyonu, ilaçların tek başına kullanımından daha güçlü analjezi sağlayabilmekte ve opioid gereksinimini azaltabilmektedir (Silva vd., 2023). Opioidler ise akut endodontik ağrıda rutin olarak kullanılmamalı; NSAİİ ve parasetamolün yetersiz veya kontrendike olduğu sınırlı durumlarda değerlendirilmelidir (Khan & Diogenes, 2021).

6. Endodontik Ağrı Kontrolünde Kortikosteroidler

6.1. Kortikosteroidlerin Etki Mekanizmaları

Kortikosteroidler hücre içi glukokortikoid reseptörleri üzerinden gen ekspresyonunu düzenlemekte ve inflamatuvar yanıtın NSAİİ'lerden farklı bileşenlerini baskılamaktadır. Fosfolipaz A₂ aktivitesinin dolaylı olarak inhibe edilmesi, arazişonik asit metabolizmasının ve buna bağlı olarak prostaglandin ile lökotrien oluşumunun azalmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca proinflamatuvar sitokinlerin ekspresyonunu azaltmaktadır (Mrini vd., 2026).

Bu geniş antiinflamatuvar etki, pulpal ve periapikal inflamasyonla ilişkili ağrının azaltılmasında kortikosteroidlerin potansiyel kullanımının biyolojik temelini oluşturmaktadır (Nath, Daneshmand, Sizemore, Guo, & Enciso, 2018).

6.2. Kortikosteroidlerin Endodontik Ağrı Üzerindeki Etkileri

Sistemik derleme ve meta-analizlerin sonuçları, kortikosteroid uygulamasının plaseboya kıyasla postoperatif ağrı şiddetini 6, 12 ve 24. saatlerde anlamlı düzeyde azalttığını göstermektedir. Analjezik etkinin özellikle tedaviden sonraki ilk 24 saat içerisinde daha belirgin olduğu bildirilmektedir (Alajlan, Carrasco-Labra, Karabucak, & Lee, 2024; Lalfakawmi vd., 2023; Mrini vd., 2026; Shamszadeh, Shirvani, Eghbal, & Asgary, 2018).

Kortikosteroidlerin etkinliği; kullanılan ajana, doza, uygulama zamanına ve uygulama yoluna bağlı olarak değişebilmektedir. Lokal infiltrasyon yoluyla uygulanan deksametazonun intraligamenter uygulamaya kıyasla daha etkili olduğu ve ağrıdaki en belirgin azalmanın 24. saatte gözlemlendiği bildirilmiştir. Bazı çalışmalarda kortikosteroidlerin intrakanal uygulanması, sistemik uygulamaya kıyasla daha düşük görsel analog skala (VAS) skorları ve daha az ek analjezik gereksinimiyle ilişkilendirilmiştir. Lokal uygulama, ilacın inflamasyon bölgesine doğrudan ulaştırılması ve sistemik maruziyetin sınırlandırılması gibi potansiyel avantajlar taşımaktadır. Bununla birlikte uygulama protokollerindeki farklılıklar ve mevcut kanıtların sınırlılığı nedeniyle intrakanal kortikosteroidlerin rutin klinik kullanımına yönelik kesin bir öneride bulunulamamaktadır (Al-Yamoor vd., 2026; Ramya vd., 2026).

6.3. Kortikosteroidlerin Klinik Kullanım ve Sınırlılıkları

Kortikosteroidlerin endodontik ağrı kontrolündeki yeri rutin analjezik tedavinin doğrudan alternatifi olarak değerlendirilmemelidir. Uygulama yolu, doz ve kullanım süresinin yanı sıra hastaya özgü riskler, sistemik hastalıklar ve eş zamanlı ilaç kullanımı göz önünde bulundurulmalıdır (Alajlan vd., 2024).

Bu nedenle kortikosteroidlerin rutin olarak tüm endodontik hastalarda kullanılmasından ziyade, klinik yararın beklendiği seçilmiş olgularda kullanımı daha uygundur (Mrini vd., 2026).

7. Endodontik Enfeksiyonlarda Antibiyotik Kullanımı

Antibiyotiklerin endodontik ağrı yönetimindeki yeri, analjezik ve antiinflamatuvar ilaçlardan belirgin biçimde ayrılmaktadır. Sistemik antibiyotikler doğrudan analjezik etki göstermemektedir (Lockhart vd., 2019).

Avrupa Endodontoloji Derneği (ESE) ve Amerikan Diş Hekimleri Birliği (ADA) tarafından yayımlanan güncel yaklaşımlara göre sistemik antibiyotikler, endodontik enfeksiyonların rutin tedavisinde kullanılmamalıdır. Antibiyotik tedavisi; enfeksiyonun çevre dokulara ilerlediği veya anatomik boşluklara yayılma eğilimi gösterdiği selülit ve osteomyelit gibi durumlarda, konağın

savunma mekanizmalarının yetersiz kalabileceği zamanlarda lokal endodontik tedaviye yardımcı olarak düşünülmelidir. Ateş (>38 °C), genel halsizlik, lenfadenopati, trismus ve iştah kaybı sistemik tutulumun başlıca klinik göstergeleri arasındadır. Bu bulgular, enfeksiyonun lokal sınırlar içerisinde kontrol edilemediğine ve yayılım riskinin arttığına işaret edebilmektedir. Endodontik enfeksiyonlardan farklı bir travma endikasyonu olarak, avülse daimî dişlerin replantasyonu sonrasında güncel dental travma kılavuzları sistemik antibiyotik kullanımını önermektedir (Fouad vd., 2020; Lockhart vd., 2019; Segura-Egea vd., 2018).

Lokalize semptomatik apikal periodontitis, drenajın sağlanabildiği lokalize akut apikal apse veya sistemik bulgu göstermeyen pulpal hastalıklarda antibiyotik kullanımı genellikle gerekli değildir. Bu olgularda tedavinin temelini, kök kanal sisteminin kemomekanik preparasyonu, enfeksiyon kaynağının ortadan kaldırılması ve gerektiğinde drenajın sağlanması oluşturmaktadır. Sistemik antibiyotikler nekrotik ve kanlanması bulunmayan kök kanal sisteminde yeterli konsantrasyona ulaşamadığından, uygun lokal tedavinin yerine geçmemektedir. Gereksiz antibiyotik kullanımı hastayı olası advers etkilerle karşı karşıya bırakmasının yanı sıra antimikrobiyal direnç gelişimine de katkıda bulunmaktadır (Segura-Egea vd., 2018).

Bağışıklık sistemi sağlıklı bireylerde endodontik işlemler sırasında gelişebilen geçici bakteriyemi çoğunlukla konak savunması tarafından kısa sürede ortadan kaldırılmaktadır. Bununla birlikte protez kalp kapağı veya kapak onarımında kullanılan protez materyal varlığı, geçirilmiş enfektif endokardit öyküsü ve belirli konjenital kalp hastalıkları gibi enfektif endokardit açısından yüksek risk oluşturan durumlarda antibiyotik profilaksisi gündeme gelebilmektedir (Ahmadi, Ebrahimi, & Ahmadi, 2021; Segura-Egea vd., 2018). Profilaksi gereksinimi, yapılacak işlemin bakteriyemi oluşturma potansiyeli dikkate alınarak güncel kılavuzlar doğrultusunda ve gerektiğinde hastanın ilgili hekimıyla konsültasyon yapılarak belirlenmelidir. Antibiyotik profilaksisinin mevcut endodontik enfeksiyonun tedavisinden farklı bir amaç taşıdığı ve lokal endodontik tedavinin yerine geçmediği unutulmamalıdır (Segura-Egea vd., 2018).

8. Endodontik Ağrı Kontrol Stratejileri

Endodontik ağrının etkin biçimde yönetilmesi, tek bir farmakolojik ajanın veya klinik girişimin uygulanmasından daha kapsamlı bir yaklaşım gerektirmektedir. Ağrı kontrol stratejisi; mevcut nosiseptif uyarının ortadan kaldırılması, yeni doku irritasyonunun sınırlandırılması ve gerekli durumlarda farmakolojik yöntemlerle ağrı ile inflamasyonun modüle edilmesi esasına dayanmaktadır. Bu nedenle preoperatif, intraoperatif ve postoperatif dönemlerin birbirinden bağımsız değil, aynı klinik sürecin devamı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir (Francisco, Suzuki, Lima, Maciel, & Murrer, 2017).

8.1. Preoperatif Ağrı Kontrolü

Preoperatif ağrı yönetimi doğru pulpal ve periapikal tanının belirlenmesiyle başlamaktadır (Mrini vd., 2026; Venkata Teja vd., 2021).

Şiddetli preoperatif ağrının bulunduğu hastalarda lokal anestezi başarısının azalabileceği ve postoperatif ağrı riskinin artabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Uygun hastalarda preoperatif analjezik veya antiinflamatuvar tedaviden yararlanılabilmekle birlikte, bu yaklaşımın etiyolojik tedaviyi geciktirmemesi gerekmektedir (Mrini vd., 2026; Venkata Teja vd., 2021).

Anestezi güçlüğüünün öngörüldüğü olgularda primer lokal anestezi tekniğinin yanı sıra gerektiğinde kullanılabilecek destekleyici yöntemlerin önceden planlanması, tedavi sırasında ağrı ortaya çıktıktan sonra tekrarlayan ve kontrolsüz enjeksiyonların uygulanmasını önleyebilmektedir. Böylece preoperatif ağrı kontrolü, yalnızca ilaç kullanımına değil, klinik risklerin önceden belirlenmesine dayanan planlı bir süreç hâline gelmektedir (Eldafrawi vd., 2026).

8.2. İntraoperatif Ağrı Kontrolü

İntraoperatif ağrı kontrolünün temelini yeterli lokal anestezi ve biyolojik ilkelere uygun endodontik tedavi oluşturmaktadır. Tedaviye başlamadan önce anestezinin yeterliliği değerlendirilmeli ve gerektiğinde uygun destekleyici anestezi teknikleri uygulanmalıdır (Eldafrawi vd., 2026).

Rubber dam izolasyonu, çalışma boyunun doğru belirlenmesi ve apikal sınırların korunması; debris, irrigasyon solüsyonu ve dolgu materyallerinin periapikal dokulara taşıma riskini azaltmaktadır (Di Spirito vd., 2022).

Akut apikal apse gibi pürülan eksüdanın bulunduğu durumlarda drenajın sağlanması da doku basıncının azaltılmasına ve ağrının kontrolüne katkıda bulunmaktadır (Segura-Egea vd., 2018).

8.3. Postoperatif Ağrı Kontrolü

Postoperatif ağrı yönetiminin ilk basamağı, tedavi sırasında periapikal doku hasarının mümkün olduğunca sınırlandırılmasıdır. Bununla birlikte uygun endodontik tedaviye rağmen inflamatuvar yanıt nedeniyle belirli düzeyde postoperatif ağrı gelişebilmektedir (Di Spirito vd., 2022).

Farmakolojik tedavi gerektiğinde analjezik seçimi hastanın sistemik özellikleri ve ağrının beklenen şiddeti doğrultusunda yapılmalıdır. İnflamatuvar karakterdeki endodontik ağrıda uygun hastalarda NSAİİ'lerden yararlanılabilmekte; parasetamol alternatif veya kombine analjezinin bir bileşeni olarak değerlendirilebilmektedir. Kortikosteroidler ise rutin tedaviden ziyade klinik gereksinim ve hasta özellikleri doğrultusunda seçilmiş durumlarda gündeme gelmektedir (Mrini vd., 2026; Silva vd., 2023).

Hastanın tedavi sonrasında beklenebilecek semptomlar konusunda bilgilendirilmesi de ağrı yönetiminin bir bileşenini oluşturmaktadır. Beklenen postoperatif hassasiyet ile yeniden klinik değerlendirme gerektiren semptomların birbirinden ayrılması, hastanın tedavi sonrası süreci daha doğru yönetmesine katkıda bulunmaktadır (Mogianos & Persson, 2026).

9. Sonuç

Endodontik ağrının etkili yönetimi, doğru pulpal ve apikal tanı ile ağrı kaynağının zamanında ortadan kaldırılmasına dayanmaktadır. İntraoperatif dönemde yeterli lokal anestezi ve gerektiğinde destekleyici enjeksiyon teknikleri uygulanmalı; mekanik, kimyasal ve mikrobiyal periapikal irritasyon sınırlandırılmalıdır.

NSAİİ'ler ve parasetamol, hastaya özgü kontrendikasyonlar dikkate alınarak farmakolojik ağrı kontrolünün temelini oluştururken kortikosteroidler seçilmiş durumlarla sınırlandırılmalıdır. Sistemik antibiyotikler analjezik olarak kullanılmamalı ve yalnızca enfeksiyonun sistemik veya ilerleyici özellik gösterdiği durumlarda lokal tedaviye yardımcı olarak düşünülmelidir.

10. Kaynakça

- Abbott, P. V., & Parirokh, M. (2018). Strategies for managing pain during endodontic treatment. *Australian Endodontic Journal*, 44(2), 99-113. <https://doi.org/10.1111/aej.12249>
- Abd-Elmeguid, A., & Yu, D. C. (2009). Dental pulp neurophysiology: Part 1. Clinical and diagnostic implications. *Journal of the Canadian Dental Association*, 75(1), 55-59.
- Ackerley, R., & Watkins, R. H. (2018). Microneurography as a tool to study the function of individual C-fiber afferents in humans: Responses from nociceptors, thermoreceptors, and mechanoreceptors. *Journal of Neurophysiology*, 120(6), 2834-2846. <https://doi.org/10.1152/jn.00109.2018>
- Aggarwal, V., Jain, A., & Kabi, D. (2009). Anesthetic efficacy of supplemental buccal and lingual infiltrations of articaine and lidocaine after an inferior alveolar nerve block in patients with irreversible pulpitis. *Journal of Endodontics*, 35(7), 925-929. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.04.012>
- Ahmadi, H., Ebrahimi, A., & Ahmadi, F. (2021). Antibiotic therapy in dentistry. *International Journal of Dentistry*, 2021, 6667624. <https://doi.org/10.1155/2021/6667624>
- Alajlan, N., Carrasco-Labra, A., Karabucak, B., & Lee, S. M. (2024). Systemic corticosteroid uses in endodontics—Part 1: Managing postoperative pain. *Journal of Endodontics*, 50(6), 724-734. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2024.03.004>
- Alí, A., Olivieri, J. G., Duran-Sindreu, F., Abella, F., Roig, M., & García-Font, M. (2016). Influence of preoperative pain intensity on postoperative pain after root canal treatment: A prospective clinical study. *Journal of Dentistry*, 45, 39-42. <https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2015.12.002>
- Al-Yamoor, R., Vasile Stefanescu, S., Miheala Iuga, M., Mauricio Espada-Salgado, F., Bilsborrow, S., Venkata Teja, K., & Apoorva Vasundhara, K. (2026). Effect of pre-emptive injection-based corticosteroid administration and its routes on post-endodontic pain: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 18(5), 688-703. <https://doi.org/10.4317/jced.64027>
- Arora, T., Singla, R., Singh Gill, G., Jain, N., Sarkar, A., Saeed Alobaid, A. N., ... Das, G. (2026). Diagnostic accuracy of combined pulp sensibility tests for detecting post-anesthetic pulpal anesthesia in mandibular molars with symptomatic irreversible pulpitis. *Scientific Reports*, 16, 20912. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-49432-z>
- Bender, I. B. (2000). Pulpal pain diagnosis—A review. *Journal of Endodontics*, 26(3), 175-179. <https://doi.org/10.1097/00004770-200003000-00012>

- Byers, M. R. (2025). Sensory innervation of rat molar root pulp and dentin, apex, foramen, cellular cementum, vasculature and periodontium. *Archives of Oral Biology*, 174, 106238. <https://doi.org/10.1016/J.ARCHORALBIO.2025.106238>
- Cen, R., Dai, Y., Li, K. Y., Wu, Z., Li, X., & Zhang, C. (2026). Neural biomarkers in pulpitis and their associations with inflammation and pain perception: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 26(1), 1150. <https://doi.org/10.1186/S12903-026-08438-9>
- Cho, S.-Y., Choi, W., Kim, J., Kim, S.-T., Kim, H.-J., & Jung, I.-Y. (2019). Anesthetic efficacy of an inferior alveolar nerve block in soft tissue and correlation between soft tissue and pulpal anesthesia. *Clinical Oral Investigations*, 23(3), 1061-1065. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2532-9>
- Di Spirito, F., Scelza, G., Fornara, R., Giordano, F., Rosa, D., & Amato, A. (2022). Post-operative endodontic pain management: An overview of systematic reviews on post-operatively administered oral medications and integrated evidence-based clinical recommendations. *Healthcare*, 10(5), 760. <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE10050760>
- Drum, M., Reader, A., Nusstein, J., & Fowler, S. (2017). Successful pulpal anesthesia for symptomatic irreversible pulpitis. *Journal of the American Dental Association*, 148(4), 267-271. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2017.01.002>
- Duncan, H. F., & El-Karim, I. (2025). Endodontic S3-level clinical practice guidelines: The European Society of Endodontology process and recommendations. *British Dental Journal*, 238(7), 580-586. <https://doi.org/10.1038/s41415-025-8335-x>
- Duncan, H. F., Kirkevang, L.-L., Peters, O. A., El-Karim, I., Krastl, G., Del Fabbro, M., ... Segura-Egea, J. J. (2023). Treatment of pulpal and apical disease: The European Society of Endodontology (ESE) S3-level clinical practice guideline. *International Endodontic Journal*, 56(S3), 238–295. <https://doi.org/10.1111/iej.13974>
- Eldafrawi, S., Elsewify, T., & Eid, B. (2026). Pain management in mandibular molars with symptomatic irreversible pulpitis: Mechanisms, clinical efficacy and current evidence: A narrative review. *Pain Research and Management*, 2026(1), 8752885. <https://doi.org/10.1155/PRM/8752885>
- Eskandarinezhad, M., Ghasemi, N., Rostami, P., & Abdollahi, A. A. (2023). Comparison of the success of inferior alveolar nerve anesthesia in the mandibular first molars with symptomatic irreversible pulpitis using two anesthetic solutions of prilocaine and mepivacaine: A randomized controlled clinical trial. *Dental Research Journal*, 20(1), 44. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.372661>

- Fouad, A. F., Abbott, P. V., Tsilingaridis, G., Cohenca, N., Lauridsen, E., Bourguignon, C., ... Levin, L. (2020). International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 2. Avulsion of permanent teeth. *Dental Traumatology*, 36(4), 331-342. <https://doi.org/10.1111/edt.12573>
- Fozzard, H. A., Lee, P. J., & Lipkind, G. M. (2005). Mechanism of local anesthetic drug action on voltage-gated sodium channels. *Current Pharmaceutical Design*, 11(21), 2671-2686. <https://doi.org/10.2174/1381612054546833>
- Francisco, S. S., Suzuki, C. L. S., Lima, A. P. D. S., Maciel, M. C. R., & Murrer, R. D. (2017). Clinical strategies for managing emergency endodontic pain. *RSBO*, 13(3), 209. <https://doi.org/10.21726/rsbo.v13i3.316>
- Gandhi, S., Das, S., Das, A., Agnihotri, Y., Mohan, R., & Dasu Subramanian, V. (2021). Anaesthetic efficacy of lidocaine and articaine in inferior alveolar nerve block combined with buccal infiltration in patients with irreversible pulpitis. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 13(5), S731-S734. https://doi.org/10.4103/JPBS.JPBS_747_20
- Hodges, P. W., Arendt-Nielsen, L., Bannister, K., Clauw, D., Nijs, J., van den Broeke, E., ... Sterling, M. (2026). Central sensitization: when is this the right terminology? *Pain*. <https://doi.org/10.1097/J.PAIN.0000000000004017>
- Hurtado, G., Kaur, N., Bomidi, V. P., Kohli, A. K., Hamid, T., & Zahid, F. (2026). An update on articaine use in dentistry. *Bioinformation*, 22(1), 102. <https://doi.org/10.6026/973206300220102>
- Janani, K., Venkata Teja, K., K, H., Apoorva Vasundhara, K., & Jose, J. (2022). Tackling local anesthetic failure in endodontics. In *Topics in regional anesthesia*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99316>
- Ji, R.-R., Nackley, A., Huh, Y., Terrando, N., & Maixner, W. (2018). Neuroinflammation and central sensitization in chronic and widespread pain. *Anesthesiology*, 129(2), 343-366. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002130>
- Jose, J., Teja, K. V., Palanivelu, A., Khandelwal, A., & Siddique, R. (2022). Analgesic efficacy of corticosteroids and nonsteroidal anti-inflammatory drugs through oral route in the reduction of postendodontic pain: A systematic review. *Journal of Conservative Dentistry*, 25(1), 9-19. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_30_21
- Jouhar, R., Ahmed, M. A., & Ghani, B. (2020). Determination of anesthetic efficacy of lidocaine versus bupivacaine in single visit root canal treatment. *European Endodontic Journal*, 5(2), 68-72. <https://doi.org/10.14744/EEJ.2020.88597>
- Karunajothi, E., Thirumurugan, K., Megalaa, N., Maheswaran, T., Arunkumar, V. R., & Vijaykumar, V. (2026). Indications for lidocaine in contemporary dental

- practice: An overview. *Global Academic Journal of Dentistry and Oral Health*, 8(1), 7-9. <https://doi.org/10.36348/gajdoh.2026.v08i01.003>
- Kaur, A., Lau, H., Rohilla, S., & Pancharia, A. (2026). Dentin hypersensitivity, an enigma revisited: Mechanisms, diagnosis and therapeutic advances. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 29(4), 339-347. https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_41_26
- Khan, A. A., & Diogenes, A. (2021). Pharmacological management of acute endodontic pain. *Drugs*, 81(14), 1627-1643. <https://doi.org/10.1007/S40265-021-01564-4>
- Kotowska-Rodziewicz, A., Zalewska, A., & Maciejczyk, M. (2023). A review of preclinical and clinical studies in support of the role of non-steroidal anti-inflammatory drugs in dentistry. *Medical Science Monitor*, 29, e940635. <https://doi.org/10.12659/MSM.940635>
- Lalfakawmi, S., Gupta, A., Bukhari, S., Abraham, D., Singh, A., & Mrinalini. (2023). Efficacy of corticosteroids on postoperative pain levels after nonsurgical endodontic treatment: An overview of systematic reviews. *Saudi Endodontic Journal*, 13(3), 217-224. https://doi.org/10.4103/SEJ.SEJ_24_23
- Li, X., Chen, X., Wang, Q., Gui, Y., Huang, F., Zhong, D., ... Xie, J. (2026). Evaluation of the effectiveness of local anesthesia approaches for symptomatic irreversible pulpitis: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Dental Medicine*, 6, 1679706. <https://doi.org/10.3389/FDMED.2025.1679706>
- Lockhart, P. B., Tampi, M. P., Abt, E., Aminoshariae, A., Durkin, M. J., Fouad, A. F., ... Carrasco-Labra, A. (2019). Evidence-based clinical practice guideline on antibiotic use for the urgent management of pulpal- and periapical-related dental pain and intraoral swelling. *The Journal of the American Dental Association*, 150(11), 906-921.e12. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2019.08.020>
- Luo, W., Zheng, K., Kuang, H., Li, Z., Wang, J., & Mei, J. (2022). The potential of articaine as new generation of local anesthesia in dental clinics: A review. *Medicine (United States)*, 101(48), E32089. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000032089>
- Mogianos, K., & Persson, A. K. M. (2026). A conceptual framework for understanding patient expectations in individualised anaesthesia and analgesia: A narrative review and future directions. *Journal of Personalized Medicine*, 16(4), 191. <https://doi.org/10.3390/jpm16040191>
- Mrini, R., Salamanca-Ramos, M., Ledezma, P., Pérez, A. R., Aranguren, J., Montecinos, J., ... Pinto-Pardo, N. (2026). Efficacy of NSAIDs and corticosteroids as premedication for post-endodontic pain management: A

- systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 18(1), 105-120. <https://doi.org/10.4317/jced.63455>
- Nagendrababu, V., Pulikkotil, S. J., Suresh, A., Veettil, S. K., Bhatia, S., & Setzer, F. C. (2019). Efficacy of local anaesthetic solutions on the success of inferior alveolar nerve block in patients with irreversible pulpitis: A systematic review and network meta-analysis of randomized clinical trials. *International Endodontic Journal*, 52(6), 779-789. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13072>
- Nath, R., Daneshmand, A., Sizemore, D., Guo, J., & Enciso, R. (2018). Efficacy of corticosteroids for postoperative endodontic pain: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dental Anesthesia and Pain Medicine*, 18(4), 205-221. <https://doi.org/10.17245/JDAPM.2018.18.4.205>
- Penukonda, R., Choudhary, S., Singh, K., Sharma, A., & Pattar, H. (2024). Intrapulpal anesthesia in endodontics: An updated literature review. *Journal of Dental Anesthesia and Pain Medicine*, 24(4), 265-272. <https://doi.org/10.17245/jdapm.2024.24.4.265>
- Pohl, S., Akamp, T., Smeda, M., Uderhardt, S., Besold, D., Krastl, G., ... Widbiller, M. (2024). Understanding dental pulp inflammation: From signaling to structure. *Frontiers in Immunology*, 15, 1474466. <https://doi.org/10.3389/FIMMU.2024.1474466>
- Ramya, K., Singh, V., Tangade, P., Jain, A., Gudali, P. K., Pal, V., & Tripathy, S. S. (2026). Evaluation of local versus systemic corticosteroid therapy in reducing post-endodontic pain and inflammation. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 18(1), 37-39. https://doi.org/10.4103/JPBS.JPBS_1768_25
- Richter, E. (2011). Severe adverse reactions to dental local anaesthetics. *Australian Dental Journal*, 56(4), 445-445. <https://doi.org/10.1111/J.1834-7819.2011.01377.X>
- Ronan, E. A., Nagel, M., & Emrick, J. J. (2024). The anatomy, neurophysiology, and cellular mechanisms of intradental sensation. *Frontiers in Pain Research*, 5, 1376564. <https://doi.org/10.3389/FPAIN.2024.1376564>
- Samir, P., Mahapatra, N., Dutta, B., Bagchi, A., Dhull, K. S., & Verma, R. K. (2023). A correlation between clinical classification of dental pulp and periapical diseases with its pathophysiology and pain pathway. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 16(4), 639-644. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2636>
- Santini, M. F., da Rosa, R. A., Ferreira, M. B. C., Barletta, F. B., Do Nascimento, A. L., Weissheimer, T., ... Só, M. V. R. (2021). Medications used for prevention and treatment of postoperative endodontic pain: A systematic review. *European Endodontic Journal*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.14744/EEJ.2020.85856>

- Saraf, S. P., Saraf, P. A., Prasad, V. V. S. R., Ratnakar, P., Karan, S., & Zinge, P. R. (2026). A comparative clinical study to evaluate the efficacy of lignocaine 2% and articaine 4% for anesthesia of mandibular first molars with irreversible pulpitis. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 29(2), 206-209. https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_1032_25
- Segura-Egea, J. J., Gould, K., Şen, B. H., Jonasson, P., Cotti, E., Mazzoni, A., ... Dummer, P. M. H. (2018). European Society of Endodontology position statement: The use of antibiotics in endodontics. *International Endodontic Journal*, 51(1), 20–25. <https://doi.org/10.1111/iej.12781>
- Shamszadeh, S., Shirvani, A., Eghbal, M. J., & Asgary, S. (2018). Efficacy of corticosteroids on postoperative endodontic pain: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 44(7), 1057-1065. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.03.010>
- Silva, F., Costa, G., Veiga, F., Cardoso, C., & Paiva-Santos, A. C. (2023). Parenteral ready-to-use fixed-dose combinations including NSAIDs with paracetamol or metamizole for multimodal analgesia—Approved products and challenges. *Pharmaceuticals*, 16(8), 1084. <https://doi.org/10.3390/PH16081084>
- Singhal, N., Vats, A., Khetarpal, A., Ahlawat, M., Vijayran, V. K. R., & Harshita. (2022). Efficacy of articaine versus mepivacaine administered as different supplementary local anesthetic techniques after a failed inferior alveolar nerve block with lidocaine in patients with irreversible pulpitis: An in vivo study. *Journal of Conservative Dentistry*, 25(6), 654. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_299_22
- Sipert, C., Shimizu, E., Paula-Silva, F. W. G., Kawashima, N., & Okiji, T. (2024). Characteristics of inflammatory mediators in dental pulp inflammation and the potential for their control. *Frontiers in Dental Medicine*, 5, 1426887. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2024.1426887>
- Sooratgar, A., Ahmadi, Z., Asadi, Y., Dibaji, F., Shamshiri, A. R., & Afkhami, F. (2021). Evaluation of secondary thermal hyperalgesia resulting from pulpal inflammation in patients with symptomatic irreversible pulpitis. *Journal of Endodontics*, 47(6), 902-905. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.02.010>
- Su, N., Wang, H., Zhang, S., Liao, S., Yang, S., & Huang, Y. (2014). Efficacy and safety of bupivacaine versus lidocaine in dental treatments: A meta-analysis of randomised controlled trials. *International Dental Journal*, 64(1), 34-45. <https://doi.org/10.1111/idj.12060>
- Tomizioli, N., Beccherle, M., Zangani, A., Bertajola, A., Colapinto, G., Cordioli, N., ... Albanese, M. (2025). Pain management in endodontics: A narrative review of analgesic use preoperative, intraoperative, and postoperative. *Journal of Applied Cosmetology*, 43(1), 71-80. <https://doi.org/10.56609/JAC.V43I1.464>

- Vasters, F. G., Eberhart, L. H. J., Koch, T., Kranke, P., Wulf, H., & Morin, A. M. (2006). Risk factors for prilocaine-induced methaemoglobinaemia following peripheral regional anaesthesia. *European Journal of Anaesthesiology*, 23(9), 760-765. <https://doi.org/10.1017/S0265021506000913>
- Venkata Teja, K., Ramesh, S., & Vasundhara, K. A. (2021). Analgesic effect of pre-emptive oral NSAIDs on post-endodontic pain levels in single-visit endodontics: A systematic review. *Cumhuriyet Dental Journal*, 24(3). <https://doi.org/10.7126/cumudj.871091>
- Vieira, W. A., Paranhos, L. R., Cericato, G. O., Franco, A., & Ribeiro, M. A. G. (2018). Is mepivacaine as effective as lidocaine during inferior alveolar nerve blocks in patients with symptomatic irreversible pulpitis? A systematic review and meta-analysis. *International Endodontic Journal*, 51, 1104-1117. <https://doi.org/10.1111/iej.12926>
- Vishwanathaiah, S., Maganur, P. C., Khanagar, S. B., Chohan, H., Testarelli, L., Mazzoni, A., ... Patil, S. (2021). The incidence and intensity of postendodontic pain and flareup in single and multiple visit root canal treatments: A systematic review and meta-analysis. *Applied Sciences*, 11(8), 3358. <https://doi.org/10.3390/app11083358>
- Zargar, N., Shojaeian, S., Vatankhah, M., Heidaryan, S., Ashraf, H., Akbarzadeh Baghban, A., & Dianat, O. (2022). Anesthetic efficacy of supplemental buccal infiltration versus intraligamentary injection in mandibular first and second molars with irreversible pulpitis: A prospective randomized clinical trial. *Journal of Dental Anesthesia and Pain Medicine*, 22(5), 339. <https://doi.org/10.17245/jdapm.2022.22.5.339>
- Zhan, C., Huang, M., Yang, X., & 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 4

Kök Kanal İrrigasyon Ajanlarının Etkinliğini Arttırmaya Yönelik Güncel Yaklaşımlar

Elif Yıldız¹
Emre Bodrumlu²

¹Uzm. Dt., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti AD, Zonguldak/TÜRKİYE, ORCID: 0009-0004-2837-4503

² Prof. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti AD, Zonguldak/TÜRKİYE, ORCID: 0000-0001-7748-3264

GİRİŞ

Bakteriler, pulpal ve periapikal hastalıkların gelişiminde temel bir rol oynamaktadır. Endodontik tedavinin temel amacı, apikal periodontitisin gelişimini önlemek veya mevcut olduğu durumlarda periradiküler iyileşmeyi sağlamaktır (Gulabivala ve Ng, 2023). Bu amaç, enfekte veya enflame pulpa dokularının uzaklaştırılması ve kök kanal sistemi içerisinde aseptik bir ortamın oluşturulması yoluyla gerçekleştirilmektedir (Wong, Manoil, Näsman, Belibasakis ve Neelakantan, 2021). Uzun yıllar boyunca kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunun esas olarak endodontik aletlerin görevi olduğu düşünülmüş, irrigasyon solüsyonlarına ise daha az önem verilmiştir (Schilder, 1974). Ancak zamanla ortaya çıkan bilimsel kanıtlar, endodontik aletlerin kök kanal sisteminin önemli bir bölümüne ulaşamadığını ortaya koymuştur (Peters, 2004). Modern endodontide mekanik alet tekniklerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve etkili irrigasyon solüsyonları geliştirilmiş olmasına rağmen apikal dallanmalar, isthmuslar ve lateral kanallar gibi anatomik engeller nedeniyle mikroorganizmaların kök kanal sisteminden tamamen elimine edilmesi hâlâ çözülememiş bir durumdur (Boutsioukis ve Arias-Moliz, 2022; Mehta, Coleman ve Lessani, 2025).

Kök kanal tedavisinin başarısı, kanal sisteminin mekanik ve kimyasal olarak etkin bir şekilde temizlenmesine bağlıdır (Connert vd., 2019; Lewusz-Butkiewicz, Kaczor-Wiankowska, Kulas-Bałaban, Kubala ve Nowicka, 2024). Bu amaçla uygulanan biyomekanik preparasyon, kök kanalındaki nekrotik doku artıklarının, dentin talaşlarının ve mikroorganizmaların uzaklaştırılması ile kanalın obturasyona hazır hale getirilmesini sağlayan temel bir aşamadır. Biyomekanik preparasyon kapsamında gerçekleştirilen eğeleme ve şekillendirme işlemleri, kanal duvarlarından enfekte dentinin mekanik olarak kaldırılmasını sağlarken, aynı zamanda irrigasyon solüsyonlarının ve medikamanların kanalın tüm bölgelerine ulaşabilmesi için uygun bir zemin oluşturmaktadır. Ancak nikel-titanyum ege sisitemlerindeki gelişmelere karşın kök kanal sisteminin anatomik karmaşıklığı; lateral kanallar, isthmus bölgeleri, apikal deltalar ve dentin tübülleri gibi enstrümantasyonun ulaşamadığı alanların varlığı, mekanik preparasyonun tek başına yeterli bir dezenfeksiyon sağlayamamasına neden olmaktadır (Angelo vd., 2026; Anju vd., 2026). Bu nedenle, son yıllarda irrigasyon solüsyonlarının önemi büyük ölçüde artmış bulunmaktadır. Temizleme ve dezenfeksiyon işlemlerinin büyük kısmını ise irrigasyon solüsyonlarının gerçekleştirmesi beklenmektedir (Kolahi vd., 2020). Özellikle bu erişilemeyen bölgelerde yerleşik büyük bakteri kolonizasyonları ve biyofilm yapıları, sadece eğeleme ile ortadan kaldırılamamaktadır. Bu nedenle biyomekanik preparasyonu tamamlayıcı nitelikte uygulanan irrigasyon, kanal içerisindeki debris ve mikroorganizmaların uzaklaştırılmasında kritik bir rol üstlenmektedir (Gulabivala, Patel, Evans ve Ng, 2005). Bununla birlikte, irrigasyon solüsyonlarının kanal sistemi içerisinde yeterli penetrasyon ve etkileşim süresine sahip olabilmesi, solüsyonların aktivasyonu ile doğrudan ilişkilidir; aktivasyon yöntemleri, irrigan akışkanlığını arttırarak solüsyonun zor erişilen anatomik bölgelere ulaşmasını ve buradaki bakteriyel yükün daha etkin şekilde azaltılmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla

biyomekanik preparasyon, irrigasyon solüsyonları ve bunların aktivasyonu birbirini tamamlayan ve kök kanal dezenfeksiyonunun başarısını doğrudan etkileyen unsurlar olarak değerlendirilmelidir (Sakin, Albayrak ve Tunç, 2026).

1. Kök Kanal İrrigasyon Ajanları

Mekanik enstrümantasyon sırasında egeleme ve şekillendirme işlemleri sonucunda organik (nekrotik doku, odontoblastik uzantı artıkları, mikroorganizmalar) ve inorganik (dentin talaşları, hidroksiapatit kristalleri) bileşenlerden oluşan kesim artıkları, debris meydana gelmektedir. Bu artıkların bir kısmı kanal lümeninde gevşek partiküller halinde kalırken, önemli bir kısmı ege basıncı ve sürtünmesiyle kanal duvarlarında ve dentin tübüllerinin ağızlarında smear tabakasını oluşturmaktadır. Bu tabaka dentin tübüllerini tıkayarak irriganların ve medikamanların penetrasyonunu sınırlamakta, ayrıca içerisinde barındırdığı mikroorganizmalar nedeniyle bakteriyel kolonizasyon için uygun bir ortam oluşturmaktadır (Mali vd., 2024). Mekanik enstrümantasyon tek başına bu tabakayı ve debrisini tam olarak uzaklaştıramadığından, irrigasyon solüsyonlarının kullanımı bu aşamada belirleyici rol oynamaktadır (Violich ve Chandler, 2010). Örnek olarak; Sodyum hipoklorit (NaOCl), organik doku artıklarını çözerek debris uzaklaştırılmasına katkı sağlarken, smear tabakasının inorganik bileşenini etkilemede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle EDTA gibi şelasyon ajanları, kalsiyum iyonlarını bağlayarak inorganik komponenti çözmekte ve dentin tübüllerinin açığa çıkmasını sağlamaktadır. NaOCl ve EDTA'nın sıralı kullanımı, organik ve inorganik artıkların birlikte uzaklaştırılmasında sinerjistik bir etki oluşturmakta, böylece kanal duvarlarının daha temiz bir yüzeye kavuşması sağlanmaktadır (Razumova vd., 2026).

Endodontik irrigasyonun etkinliği, temelde kullanılan çözeltilerin fizikokimyasal özelliklerine bağlı olmaktadır. pH, yüzey gerilimi ve reaktivite gibi temel parametreler, bir irrigasyon solüsyonunun performansını belirleyen başlıca etkenlerdir (Orozco-Gallego, Pineda-Vélez, Rojas-Gutiérrez, Rincón-Rodríguez ve Agudelo-Suárez, 2025). Bu özellikler; solüsyonun antimikrobiyal aktivitesini, organik dokuyu çözme kapasitesini, dentin substratı ile etkileşimini ve kök kanal sisteminin anatomik olarak karmaşık bölgelerine nüfuz etme yeteneğini doğrudan etkilemektedir (Gomes, Aveiro ve Kishen, 2023). Bugüne kadar önerilen çok çeşitli irrigasyon solüsyonlarına rağmen, hiçbirisi ideal bir irrigasyon ajanının tüm gerekliliklerini tek başına karşılayamamaktadır. Bu nedenle klinik etkinlik; tek bir çözeltilerin özelliklerinden ziyade, birden fazla irrigasyon ajanının bir protokol dahilinde seçimine, uygulama sırasına ve birbirleriyle etkileşimine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Kumar vd., 2023). Başlıca irrigasyon ajanlarının etki mekanizmaları, avantajları, sınırlamaları ve dentin üzerindeki etkileri Tablo 1'de sunulmuştur (Angelo vd., 2026).

Tablo 1. Başlıca endodontik irrigasyon ajanları, etki mekanizmaları, temel avantajları ve sınırlamaları (Angelo vd., 2026; Aranda vd., 2025; Sachkova vd., 2026).

İrrigan	Mekanizma	Temel Avantajlar	Sınırlamalar
NaOCl	Oksidasyon; protein degradasyonu	Antimikrobiyal ; organik dokuyu çözer	İnorganik smear tabakasını uzaklaştırmaz; kollajen degradasyonuna yol açar
EDTA	Kalsiyum şelasyonu	İnorganik smear tabakasını uzaklaştırır; permeabiliteyi artırır	Potansiyel dentin erozyonu
Sitrik asit/Maleik asit	Şelasyon/demineralizasyon	Özellikle apikal üçlüde etkili smear tabakası temizliği	Standardizasyon u yetersiz; uzun dönem etkileri belirsiz
Klorheksidin (CHX)	Membran bozulması; substantivite (dokuda kalıcılık)	Geniş spektrumlu antimikrobiyal etki; uzun süreli etki	Doku çözücü değildir; NaOCl ile çökelti (presipitat) oluşturur
MTAD	Doksisiklin + sitrik asit + deterjan	Smear tabakasını uzaklaştırır; antimikrobiyal	Doku çözücü değildir; öncesinde NaOCl kullanımı gerektirir
QMix	CHX + EDTA + yüzey aktif madde	Antibakteriyel ve şelasyon etkisini birleştirir	Doku çözücü değildir; öncesinde NaOCl kullanımı gerektirir
Ozonlu su	Güçlü oksidatifpotansiyel	Antimikrobiyal ; yüksek biyouyumluluk ; düşük toksisite	Sınırlı doku çözme kapasitesi; NaOCl'den daha zayıf; stabil değil
Triton	İki bileşenli (A+B) otomiks sistemle karıştırılır; Part B'deki NaOCl (~%4 son	Tek solüsyonda organik ve inorganik doku	Uzun dönem klinik veriler sınırlıdır; maliyeti

	konsantrasyon) ile Part A'daki hafif şelatör (sitrik asit) ve surfaktanların eş zamanlı, sinerjistik etkisi	üzerinde birlikte etkili;	geleneksel tekli solüsyonlara kıyasla daha yüksek olabilir
HEDP (Etidronik asit / 1-hidroksietiliden -1,1-difosfonik asit)	Kalsiyum iyonlarına zayıf-orta düzeyde bağlanır; "sürekli şelasyon" (continuous chelation) kavramıyla doğrudan NaOCl solüsyonu içine katılarak (örn. Dual Rinse HEDP, %9 etidronat + NaOCl) kullanılır	NaOCl'nin aktif klorunu düşürmez; EDTA'ya göre daha az dentin erozyonu	Zayıf şelatör; şelasyon kapasitesi EDTA'dan düşük
İyot potasyum iyodür/Klor dioksit	Antimikrobiyal aktivite	Antimikrobiyal etki	Kanıt düzeyi sınırlı; biyouyumluluk endişeleri; yaygın kullanılmıyor
Doğal irriganlar (bitki kökenli bileşikler)	Biyoaktif bileşikler	Biyoyumlu; düşük sitotoksosite	Etkinlik tutarsız; standardizasyon yok
Nanopartiküller	Yüksek yüzey alanı; sürekli salım	Gelişmiş antibiyofilim etkisi	Sitotoksosite; klinik protokol eksikliği

İdeal bir kök kanal irrigasyon yöntemi, solüsyonun kanal sisteminin tüm bölümlerine (lateral kanallar ve apikal bölge dahil) ulaşmasını sağlamalı ve etkinliğini koruyabilmesi için sık aralıklarla yenilenmelidir. Yöntem, kanal duvarındaki debris, smear tabakası ve mikroorganizmaların uzaklaşmasını sağlamalıdır. Ayrıca solüsyonun apikal forameniden periapikal dokulara istenmeyen taşmasını (ekstrüzyon) önlemeli, klinik olarak kolay, güvenli ve dokulara zarar vermeyecek şekilde uygulanabilir olmalıdır (Boutsoukis ve Arias-Moliz, 2022).

2. Kök Kanal İrrigasyon Ajanlarının Aktivasyonu

Pasif irrigasyon uygulamasının doğasında var olan sınırlamalar, kök kanal sistemi içindeki sıvı davranışını değiştirmeyi amaçlayan aktivasyon stratejilerinin aşamalı olarak geliştirilmesine yol açmıştır (Marx vd., 2025). Kimyasal olarak etkili solüsyonlar kullanılsa dahi, klinik performansları; istmus, lateral kanallar ve apikal dallanmalar gibi anatomik olarak karmaşık bölgelere nüfuz etme, bu bölgelerde dolaşma ve yenilenme konusundaki sınırlı kapasiteleri nedeniyle kısıtlı kalmaktadır (Tonini vd., 2022).

2.1. Geleneksel İrrigasyon Yöntemi

Geleneksel irrigasyon yöntemi, irrigasyon ajanının bir şırınga ve endodontik iğne yardımıyla kanal içerisine manuel olarak verilmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntem, düşük maliyeti, kullanım kolaylığı ve klinik ortamda kolayca uygulanabilir olması nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan irrigasyon tekniğidir (Valizadeh, Gheidari, Daghestani, Mohammadzadeh ve Khorakian, 2024; Willershausen vd., 2015). Ancak etkinliği, iğnenin çapı, dizaynı, kanal içerisine yerleştirilme derinliği ve uygulama basıncı gibi çok sayıda değişkene bağlı olmaktadır (Boutsioukis ve Arias-Moliz, 2022). Bu yöntemin en önemli sınırlılığı, irrigasyon ajanı iğne ucunun yalnızca birkaç milimetre ötesine kadar etkin şekilde nüfuz edebilmesidir; bu nedenle iğne çalışma boyutuna yeterince yaklaştıramadığında, özellikle dar ve eğimli kanallarda apikal üçlü yeterince irrite edilememektedir (Villalta-Briones vd., 2021). Ayrıca kapalı ucu olan hazırlanmış kanallarda, özellikle apikal bölgede hava sıkışması sonucu oluşan "vapor lock" (buhar kilidi) fenomeni, irriganın kanal duvarlarıyla doğrudan temasını engelleyerek penetrasyonunu sınırlayabilmektedir. Bu nedenle klinik olarak yeterli koronal irrigasyon sağlanmış olsa da, apikal bölgede biyofilmin en dirençli şekilde barındığı alanlar yeterince temizlenemeyebilmektedir; bu durum, geleneksel şırınga irrigasyonunun gerekli ancak tek başına yeterli olmayan bir yöntem olarak değerlendirilmesine yol açmaktadır (Boutsioukis vd., 2010). Şırınga ile irrigasyonun, sınırlamalarını gidermek amacıyla, farklı mekanik mekanizmalara, tasarımlara ve etkinlik profillerine sahip çeşitli irrigasyon aktivasyon sistemleri sunulmuştur (Usta, Doğuş ve Gündoğar, 2026). Bu nedenle, solüsyonların değişimini artırmak, kanal duvarları boyunca kayma gerilimini yükseltmek ve biyofilmlerin parçalanmasını sağlamak amacıyla aktivasyon teknikleri geliştirilmiştir (Gomes vd., 2023). Bu bağlamda, dahil edilen çalışmalar, aktivasyon tekniklerinin irigant değişimini iyileştirmeye ve biyofilm parçalanmasına katkıda bulunduğunu belirtmektedir.

İğne tasarımı, pozitif basınçlı irrigasyonun güvenliğini ve etkinliğini etkileyen en önemli değişkenlerden biridir (Psimma, Boutsioukis, Kastrinakis ve Vasiliadis, 2013). İrrigasyon sırasında açık uçlu iğneler çalışma boyutundan 2–3 mm geride, kapalı uçlu (yan delikli) iğneler ise yalnızca 1 mm geride konumlandırılmalıdır (Yersel ve Kırıcı, 2026). Açık uçlu iğneler doğrudan daha güçlü sıvı değişimi sağlayabilir; ancak bunlar aynı zamanda daha yüksek apikal basınçla ilişkilidir ve dolayısıyla daha yüksek bir ekstrüzyon (taşma) riski taşımaktadırlar. Yan delikli (side-vented) iğneler, akışı apikal yönde değil lateral yönde yönlendirerek bu riski azaltmak amacıyla geliştirilmiştir. Çeşitli çalışmalar, bu tasarımın apikal ekstrüzyon riskini azalttığını bildirmektedir (Rajeswari vd., 2025). Ancak lateral kanallardan ekstrüzyon ihtimali ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, yan delikli iğneler pozitif basınçlı irrigasyonun temel sınırlılıklarını tamamen ortadan kaldırmamaktadır. İrrigasyon ajanının yenilenmesi iğne ucuna en yakın bölgede en yüksek düzeyde kalırken, kanal

sisteminin dokunulmamış önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca, iğnenin yerleştirilme derinliği dikkatli bir şekilde dengelenmelidir. Daha derin penetrasyon apikal değişimi iyileştirirken, aynı zamanda iğnenin kanala sıkışması (binding) ve aşırı apikal basınç riskini de artırmaktadır (Guerreiro-Tanomaru, Loiola, Morgental, Leonardo ve Tanomaru-Filho, 2013).

2.2.Manuel Dinamik Aktivasyon

Manuel dinamik aktivasyon, klinik uygulamada hâlâ kullanılan ancak hidrodinamik etkinliği sınırlı olan bir aktivasyon yöntemini temsil etmektedir. Bu teknik, ana kon olarak belirlenmiş kanala uyumlu bir güta perkanın kök kanal içerisine yerleştirilerek aşağı ve yukarı hareket ettirilerek irrigasyon solüsyonunun aktive edilmesi ile sağlanmaktadır (Susila ve Minu, 2019). Başlıca avantajları basitlik, düşük maliyet ve evrensel uygulanabilirlik olup, bu da onu rutin klinik ortamlarda pratik bir seçenek haline getirmektedir. Bununla birlikte, oluşturulan hidrodinamik enerji sınırlıdır ve büyük ölçüde operatörün tekniğine bağlıdır (Gu vd., 2009). Sonuç olarak, irigantın lateral kanallara ve isthmuslara nüfuz etmesini sağlama veya olgun biyofilmi parçalama konusundaki etkinliği sınırlıdır. Manuel dinamik aktivasyon, sıvı dinamikleri üzerinde sınırlı etkinliğe sahip bir aktivasyon yöntemi olarak değerlendirilmelidir(Gomes vd., 2023; Tonini vd., 2022).

2.3.Fırça ile Yapılan İrrigasyon Aktivasyon

Fırça ile irrigasyon aktivasyonu, kök kanal duvarları ile doğrudan mekanik temas kurarak irrigasyon solüsyonlarının etkinliğini artırmayı amaçlayan bir yöntemdir. Bu teknikte, tamamen polipropilenden üretilmiş esnek mikro-fırçalar kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan irrigasyon fırçaları arasında Endobrush (C & S Microinstruments Limited, Markham, Ontario, Kanada) ve NaviTip FX (Ultradent Products Inc., Güney Ürdün, UT) bulunmaktadır. Endobrush, 30 gauge'lık bir irrigasyon iğnesinin ucuna fırça entegre edilerek tasarlanmıştır (Ekim ve Erdemir, 2015). Başka bir fırça türü olan CanalBrush (ColtèneWhaledent, Langenau, Germany) düşük devir (genellikle 450–600 rpm) ile kanal içerisinde döndürülmesi esasına dayanmaktadır. Diğer hidrodinamik temelli aktivasyon sistemlerinden (sonik, ultrasonik) farklı olarak, bu yöntemin etkinliği büyük ölçüde fiziksel temas yoluyla kanal duvarındaki debris ve smear tabakasının mekanik olarak uzaklaştırılmasına dayanmaktadır (Kumari vd., 2026; Salman, Baumann, Hellmich, Roggendorf ve Termaat, 2010). Townsend ve Maki'nin yaptığı çalışmada (Cameron Townsend, 2009), esnek Canal brush ile birlikte bir irigant kullanıldığında, simüle edilmiş kanal uzantılarındaki ve düzensizliklerdeki debrisin etkili biçimde temizlendiği bulunmuştur. Ayrıca çalışmalar, CanalBrush'ın özellikle orta üçlüde pasif ultrasonik irrigasyon ile benzer etkinlik gösterdiğini, ancak apikal üçlüde kanal çapının darlığı nedeniyle fırça kıllarının yeterince genişleyip duvarla tam temas kuramadığını ve bu bölgede etkinliğin diğer aktivasyon yöntemlerine (XP-Endo Finisher,

EndoActivator, PUI) kıyasla daha sınırlı kaldığını göstermektedir. Ayrıca kullanım sonrası fırça kıllarında belirgin deformasyon gözlemlenmiş olup, bu durum tekrarlı kullanımda etkinliğin azalabileceğine işaret etmektedir. Bu nedenle fırça ile aktivasyon, günümüzde tek başına yeterli bir yöntem olarak değil, konvansiyonel irrigasyona veya diğer aktivasyon tekniklerine destek olarak değerlendirilmektedir (Alhat, Mattigatti, Mahaparale, Wahane ve Jadhav, 2024; Protogerou, Arvaniti, Vlachos ve Khabbaz, 2013).

2.4. Negatif Basınç Prensibi ile Çalışan İrrigasyon Yöntemleri

Negatif basınç prensibiyle çalışan irrigasyon sistemleri, geleneksel pozitif basınçlı şırınga irrigasyonundan farklı olarak: irrigan, kanalın koronal kısmından verilmesi ve çalışma boyutuna kadar ilerletilen ince bir mikrokannül aracılığıyla emme (aspirasyon) yoluyla apikal yöne çekilmesiyle gerçekleşmektedir. Bu tasarım, apikal bölgede aşırı basınç oluşumunu ve dolayısıyla irrigasyon ajanı ekstrüzyonu riskini önemli ölçüde azaltırken, aynı zamanda pozitif basınçlı irrigasyonun en önemli sınırlılığı olan "vapor lock" (buhar kilidi) fenomeni önleyerek, apikal bölgede etkin sıvı değişimini sağlamaktadır (Romualdo vd., 2017). Bu sistemin en bilinen örneği olan EndoVac, yüksek hacimli bir aspirasyon sistemi aracılığıyla negatif basınç oluşturarak, özellikle apikal uçluda konvansiyonel iğne irrigasyonuna kıyasla daha fazla irrigan hacminin kanal içerisinde dolaşmasını sağlamaktadır (Nielsen ve Baumgartner, 2007). In vitro çalışmalar, EndoVac'in apikal bölgede debris uzaklaştırma etkinliği açısından geleneksel pozitif basınçlı irrigasyona üstünlük gösterdiğini ortaya koymuştur. Başka bir in vitro çalışmaya göre ise, EndoVac'ın geleneksel 30 gauge iğne ile irrigasyon prosedürlerine kıyasla kanalda önemli ölçüde daha az debris bıraktığı bildirilmiştir (Azhar Ali, Pawar, Kakti, Bichpuriya ve Agwan, 2022). Ancak bu sistemin klinik olarak yaygınlaşmasını sınırlayan temel faktörler; özel ekipman, klinik kurulumun zorluğu ve yeterli operatör eğitimi gerektirmesidir (Buldur ve Kapdan, 2017; Gade, Sedani, Lokade, Belsare ve Gade, 2013; Mitchell, Yang ve Baumgartner, 2010).

2.5. Eğeleme ile Birlikte Yapılan ve Döner Başlıkla Beraber Kullanılan İrrigasyon Yöntemleri

Manuel yöntemlerin operatöre bağımlı ve sınırlı etkinliğini iyileştirmek amacıyla, irrigant akışını artıran ve daha tekrarlanabilir sonuçlar sağlayan mekanik ajitasyon sistemleri geliştirilmiştir (Zhou, Liu ve Guo, 2021). Bunlar arasında esnek polimer uçlara dayalı cihazlar, fırça kaplı uçlar ve kanal preparasyonu sonrasında irrigantı ajite etmek üzere tasarlanmış eğe benzeri sistemler yer almaktadır (Gomes vd., 2023).

İrrigasyonun enstrümantasyon ile sıkı bir şekilde entegre edildiği sistemleri kapsamaktadır. Bu kategorinin en tipik örnekleri Self-Adjusting File (SAF) ve Quantec E sistemidir. SAF, içi boş, sıkıştırılabilir, kafes benzeri bir yapıya sahip bir nikel-titanyum enstrümandır. Kesici bir eğe olduğundan kanalı gerçek

anlamda şekillendirir, ancak geleneksel rotary veya resiprokasyon eğelerinden farklı olarak önceden belirlenmiş bir kesitsel forma sahip değildir; kanal duvarına titreşim hareketiyle üç boyutlu olarak adapte olmaktadır. Bu adaptasyon sırasında, eğenin içi boş yapısından geçen irrigasyon ajanı sürekli bir akışla kanala verilmektedir. İrrigasyon, aletin titreşim ve şekillendirme hareketiyle eş zamanlı olarak aralıklı irrigasyondan farklı olarak gerçekleşmektedir. Bu yaklaşımın öngörülen avantajı, kanalın hem apikal hem de çevresel (sirkumferansiyel) yüzeylerinde irriganın sürekli olarak yenilenmesi ve daha homojen bir temizlik sağlanmasıdır. SAF klinik etkisinin kanal içerisinde irriganın sürekli olarak verilmesine ve yenilenmesine bağlı olmaktadır (El Abbassi ve Sakout, 2026; Metzger, Teperovich, Zary, Cohen ve Hof, 2010). Yapılan bir çalışmada, SAF'ın, şırınga-iğne irrigasyonuna kıyasla bakteri uzaklaştırmada daha etkili olduğu, ancak bu etkinliğin PUI kadar yüksek olmadığı bildirilmiştir. Bunun nedeni, SAF'ın esnek yapısına rağmen kanal duvarlarına sürekli hafif basınç uygulayarak yeni debris oluşturabilmesi ve isthmus gibi karmaşık alanlara yeterince penetre olamamasıdır (Navjot vd., 2021). Quantec E sistemi ise, döner alet enstrümantasyonu sırasında ekipman ile kesintisiz irrigasyon sağlar; yani şırınga yerine sürekli akışkan pompalayan bir irrigasyon dağıtım sistemidir (Naladkar vd., 2024).

Diğer sistemler içinde XP-endo Finisher, farklı bir yaklaşımı temsil etmektedir. Sıcaklığa duyarlı bir alaşımdan üretilen bu enstrüman, vücut sıcaklığında faz dönüşümüne uğrayarak kök kanal morfolojisine uyum sağlamaktadır (Alkahtany, Alfadhel, AlOmair ve Durayhim, 2024). Bu özellik, konvansiyonel enstrümanların ulaşamadığı bölgelerle temas kurulmasını sağlayarak debris uzaklaştırmayı ve irigant dağılımını artırmaktadır. Salt hidrodinamik sistemlerin aksine, XP-endo Finisher mekanik teması sıvı ajitasyonu ile birleştirmektedir (Silva vd., 2025). Bu nedenle etkinliği, hem debris fiziksel olarak parçalama yeteneğiyle hem de irigant hareketini teşvik etme yeteneğiyle ilişkilidir. Bununla birlikte, sıvı dinamikleri üzerindeki etkisi enerji tabanlı aktivasyon sistemlerine kıyasla daha az yoğunudur ve performansı kanal anatomisine ve preparasyonuna bağlı kalmaktadır (Elnaghy, Mandorah ve Elsaka, 2017). Araştırmalar, esnek ve genişleyen tasarımının, özellikle dar apikal oluklar gibi ulaşılması zor bölgelerden irrigasyon sıvılarının etkili bir şekilde karıştırılmasını ve biyofilm, smear tabakası ile kanal içi ilaçların uzaklaştırılmasını sağladığını göstermiştir. XP-Endo Finisher iyi bir etkinlik sergilemiş olsa da, sistematik derlemeler, Pasif Ultrasonik İrrigasyonun (PUI) genel temizlik etkinliği ve kalıntı giderimi açısından sıklıkla daha üstün bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır (Lauritano vd., 2019; Zhou vd., 2021).

2.6. Termal (Isı ile) aktivasyon

Termal (Isı ile) aktivasyon, irigantların fiziksel hareketinden ziyade kimyasal özelliklerinin güçlendirilmesine odaklanan farklı bir stratejiyi temsil etmektedir. En önemli uygulama alanı, doku çözme kapasitesi ve reaktivitesi sıcaklıkla birlikte belirgin şekilde artan sodyum hipoklorittir (Iandolo vd., 2018). Kanal içi ısıtma sistemleri, irigantın sıcaklığını doğrudan kanal içinde yükseltmek ve böylece etki bölgesindeki kimyasal aktivitesini en üst düzeye çıkarmak amacıyla geliştirilmiştir (Barakat vd., 2024). Yapılan bir çalışmada %1'lik NaOCl solüsyonu 45°C'ye ısıtıldığında, oda sıcaklığındaki (20°C) %5,25'lik solüsyon ile eşdeğer doku çözme kapasitesi göstermiştir. Antimikrobiyal etkinlikte 20°C'den 45°C'ye çıkıldığında *Enterococcus faecalis*'e karşı 100 katlık bir artış gözlenmiştir (Sirtes, Walimo, Schaetzle ve Zehnder, 2005). Bu yaklaşım, özellikle organik doku artıklarının veya biyofilm açısından zengin substratların bulunduğu durumlarda avantajlıdır. Bununla birlikte, termal aktivasyon, karmaşık anatomik bölgeler içinde irigant penetrasyonunu veya dağılımını belirgin şekilde iyileştirmemektedir (Gomes vd., 2023). Ayrıca, aşırı ısıtma, özellikle kök duvarları ince olan veya apikal anatomisi zayıflamış dişlerde güvenlik açısından endişe oluşturabilir (Boutsioukis ve Arias-Moliz, 2022). Bu nedenlerle termal aktivasyon, kimyasal etkinliği artıran ancak hidrodinamik aktivasyonun yerini tutmayan tamamlayıcı bir strateji olarak değerlendirilmelidir.

2.7. Sonik ve Ultrasonik Sistemler ile Aktivasyon

Sonik ve ultrasonik irrigasyon aktivasyon sistemlerinin temel çalışma prensibi, salınım yapan aktif sonik/ultrasonik ucun kök kanal sistemindeki irrigasyon solüsyonu içinde oluşturduğu akustik akış ve kavitasyon patlamaları fenomenlerine dayanmaktadır (Hoedke vd., 2021; Mukherjee vd., 2024).

Düşük frekanslı titreşim (1-6 kHz) yoluyla çalışan Sonik aktivasyon, akustik akış ve kavitasyon patlamaları ile iriganların apikal ve lateral kanallara penetrasyon kabiliyetini arttırırken, esnek plastik benzeri uç, kanal duvarlarını deforme etmeden çalışmaktadır. Sonik aktivasyon sistemleri, kanal içinde irigant hareketini iyileştirmek amacıyla osilatör enerji kullanımını gündeme getirmiştir (Eggmann, Vokac, Eick ve Neuhaus, 2020). Başlıca avantajları, güvenli ve kullanımı kolay olmaları olup, kavisli kanallarda dahi çalışma boyuna yakın noktalarda aktivasyona olanak tanımaktadır (Güngördü, Tufenkci ve Sarı, 2025). EndoActivator (EA) ve EDDY (ED) gibi cihazlar nispeten düşük frekanslarda çalışmakta ve enerjiyi irrigasyon ajanlarına aktarmak için esnek, kesici olmayan uçlar kullanmaktadır. Sonik aktivasyon, pasif irrigasyona kıyasla daha fazla irigant değişimi ve sıvı hareketi sağlayarak ana kanalda debris uzaklaştırmanın ve smear tabakası parçalanmasına katkıda bulunmaktadır (Patel vd., 2024). Bununla birlikte, sonik cihazların daha düşük frekansı iriganta aktarılan enerjiyi sınırlamakta, bu da ultrasonik sistemlere kıyasla daha az yoğun bir sıvı

hareketiyle sonuçlanmaktadır (Gomes vd., 2023). Yapılan bir çalışmada sonik cihazların ürettiği titreşimin kavitasyon eşiğinin altında kalması nedeniyle klinik olarak kavitasyon etkisi bulunmamasına rağmen, ultrasonik sistemlerde kavitasyon deneysel olarak net biçimde tespit edilebilmektedir (Swimberghe, De Clercq, De Moor ve Meire, 2019).

EDDY (VDW, Münih, Almanya) (Resim 1), 6 kHz frekansta çalışan, tek kullanımlık ve kesici olmayan esnek bir polimer uca sahip sonik bir irrigasyon cihazıdır. Ucundaki esneklik sayesinde eğimli kanallarda güvenle kullanılabilir ve dentin yapısında herhangi bir düzensizliğe neden olmamaktır. Cihazın kullanımı özel bir başlık gerektirdiğinden, bu başlığın her cihazla uyumlu olmaması EDDY'nin tek zayıf noktası olarak görülebilir (Paixao, Rodrigues, Grenho ve Fernandes, 2022). EDDY, geleneksel sonik cihazlara göre daha yüksek titreşimler üretmekte ve daha güçlü bir sıvı hareketi oluşturarak ultrasonik aktivasyonla arasındaki farkı azaltmaktadır (Chu, Feng, Zhou, Xu ve Zeng, 2023). Yine de hidrodinamik etkisi, genel olarak pasif ultrasonik irrigasyon ile elde edilenden düşük kalmaktadır.



Şekil 1. EDDY Sonik aktivasyon cihazı

Ultrasonik aktivasyon, özellikle pasif ultrasonik irrigasyon (PUI), aktivasyon teknikleri arasında referans standart olarak yaygın şekilde kabul edilmektedir (Van der Sluis, Versluis, Wu ve Wesselink, 2007). Ultrasonik aktivasyonda (25–30 kHz), yüksek frekanslı osilasyon, sıvı içerisinde kavitasyon kabarcıklarının oluşumunu tetikleyerek güçlü mikro-akustik akımlar meydana getirmekte ve bu mekanizma kök kanalındaki organik/inorganik debrisin ve biyofilmin fiziksel olarak uzaklaştırılmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Deshmukh ve Patel, 2026). PUI'de, kesici olmayan bir ultrasonik uç, irrigantla dolu kanal içinde serbestçe titreşerek akustik akış oluşturmakta ve belirli koşullar altında kavitasyon patlamalarına yol açmaktadır (Souza vd., 2019). Akustik akış, hızlı ve çok yönlü sıvı hareketi oluşturarak kanal duvarları boyunca kayma gerilimini

artırmakta ve irigantın karmaşık anatomik bölgelere penetrasyonunu güçlendirmektedir. Mevcut olduğunda kavitasyon, buhar kabarcıklarının oluşumunu ve çökmesini içermekte olup debris ve biyofilmin mekanik olarak parçalanmasına daha fazla katkıda bulunmaktadır (Souza vd., 2019). PUI'nin etkinliği, özellikle smear tabakasının uzaklaştırılması, debris eliminasyonu ve biyofilm parçalanması açısından kapsamlı deneysel ve klinik kanıtlarla desteklenmektedir (Barbosa vd., 2021). Yapılan çalışmalarda ultrasonik aktivasyon tekniklerin biyofilm uzaklaştırmada geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır (Josic vd., 2022; Şimşek ve Hançerlioğulları, t.y.). Bununla birlikte, performansı çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Ultrasonik ucun serbest titreşimi büyük önem taşımaktadır, çünkü kanal duvarlarıyla temas enerji aktarımını azaltmakta ve hidrodinamik etkileri zayıflatmaktadır (Orlowski vd., 2020). Bu sınırlılık, özellikle dar veya kavisli kanallarda önem kazanmaktadır. Ayrıca, yeterli uç hareketine olanak tanımak için uygun kanal preparasyonu gerekmekte olup, etkili aktivasyonu sürdürmek için sürekli irigant yenilenmesi gerekmektedir (Silva vd., 2019). Eş zamanlı uygulama ve aktivasyonu birleştirmek amacıyla, hem irigant değişimini hem de hidrodinamik verimliliği iyileştirmeyi hedefleyen sürekli ultrasonik irrigasyon sistemleri geliştirilmiştir (Souza vd., 2019).

2.8. GentleWave (GW) Multisonik Sistemler

GentleWave sistemi (GWS) (Sonendo Inc, CA), akışkan dinamiği ve akustik enerjiyi kullanarak irrigasyon solüsyonunun kök kanal sistemine dağıtımını sağlayan bir dezenfeksiyon cihazıdır. Bir konsol ve üç farklı el aletinden (Anterior/Premolar, Molar ve Cleanflow) oluşur. Her el aletinde “ses çubuğu” adı verilen akım yönlendirici bulunur. Ses çubuğu, gazdan arındırılmış solüsyonun akışını, sabit sıvıyla etkileşime girecek şekilde sıçramaya dönüştürmektedir. Negatif basınç ortamında gerçekleşen bu hareket, kök kanal sistemi içinde mikro kabarcıkların sürekli oluşumuna ve içe patlamasına yol açarak hidrodinamik kavitasyonu oluşturur. Bu mekanik hareketin sonucu, irrigasyon solüsyonunu kök kanal sistemine ileten çok sesli akustik enerjidir. Negatif basınç ortamı içinde irrigasyon solüsyonunun multisonik aktivasyonu, ultrasonik aktivasyon ve negatif apikal basınçlı irrigasyon tekniklerinin birçok avantajlı özelliğini birleştirmektedir. Bu sistemler, kanal genişletmesine gerek kalmadan kanal içi dezenfeksiyonunu artırmayı hedefleyerek basınç dalgaları, akustik enerji ve sürekli irigant akışının bir kombinasyonu yoluyla sıvı dinamikleri oluşturmaktadır (Gündoğar vd., 2025; Kim, Lévesque, Malkhassian ve Basrani, 2024; Tolley vd., 2026). In vitro çalışmalar, GWS'nin, irrigasyon solüsyonunda herhangi bir taşma olmaksızın kök kanal artıklarının uzaklaştırmasındaki etkin temizlik kapasitesini göstermiştir. Ayrıca, intraradiküler boşluk içindeki mikroorganizmalara ve bunların yan ürünlerine karşı dezenfeksiyon potansiyelinin, ultrasonik irrigasyona kıyasla daha etkili olduğu gösterilmiştir (Chan vd., 2019; Jaramillo ve Arriola, 2021). Yapılan çalışmalarda GW

sisteminin PUI (Alquria vd., 2023; Park, Ordinola-Zapata, Noblett, Lima ve Staley, 2024; Velardi vd., 2022a; Velardi vd., 2022b) ve XP-Endo Finisher (Alquria vd., 2023) gibi geleneksel sistemlere kıyasla bakteriyel DNA, biyofilm ve endotoksinlerde daha üstün bir azalma sağladığı gösterilmiştir. Bu bulgular, karmaşık hidrodinamik akış modelleri oluşturan multisonik enerji iletimi ve akustik kavitasyon sağlama yeteneğine sahip GW sistemi ile ilişkilendirilebilmektedir. Bu tür mekanizmalar, olgunlaşmış biyofilmlerin fiziksel olarak parçalanmasını ve endotoksinlerin kimyasal olarak etkisiz hale getirilmesini sağlayabilmektedir. Ancak, Coaguila-Llerena ve ark. (Coaguila-Llerena, Gaeta ve Faria, 2022), GW ve PUI'nin biyofilm uzaklaştırma etkinliğinin birbirine yakın olduğunu ortaya koymuşlar; böylece, belirli koşullar altında —özellikle kanal şekillendirmesinin yeterli olduğu ve uygun bir irrigasyon protokolünün uygulandığı durumlarda— daha geleneksel ve maliyet etkin sistemlerin de aynı derecede iyi performans gösterebileceğini vurgulamışlardır. Sonuç olarak daha geniş apikal preparasyonlar veya geleneksel şekillendirme protokolleri uygulayan çalışmalarda, PUI gibi geleneksel aktivasyon sistemleriyle karşılaştırılabilir veya daha üstün sonuçlar daha sık bildirilmişken, konservatif veya alet kullanılmayan kanalları ele alan çalışmalarda GW ile daha yüksek mikrobiyal azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, mekanik debridman sınırlı olduğunda ve irrigantın nüfuzunun antimikrobiyal etkinliğin başlıca belirleyicisi haline geldiğinde, GW'nin dezenfeksiyon avantajının daha belirgin olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu sistemler önemli bir maliyetle ilişkilendirilmekte, özel ekipman gerektirmekte ve nispeten sınırlı sayıda klinik ve deneysel çalışmayla desteklenmektedir. Uzun vadeli klinik verilerden yoksun olması nedeniyle rutin kullanımları kısıtlıdır (Coaguila-Llerena vd., 2022).

2.9. Lazer İrrigasyon Aktivasyonu

Işığın uyarılmış emisyon yoluyla yükseltilmesi (lazer), endodontide çok sayıda uygulama alanında, en dikkat çekici şekilde kök kanalı temizliğini ve dezenfeksiyonunu güçlendirmede kanıtlanmış etkinlik göstermiştir. Lazer destekli irrigasyon, sıvı dinamiklerini güçlendirmek için fotoakustik mekanizmaları devreye sokarak aktivasyon stratejilerinde daha ileri bir evrimi temsil etmektedir (Meire ve De Moor, 2024). Lazer aktivasyonlu irrigasyon amacıyla günümüzde çeşitli lazer tipleri kullanılmaktadır; bunların en yaygın kullanılanları Erbiyum katkılı: İttriyum Alüminyum Garnet (Er:YAG), Neodimyum katkılı: İttriyum Alüminyum Garnet (Nd:YAG) ve diyet lazerlerdir. Er:YAG lazerlerin çalışma dalga boyu (2940 nm), suyun absorpsiyon spektrumuyla uyum göstermektedir; bu sayede irrigasyon ajanı ile etkileşerek kavitasyon kabarcıkları oluşturmakta ve bu kabarcıklar daha sonra yüksek hızda çökerek şok dalgaları üretmektedir (Deshmukh ve Patel, 2026; Nagahashi vd., 2022; Swimberghe vd., 2022). Yapılan bir çalışmada Er:YAG lazerin aktivasyonu ile yapılan irrigasyonun, Nd:YAG lazer ile yapılan kök kanal

dezenfeksiyonuna ve konvansiyonel irrigasyona göre daha fazla biyofilm elimine ettiği bulunmuştur (Özkaya, 2012).

Son zamanlarda, bazı lazer aktivasyon yöntemleri, fotonla başlatılan fotoakustik akım (PIPS) ve şok dalgasıyla güçlendirilmiş emisyonlu fotoakustik akım (SWEEPS) olarak geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde, lazer enerjisini iletmek için giriş kavitesine özel bir fiber uç yerleştirilmektedir. PIPS, düşük enerjili Er:YAG lazer atımları kullanarak irriganı aktive etmekte ve hızlı buhar kabarcığı oluşumunu tetiklemektedir. Bu kabarcıkların genişlemesi ve çökmesi, fotoakustik şok dalgaları üretmektedir ve bu da solüsyonun kök kanalı boyunca üç boyutlu hareketini sağlamaktadır. PIPS'in temizlik ve dezenfeksiyon etkinliğini artırmak amacıyla geliştirilen SWEEPS tekniği, irrigana çift atımlı bir emisyon uygulaması açısından PIPS'ten farklılaşmaktadır ve bu durum kabarcığın çökmesini hızlandırmaktadır. SWEEPS'in mekanizması, birbirini takip eden birkaç lazer atımının (ardışık enerji darbeleri) emisyonuna dayanmaktadır; burada ikinci atım, ilk atımın oluşturduğu kabarcığın çökmesinin son aşamasında iletilmektedir. Bu durum, güçlü şok dalgaları üretir ve irriganın dar kök kanallarına daha derin penetrasyonunu sağlamaktadır (McGillivray ve Dutta, 2024; Swimberghe vd., 2022; Tong vd., 2023). Bu sistemlerin en önemli avantajlarından biri, enerjinin koronal bir konumdan irigant aracılığıyla iletilmesi nedeniyle, ucun kanal içine derin şekilde yerleştirilmesine gerek kalmadan etkili aktivasyonun sağlanabilmesidir. Bu durum, apikal ve lateral bölgeler de dahil olmak üzere kanal sistemi boyunca gelişmiş irigant hareketine olanak tanımaktadır (Gomes vd., 2023; Meire ve De Moor, 2024). Yapılan bir çalışmada smear tabakası temizliği açısından karşılaştırıldığında SWEEPS' de sonik ve ultrasonik aktivasyondan daha iyi skorlar almıştır, PIPS ile arasında anlamlı fark bulunmamıştır (Mancini vd., 2021). Lazer destekli aktivasyon, güçlü hidrodinamik etkiler oluşturabilmekte ve irigantın anatomik olarak karmaşık bölgelere penetrasyonunu iyileştirebilmektedir. Bununla birlikte, yüksek maliyet, teknik hassasiyet ve klinik protokollerdeki değişkenlik gibi çeşitli sınırlılıklarla ilişkilendirilmektedir (Gündoğar vd., 2025). Lazer aktivasyonunun etkinliği, dikkatli kalibrasyon gerektiren enerji çıkışı, puls süresi ve uç konumlandırması gibi parametrelere bağlı olmaktadır (Do ve Gaudin, 2020).

2.10. Fotodinamik Etki

Antimikrobiyal Fotodinamik Terapi (aPDT), son derece düşük ve toksik olmayan bir konsantrasyonda ışığa hassas bir kimyasal (fotosensitizer) kullanmaktadır; bu kimyasal düşük seviyeli ışıkla aktive edildiğinde, bakteriyel ölüme neden olan reaktif oksijen radikalleri üretmektedir. aPDT'de kullanılan ışığın dalga boyu, fotosensitizerin absorpsiyon dalga boyuyla uyum göstermelidir. Fotosensitizer son derece reaktiftir ve bakterileri yok etme kapasitesine sahiptir. Bu bulgular, kök kanal dezenfeksiyonu için aPDT'nin antibiyotiklere karşı uygulanabilir bir alternatif olarak değerlendirildiği

desteklemektedir (Garcez, Nuñez, Hamblim, Suzuki ve Ribeiro, 2010; Gomes vd., 2023).

Klinik olarak, aPDT iki adımı içermektedir. Birinci adımda, fotosensitizer solüsyonu bir şırınga-iğne (30G) kullanılarak kök kanalına uygulanmaktadır (fotosensitizasyon periyodu). Fotosensitizasyon periyodu 1-5 dakika sürebilmektedir. Bu periyotta fotosensitizerin bakterilere bağlanması beklenmektedir. İkinci adımda, fazla fotosensitizer kanaldan uzaklaştırılmakta ve fiberoptik bir dağıtım sistemi kullanılarak uygun bir doz için ışık uygulaması gerçekleştirilmektedir. aPDT için kullanılan ışık kaynakları lazerler veya lambalar olabilmektedir. Lazerler, geniş bir çıkış gücü aralığına sahip monokromatik, koheren ve kolime edilmiş bir ışık sağlamaktadır. Nd:YAG, HeNe, GaAlAs ve diyot lazerler, ışık yayan diyotlar (LED'ler) ve ksenon-ark lambalar aPDT için kullanılmıştır. Herhangi bir kaynaktan gelen ışık, endodontik tedavide uygulama için bir dağıtım probu olarak görev yapabilen bir fiber optiğe kolayca bağlanabilmektedir. Metilen mavisi ve TBO gibi fenotiyazinyum grubu fotosensitizerler klinik uygulamada yaygın olarak kullanılmıştır. Porfirinler, ftalosiyaninler, klorinler, rose bengal ve eritrozin gibi diğer fotosensitizerler de aPDT'de uygulama alanı bulmuştur. Sistemik derlemeler, aPDT'nin çoğu in vitro çalışmada bakteri sayısını azalttığı sonucuna ulaşmıştır; özellikle dirençli enfeksiyonların tedavisinde konvansiyonel endodontik tekniğe ek olarak kullanıldığında bu etki daha belirgindir. Bununla birlikte, aPDT'nin kök kanalı dezenfeksiyonunda kullanımına ilişkin şu anda sınırlı klinik bilgi mevcuttur (Cheng vd., 2012; Huang, Wang, Cai ve Huang, 2025; Okamoto vd., 2020; Tennert vd., 2020). Gelecekteki klinik araştırmalarla desteklenmesi halinde, aPDT'nin özellikle çok ilaca dirençli bakterilerin varlığında ek kök kanalı dezenfeksiyonu için etkinliğe sahip olabileceği düşünülmektedir.

SONUÇ

Kök kanal tedavisinin başarısında mekanik preparasyon tek başına, mikroorganizmaların ve smear tabakasının kök kanal sisteminden uzaklaştırılması açısından yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, irrigasyon solüsyonlarının çeşitli aktivasyon yöntemleriyle desteklenmesi, daha etkin bir mikroorganizma eliminasyonu ve smear tabakası uzaklaştırılmasını sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Alhat, M. B., Mattigatti, S. B., Mahaparale, R. R., Wahane, K. D., & Jadhav, A. (2024). Comparative evaluation of different methods of activation of chelating solution for Smear Layer removal in the apical portion of the Root Canal using a scanning Electron Microscopy: an in Vitro Study. *Cureus*, 16(8), e66622.
- Alkahtany, S. M., Alfadhel, R., AlOmair, A., & Durayhim, S. B. (2024). Characteristics and Effectiveness of XP-Endo Files and Systems: A Narrative Review. *International journal of dentistry*, 2024(1), 9412427.
- Alquria, T. A., Alfirdous, R. A., Gupta, S., Santamaria, M. P., Santamaria, I. F., Gomes, A. P. M., ... Martinho, F. C. (2023). Comparison of conventional and contemporary root canal disinfection protocols against bacteria, lipoteichoic acid (LTA), and lipopolysaccharide (LPS). *Scientific Reports*, 13(1), 1206.
- Angelo, A., Mirko, P., Roberta, G., Gilberto, S., Oreste, T., Francesco, R., & Pietro, A. (2026). Modern Endodontic Irrigation and Activation: From Disinfection to Dentin Substrate Conditioning—A Narrative Review. *Applied Sciences*, 16(10), 4593.
- Anju, P., Sanap, S., Gorre, S., Ibrahim, N. M., Alattas, M. H., & Alkahtany, M. F. (2026). Evaluation of the Efficacy of Smear Layer Removal Using Different Irrigation Activation Methods during Root Canal Treatment: An In Vitro Study. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 27(1), 55-8.
- Aranda, J., de Souza, E. O. N., Garcia, A. J. A., Leonardo, R. D. T., Ramos, A. P., Rossi-Fedele, G., & Faria, G. (2025). Physicochemical and biological properties of the 'all-in-one' endodontic irrigant Triton. *Journal of Endodontics*.
- Azhar Ali, A. B., Pawar, S., Kakti, A., Bichpuriya, A., & Agwan, M. A. (2022). Current Trends in Root Canal Irrigation. *Cureus*, 14(5), e24833.
- Barakat, R. M., Almohareb, R. A., Alsuwaidan, M., Faqehi, E., Alaidarous, E., & Algahtani, F. N. (2024). Effect of sodium hypochlorite temperature and concentration on the fracture resistance of root dentin. *BMC Oral Health*, 24(1), 233.
- Barbosa, A. F. A., Lima, C. O. D., Sassone, L. M., Fares, R. D., Fidalgo, T. K. D. S., & Silva, E. J. N. L. (2021). Effect of passive ultrasonic irrigation on hard tissue debris removal: a systematic review and meta-analysis. *Brazilian oral research*, 35, e123.
- Boutsoukis, C., & Arias-Moliz, M. T. (2022). Present status and future directions—irrigants and irrigation methods. *International endodontic journal*, 55, 588-612.

- Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., Wesselink, P. R., & van der Sluis, L. W. (2010). The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of endodontics*, 36(10), 1664-8.
- Buldur, B., & Kapdan, A. (2017). Comparison of the antimicrobial efficacy of the EndoVac system and conventional needle irrigation in primary molar root canals. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 41(4), 284-8.
- Cameron Townsend, J. M. (2009). An In Vitro Comparison of New Irrigation and Agitation Techniques to Ultrasonic Agitation in Removing Bacteria From a Simulated Root Canal. *Journal of Endodontics*, 35(7), 1040-3.
- Chan, R., Versiani, M. A., Friedman, S., Malkhassian, G., Sousa-Neto, M. D., Leoni, G. B., ... Basrani, B. (2019). Efficacy of 3 supplementary irrigation protocols in the removal of hard tissue debris from the mesial root canal system of mandibular molars. *Journal of endodontics*, 45(7), 923-9.
- Cheng, X., Guan, S., Lu, H., Zhao, C., Chen, X., Li, N., ... Yu, Q. (2012). Evaluation of the bactericidal effect of Nd: YAG, Er: YAG, Er, Cr: YSGG laser radiation, and antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) in experimentally infected root canals. *Lasers in surgery and medicine*, 44(10), 824-31.
- Chu, X., Feng, S., Zhou, W., Xu, S., & Zeng, X. (2023). Cleaning efficacy of EDDY versus ultrasonically-activated irrigation in root canals: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 23(1), 155.
- Coaguila-Llerena, H., Gaeta, E., & Faria, G. (2022). Outcomes of the GentleWave system on root canal treatment: a narrative review. *Restorative dentistry & endodontics*, 47(1).
- Connert, T., Truckenmüller, M., ElAyouti, A., Eggmann, F., Krastl, G., Löst, C., & Weiger, R. (2019). Changes in periapical status, quality of root fillings and estimated endodontic treatment need in a similar urban German population 20 years later. *Clinical oral investigations*, 23(3), 1373-82.
- Deshmukh, S., & Patel, A. (2026). Comparative Evaluation of the Antibacterial Efficacy of Metronidazole, Chlorhexidine, and Normal Saline as Laser-and Sonic-Activated Intracanal Irrigants Against *Enterococcus faecalis*: In Vitro Study Protocol. *JMIR Research Protocols*, 15(1), e76783.
- Do, Q. L., & Gaudin, A. (2020). The efficiency of the Er: YAG laser and photoninduced photoacoustic streaming (PIPS) as an activation method in endodontic irrigation: a literature review. *Journal of lasers in medical sciences*, 11(3), 316.

- Eggmann, F., Vokac, Y., Eick, S., & Neuhaus, K. W. (2020). Sonic irrigant activation for root canal disinfection: power modes matter! *BMC Oral Health*, 20(1), 102.
- Ekim, Ş. A., & Erdemir, A. (2015). ENDODONTİDE İRRİGASYON AKTİVASYON YÖNTEMLERİ. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 25, 98-104.
- El Abbassi, S., & Sakout, M. (2026). The Contribution of the Self-adjusting File in Debris Removal in Root Canal Retreatment: A Systematic Review and Meta-analysis of in Vitro Studies. *Iranian Endodontic Journal*, 21(1), e25.
- Elnaghy, A. M., Mandorah, A., & Elsaka, S. E. (2017). Effectiveness of XP-endo Finisher, EndoActivator, and File agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study. *Odontology*, 105(2), 178-83.
- Gade, V. J., Sedani, S. K., Lokade, J. S., Belsare, L. D., & Gade, J. R. (2013). Comparative evaluation of debris removal from root canal wall by using EndoVac and conventional needle irrigation: An in vitro study. *Contemporary clinical dentistry*, 4(4), 432.
- Garcez, A. S., Nuñez, S. C., Hamblim, M. R., Suzuki, H., & Ribeiro, M. S. (2010). Photodynamic therapy associated with conventional endodontic treatment in patients with antibiotic-resistant microflora: a preliminary report. *Journal of endodontics*, 36(9), 1463-6.
- Gomes, B. P., Aveiro, E., & Kishen, A. (2023). Irrigants and irrigation activation systems in Endodontics. *Brazilian dental journal*, 34, 1-33.
- Gu L-s, Kim, J. R., Ling, J., Choi, K. K., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2009). Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of endodontics*, 35(6), 791-804.
- Guerreiro-Tanomaru, J. M., Loiola, L. E., Morgental, R. D., Leonardo, R. D. T., & Tanomaru-Filho, M. (2013). Efficacy of four irrigation needles in cleaning the apical third of root canals. *Brazilian Dental Journal*, 24, 21-4.
- Gulabivala, K., & Ng, Y. L. (2023). Factors that affect the outcomes of root canal treatment and retreatment—A reframing of the principles. *International endodontic journal*, 56, 82-115.
- Gulabivala, K., Patel, B., Evans, G., & Ng, Y. L. (2005). Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic topics*, 10(1), 103-22.
- Gündoğar, M., Özdemir, O., Gündoğar, Ö., Bektaş, S., Demir, F. N., & Bolat, N. (2025). Multisonic ultracleaning and Laser-Activated irrigation effect compared to passive ultrasonic activation for debridement in minimally

- invasive instrumentation of necrotic oval root canals: an ex vivo histological analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 14(8), 2597.
- Güngördü, Z. S., Tufenkci, P., & Sarı, M. (2025). The effectiveness of endoactivator, EDDY, passive ultrasonic irrigation, and XP-Endo finisher r in removing filling materials from retreated root canals. *BMC Oral Health*, 25(1), 1656.
- Hoedke, D., Kaulika, N., Dommisch, H., Schlafer, S., Shemesh, H., & Bitter, K. (2021). Reduction of dual-species biofilm after sonic-or ultrasonic-activated irrigation protocols: A laboratory study. *International endodontic journal*, 54(12), 2219-28.
- Huang, J., Wang, Y., Cai, Z., & Huang, X. (2025). Current status of antimicrobial photodynamic therapy in endodontic disinfection: A review of the literature. *Journal of Dentistry*, 106205.
- Iandolo, A., Amato, M., Dagna, A., Poggio, C., Abdellatif, D., Franco, V., & Pantaleo, G. (2018). Intracanal heating of sodium hypochlorite: Scanning electron microscope evaluation of root canal walls. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 21(5), 569.
- Jaramillo, D. E., & Arriola, A. R. (2021). Histological evaluation of multisonic technology for debridement of vital and necrotic pulp tissues from human molar teeth. An observational study. *Applied Sciences*, 11(22), 11002.
- Josic, U., Mazzitelli, C., Maravic, T., Fidler, A., Breschi, L., & Mazzoni, A. (2022). Biofilm in endodontics: In vitro cultivation possibilities, sonic-, ultrasonic- and laser-assisted removal techniques and evaluation of the cleaning efficacy. *Polymers*, 14(7), 1334.
- Kim, K. H., Lévesque, C., Malkhassian, G., & Basrani, B. (2024). Efficacy of the GentleWave System in the removal of biofilm from the mesial roots of mandibular molars before and after minimal instrumentation: An ex vivo study. *International Endodontic Journal*, 57(7), 922-32.
- Kolahi, J., Khazaei, S., Iranmanesh, P., Khademi, A., Nekoofar, M., & Dummer, P. (2020). Altmetric analysis of the contemporary scientific literature in Endodontology. *International Endodontic Journal*, 53(3), 308-16.
- Kumar, R. S., Ankola, A. V., Sankeshwari, R. M., Hebbal, M., Hampiholi, V., Kumar, L., ... Pai Khot, A. J. (2023). Effectiveness of various irrigant activation techniques on the penetration of sodium hypochlorite into lateral canals of mature permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *The Saudi Dental Journal*, 35(1), 1-23.
- Kumari, R. A., Madhudi, V. S., David, A. W., Ashwini, K., Jukanti, A., & Warad, J. (2026). Efficacy of QMix with Canal Brush for Removal of Debris and Smear Layer in Root Canals Instrumented with ProTaper Next and

- Lauritano, D., Moreo, G., Carinci, F., Della Vella, F., Di Spirito, F., Sbordone, L., & Petruzzi, M. (2019). Cleaning efficacy of the XP-Endo® finisher instrument compared to other irrigation activation procedures: a systematic review. *Applied Sciences*, 9(23), 5001.
- Lewusz-Butkiewicz, K., Kaczor-Wiankowska, K., Kulas-Bałaban, A., Kubala, E., & Nowicka, A. (2024). Assessment of endodontic treatment and prevalence of apical periodontitis using cone-beam computed tomography: a cross-sectional study. *Polish Journal of Radiology*, 89, e391.
- Mali, S., Patil, A., Sharma, D., Jaiswal, H., Saoji, H. A., Sinha, A., & Singh, R. (2024). The Influence of Nickel-Titanium (Ni-Ti) Rotary Instrument Systems on Debris and Smear Layer Formation in Endodontic Procedures: An In Vitro Scanning Electron Microscopy Study. *Cureus*, 16(2).
- Mancini, M., Cerroni, L., Palopoli, P., Olivi, G., Olivi, M., Buoni, C., & Cianconi, L. (2021). FESEM evaluation of smear layer removal from conservatively shaped canals: laser activated irrigation (PIPS and SWEEPS) compared to sonic and passive ultrasonic activation—an ex vivo study. *BMC oral health*, 21(1), 81.
- Marx, J., Ward, C., Gunnell, B., Marx, Z., Parry, A., Dyal, S., ... Hung, M. (2025). Influence of ultrasonic activation of endodontic irrigants on microbial reduction and postoperative pain: a scoping review of in vivo studies. *Dentistry Journal*, 13(10), 459.
- McGillivray, A., & Dutta, A. (2024). The influence of laser-activated irrigation on post-operative pain following root canal treatment: A systematic review. *Journal of Dentistry*, 144, 104928.
- Mehta, D., Coleman, A., & Lessani, M. (2025). Success and failure of endodontic treatment: predictability, complications, challenges and maintenance: Success and failure of endodontic treatment: predictability, complications, challenges and maintenance. *British Dental Journal*, 238(7), 527-35.
- Meire, M., & De Moor, R. J. (2024). Principle and antimicrobial efficacy of laser-activated irrigation: A narrative review. *International endodontic journal*, 57(7), 841-60.
- Metzger, Z., Teperovich, E., Zary, R., Cohen, R., & Hof, R. (2010). The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy—a new concept of endodontic files and its implementation. *Journal of Endodontics*, 36(4), 679-90.
- Mitchell, R. P., Yang S-E, & Baumgartner, J. C. (2010). Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *Journal of endodontics*, 36(2), 338-41.

- Mukherjee, T., Kurup, D., Mahreen, S., Khuva, H., Tikadar, S., & Majumder, H. (2024). To Evaluate the Efficacy of Sonic, Ultrasonic, and Manual Irrigation Using Side-Vented Needles for Removal of Metapex Using Different Irrigating Solutions. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 16(Suppl 4), S3646.
- Nagahashi, T., Yahata, Y., Handa, K., Nakano, M., Suzuki, S., Kakiuchi, Y., ... Saito, M. (2022). Er: YAG laser-induced cavitation can activate irrigation for the removal of intraradicular biofilm. *Scientific reports*, 12(1), 4897.
- Naladkar, K., Chandak, M., Sarangi, S., Agrawal, P., Jidewar, N., Suryawanshi, T., & Hirani, P. (2024). Breakthrough in the development of endodontic irrigants. *Cureus*, 16(8), e66981.
- Navjot, S. M., Manpreet, K., Ashu, J., Manu, R., Divya, B., & Aaron, S. (2021). Efficacy of Various Irrigants Used with Self-Adjusting File System on Smear Layer: An In Vitro Study. *J Pharm Res Int*, 33(36A), 52-61.
- Nielsen, B. A., & Baumgartner, J. C. (2007). Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *Journal of endodontics*, 33(5), 611-5.
- Okamoto, C. B., Bussadori, S. K., Prates, R. A., da Mota, A. C. C., Horliana, A. C. R. T., Fernandes, K. P. S., & Motta, L. J. (2020). Photodynamic therapy for endodontic treatment of primary teeth: A randomized controlled clinical trial. *Photodiagnosis and photodynamic therapy*, 30, 101732.
- Orlowski, N. B., Schimdt, T. F., da Silveira Teixeira, C., Garcia, L. D. F. R., Savaris, J. M., Tay, F. R., & Bortoluzzi, E. A. (2020). Smear layer removal using passive ultrasonic irrigation and different concentrations of sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*, 46(11), 1738-44.
- Orozco-Gallego, M. J., Pineda-Vélez, E. L., Rojas-Gutiérrez, W. J., Rincón-Rodríguez, M. L., & Agudelo-Suárez, A. A. (2025). Effectiveness of irrigation protocols in endodontic therapy: an umbrella review. *Dentistry Journal*, 13(6), 273.
- Paixao, S., Rodrigues, C., Grenho, L., & Fernandes, M. H. (2022). Efficacy of sonic and ultrasonic activation during endodontic treatment: a meta-analysis of in vitro studies. *Acta Odontologica Scandinavica*, 80(8), 588-95.
- Park, K. H., Ordinola-Zapata, R., Noblett, W. C., Lima, B. P., & Staley, C. (2024). The effect of ultrasonic and multisonic irrigation on root canal microbial communities: an ex vivo study. *International Endodontic Journal*, 57(7), 895-906.
- Patel, R., Shinde, G., Bondarde, P., Vishwakarma, A., Bhandare, M., & Pharne, V. (2024). Effectiveness of EndoActivator, PATS Vario system, and XP-endo Finisher files on smear layer removal under scanning electron microscope: A comparative study. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*, 42(3), 195-202.

- Peters, O. A. (2004). Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *Journal of endodontics*, 30(8), 559-67.
- Protopogrou, E., Arvaniti, I., Vlachos, I., & Khabbaz, M. G. (2013). Effectiveness of a canal brush on removing smear layer: a scanning electron microscopic study. *Brazilian Dental Journal*, 24(6), 580-4.
- Psimma, Z., Boutsoukakis, C., Kastrinakis, E., & Vasiliadis, L. (2013). Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo. *Journal of endodontics*, 39(4), 521-4.
- Rajeswari, P. R., Sivakumar, A. A., Sivakumar, J., Soundappan, J. S., Chittrarasu, M., & Aravindhkumar, A. (2025). Evaluating the influence of different irrigation needles on the apical cleaning efficacy of endodontic irrigation—An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 28(4), 336.
- Razumova, S., Brago, A., Kryuchkova, A., Khakimova, Z., Khabibova, N., Volkov, A., ... Dikopova, N. (2026). Impact of Smear Layer Removal Using Etidronate- and EDTA-Based Irrigation Protocols on Root Canal Microbiota: An In Vivo Study. *Dentistry Journal*, 14(3), 151.
- Romualdo, P. C., de Oliveira, K. M. H., Nemezio, M. A., Küchler, E. C., Silva, R. A. B., Nelson-Filho, P., & Silva, L. A. B. (2017). Does apical negative pressure prevent the apical extrusion of debris and irrigant compared with conventional irrigation? A systematic review and meta-analysis. *Australian Endodontic Journal*, 43(3), 129-37.
- Sachkova, M., Savochkina, D., Novozhilova, N., Babina, K., Mikheikina, A., Doroshina, V., ... Polyakova, M. (2026). Effects of Continuous Chelation with Etidronate on Mechanical Properties of the Root Canal Dentin: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Dentistry Journal*, 14(7), 450.
- Sakin, T. Ö., Albayrak, F., & Tunç, T. (2026). Evaluation of bacterial reduction by contemporary irrigation activation methods against *Enterococcus faecalis* biofilm in root canals. *Scientific Reports*.
- Salman, M., Baumann, M., Hellmich, M., Roggendorf, M., & Termaat, S. (2010). SEM evaluation of root canal debridement with Sonicare CanalBrush irrigation. *International endodontic journal*, 43(5), 363-9.
- Schilder, H. (1974). Cleaning and shaping the root canal. *Dental clinics of north America*, 18(2), 269-96.
- Silva, F. M., Macedo, I. F. A., Resende, P. D., Tavares, W. L. F., Buono, V. T. L., Santos, L. A., ... Viana, A. C. D. (2025). XP-Endo finisher behaviour and irrigant temperature in intracanal environment: clinical measurements. *International Endodontic Journal*, 58(1), 141-9.

- Silva, E. J., Rover, G., Belladonna, F. G., Herrera, D. R., De-Deus, G., & da Silva Fidalgo, T. K. (2019). Effectiveness of passive ultrasonic irrigation on periapical healing and root canal disinfection: a systematic review. *British Dental Journal*, 227(3), 228-34.
- Sirtes, G., Waltimo, T., Schaetzle, M., & Zehnder, M. (2005). The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *Journal of endodontics*, 31(9), 669-71.
- Souza, C. C., Bueno, C. E., Kato, A. S., Limoeiro, A. G., Fontana, C. E., & Pelegrine, R. A. (2019). Efficacy of passive ultrasonic irrigation, continuous ultrasonic irrigation versus irrigation with reciprocating activation device in penetration into main and simulated lateral canals. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 22(2), 155.
- Susila, A., & Minu, J. (2019). Activated irrigation vs. conventional non-activated irrigation in endodontics—a systematic review. *European endodontic journal*, 4(3), 96.
- Swimberghe, R., De Clercq, A., De Moor, R., & Meire, M. (2019). Efficacy of sonically, ultrasonically and laser-activated irrigation in removing a biofilm-mimicking hydrogel from an isthmus model. *International Endodontic Journal*, 52(4), 515-23.
- Swimberghe, R. C., Tzourmanas, R., De Moor, R. J., Braeckmans, K., Coenye, T., & Meire, M. A. (2022). Explaining the working mechanism of laser-activated irrigation and its action on microbial biofilms: a high-speed imaging study. *International Endodontic Journal*, 55(12), 1372-84.
- Tennert, C., Zinovieva, Y., Shishkov, K., Karygianni, L., Altenburger, M. J., Wierichs, R. J., & Al-Ahmad, A. (2020). Improving the efficiency of photodynamic chemotherapy in root canals against *Enterococcus faecalis* in vitro. *Antibiotics*, 9(9), 543.
- Tolley, E., Ziola, M., Gross, D., Mannix, M., Sayre, D., Neto, J. M. D. M., & Amaral, R. R. (2026). An Assessment of the Antibacterial Efficacy of the GentleWave System in Comparison to Other Endodontic Irrigation Systems: A Systematic Review. *Clinical and Experimental Dental Research*, 12(2), e70268.
- Tong, J., Liu, L., Du, J., Gao, Y., Song, D., & Huang, D. (2023). Effect of photon-induced photoacoustic streaming and shock-wave enhanced emission photoacoustic streaming technique on the removal of the smear layer after root canal preparation in curved root canals. *Journal of Dental Sciences*, 18(1), 157-64.
- 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.

- Usta, S. N., Doğuş, E., & Gündoğar, M. (2026). Effectiveness of the GentleWave system in root canal disinfection: a systematic review. *BMC Oral Health*.
- Valizadeh, M., Gheidari, A., Daghestani, N., Mohammadzadeh, Z., & Khorakian, F. (2024). Evaluation of various root canal irrigation methods in primary teeth: a systematic review. *BMC Oral Health*, 24(1), 1535.
- Van der Sluis, L., Versluis, M., Wu, M., & Wesselink, P. (2007). Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International endodontic journal*, 40(6), 415-26.
- Velardi, J. P., Alquria, T. A., Alfirdous, R. A., Griffin, I. L., Tordik, P. A., & Martinho, F. C. (2022b). Efficacy of GentleWave system and passive ultrasonic irrigation with minimally invasive and conventional instrumentation technique against *Enterococcus faecalis* lipoteichoic acid in infected root canals. *Journal of Endodontics*, 48(6), 768-74.
- Velardi, J. P., Alquria, T. A., Alfirdous, R. A., Corazza, B. J. M., Gomes, A. P. M., Silva, E. G., ... Martinho, F. C. (2022a). Comparison of GentleWave system and passive ultrasonic irrigation with minimally invasive and conventional instrumentation against LPS in infected root canals. *Scientific reports*, 12(1), 4894.
- Villalta-Briones, N., Baca, P., Bravo, M., Solana, C., Aguado-Pérez, B., Ruiz-Linares, M., & Arias-Moliz, M. T. (2021). A laboratory study of root canal and isthmus disinfection in extracted teeth using various activation methods with a mixture of sodium hypochlorite and etidronic acid. *International endodontic journal*, 54(2), 268-78.
- Violich, D., & Chandler, N. (2010). The smear layer in endodontics—a review. *International endodontic journal*, 43(1), 2-15.
- Willershausen, I., Wolf, T., Schmidtman, I., Berger, C., Ehlers, V., Willershausen, B., & Briseño, B. (2015). Survey of root canal irrigating solutions used in dental practices within Germany. *International Endodontic Journal*, 48(7), 654-60.
- Wong, J., Manoil, 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.
- Yersel, A., & Kırıcı, D. (2026). The effect of the design of the irrigation needle used during endodontic treatment on postoperative pain: a randomize clinical trial. *Scientific Reports*, 16(1), 4452.
- Zhou, J., Liu, T., & Guo, L. (2021). Effectiveness of XP-Endo Finisher and passive ultrasonic irrigation on intracanal medicament removal from root canals: a systematic review and meta-analysis. *BMC oral health*, 21(1), 294.

- Özkaya, B. Ö. (2012). Lazerle aktive edilmiş farklı irrigasyon solüsyonlarının intrakanal enterococcus faecalis biyofilmi üzerine antimikrobiyal etkinliklerinin in vitro incelenmesi. [Yayımlanmamış tez].
- Şimşek, Y., & Hançerlioğulları, D. (t.y.). Farklı irrigasyon aktivasyon tekniklerinin kök kanal dezenfeksiyonuna etkisi. Van Diş Hekimliği Dergisi, 7(1), 35 -48.

BÖLÜM 5

Endodontide Lazerler

İlke Menteş¹
Şevval Akkoca²

¹Dr. Öğr. Üyesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0004-6638-9626

² Arş. Gör. Dt., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0006-5734-8595

1. GİRİŞ

Endodontik tedavi; bakteriyel kontaminasyonun yok edilmesini, kök kanal sisteminin temizlenmesini ve dişin uygun morfolojisi ile fonksiyonlarının yeniden kazandırılmasını kapsar (Huang, Li, Lyu, Zhou, & Fan, 2023). Kök kanal tedavisi sırasında dekontaminasyon ve preparasyon amacıyla klinikte mekanik ve kimyasal yöntemler yaygın olarak kabul görmektedir(Huang, Li, Lyu, Zhou, & Fan, 2023).

Ancak bu yöntemlerin bazı sınırları vardır:

- Kök kanal sisteminin karmaşıklığı nedeniyle endodontik tedavide başarısızlık riski bulunmaktadır (Anagnostaki, Mylona, Parker, Lynch, & Grootveld, 2020). Yan kanallar, istmuslar ve dentin tübülleri, aletlerin ve irrigantların her zaman ulaşamadığı bölgelerdir.
- Yetersiz tedaviden kaynaklanan endodontik başarısızlık, daima kalıcı intraradiküler enfeksiyonla sonuçlanır (Huang et al., 2023).
- Yeniden tedavi vakalarının yalnızca yaklaşık üçte ikisinin başarılı sonuca ulaşabildiği bildirilmiştir (Huang et al., 2023; Siqueira, 2001).

Bu sınırlılıkları gidermek amacıyla lazerler gibi yardımcı araçlar araştırılmıştır (Anagnostaki et al., 2020). Tablo 1’de lazerin endodontideki gelişim süreci özetlenmiştir.

Tablo 1. Endodontide Lazerin Kısa Tarihçesi

Yıl	Gelişme
1960	Maiman ilk lazeri (yakut lazer) geliştirdi.
1971	Weichman ve Johnson lazeri ilk kez endodontide kullandı; CO ₂ lazerle apikal foramen in vitro olarak kapatılmaya çalışıldı.
2012	PIPS, 2012 yılında klinik kullanım için tanıtılmıştır. SWEEPS ise PIPS yönteminin temizleme etkinliğini artırmak amacıyla geliştirilmiştir

(Huang et al., 2023; Yang, Liu, Zhu, & Peng, 2020).

Lazerler; ablasyon, penetrasyon ve dezenfeksiyon yetenekleri sayesinde kök kanal tedavisi, vital pulpa tedavisi (pulpa kuafajı ve pulpotomi), dentin hassasiyeti tedavisi ve pulpa ile periradiküler hastalıklara bağlı dental ağrının yönetimi gibi endodontik tedavilerde iyi performans göstermiştir (Huang et al., 2023).

Randomize kontrollü klinik çalışmaları değerlendiren bir sistematik derlemede, çalışmaların neredeyse tamamında lazer destekli endodontik tedavide istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha iyi sonuç elde edilmiş, kalan çalışmalarda ise herhangi bir olumsuz etki görülmemiştir (Anagnostaki et al., 2020). Aynı derlemeye göre, uygun parametrelerle uygulanan lazer enerjisi,

ortograd endodontide faydalı bir yardımcı (adjuvan) yöntem olarak önerilebilir (Anagnostaki et al., 2020).

Dolayısıyla **lazer, kök kanal tedavisinin yerini alan bir yöntem değil, onu destekleyen bir araçtır.**

2. LAZERİN TEMEL PRENSİPLERİ

Lazer (LASER), “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” (uyarılmış radyasyon emisyonu ile ışığın güçlendirilmesi) ifadesinin kısaltmasıdır (Midda, 1992).

Lazer ışığının özellikleri. Lazer ışığı monokromatik (tek bir dalga boyunda), yönlü (düşük diverjanslı) ve koherent (tüm dalgalar birbiriyle belirli bir faz ilişkisi içinde) olması bakımından benzersizdir (Midda, 1992).

Lazer cihazının bileşenleri. Tüm lazer cihazları şu temel bileşenlere sahiptir (Midda, 1992):

- **Lazer ortamı (aktif ortam):** Katı, sıvı ya da gaz olabilir.
- **Optik kavite (lazer tüpü):** İki ucunda biri tam yansıtıcı, diğeri kısmen geçirgen iki ayna bulunur.
- **Güç kaynağı:** Lazer ortamındaki atomları daha yüksek enerji düzeylerine uyararak (“pompalayan”) dış mekanik, kimyasal ya da optik kaynaktır.

Aynalar arasında yansıyan ışık, aktif ortamdan her geçişte güçlenir ve kısmen geçirgen aynadan lazer ışını olarak dışarı çıkar.

Çalışma prensibi. Lazer ışığının oluşumu, atomların enerji düzeyleri arasındaki geçişlere dayanır:

- **Uyarılmış absorpsiyon:** Işık enerjisi atomlarda enerji geçişine neden olabilir; atom bir enerji kuantumunu absorbe ederek mevcut durumundan uyarılmış duruma geçer (Midda, 1992).
- **Spontan emisyon:** En düşük enerji durumu en kararlı durum olduğundan, uyarılmış atom kendiliğinden bir enerji kuantumu yayarak normal durumuna dönme eğilimindedir (Midda, 1992).
- **Uyarılmış emisyon:** Düşük enerji durumuna dönüş, uyarılmış ortamın aynı geçiş frekansındaki bir ışık kuantumuyla ayrıca uyarılmasıyla da sağlanabilir. Bu süreçte açığa çıkan foton, komşu uyarılmış atoma çarparak zincirleme bir foton salınımını başlatır (Midda, 1992).

İletim sistemleri. Lazer ışığı hedefe farklı sistemlerle iletilir (Midda, 1992) :

- **Eklemlı kollar** (eklem yerlerinde aynalar bulunan): Ultraviyole, görünür ve kızılötesi lazerler için.
- **İçi boş dalga kılavuzları** (iç yüzeyi yansıtıcı esnek tüp): Orta ve uzak kızılötesi lazerler için.
- **Fiber optikler:** Görünür ve yakın kızılötesi lazerler için.

Endodontide ince ve esnek fiber uçlar, lazer enerjisinin kök kanalı içine iletilmesini mümkün kılar.

Emisyon modları. Lazer ışığı hedef dokuya sürekli dalga, kapılı puls modu veya serbest çalışan puls modu şeklinde iletilebilir (Midda, 1992). Bu modların özellikleri Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Lazer Emisyon Modları

Emisyon modu	Özellik
Sürekli dalga	Ayak pedalına basıldığı sürece ışın tek bir güç düzeyinde kesintisiz yayılır.
Kapılı (gated) puls modu	Lazer periyodik olarak açılıp kapanır; açık ve kapalı kalma süreleri mikrosaniyeler düzeyindedir.
Serbest çalışan (free-running) puls modu	Çok yüksek lazer enerjisi mikrosaniyeler düzeyinde son derece kısa bir sürede yayılır, ardından lazer görece uzun bir süre kapalı kalır.

(Midda, 1992).

Klinik uygulamada lazerin etkisi; güç (W), puls enerjisi (mJ), frekans (Hz) ve uygulama süresi gibi parametrelerle kontrol edilir. Ancak lazer enerjisinin tedavi amacıyla kullanılabilmesinin temelinde, bu enerjinin hedef dokular tarafından absorbe edilebilmesi yatar (Parker et al., 2020).

3. LAZER-DOKU ETKİLEŞİMİ VE FOTOBİYOLOJİK ETKİLER

Lazer ışığı dokuya ulaştığında dört farklı şekilde davranabilir:

- **Yansıma:** Işık doku yüzeyinden geri döner ve dokuda etki oluşturmaz.
- **İletim:** Işık dokunun içinden geçer ve etki oluşturmada ilerler.
- **Saçılma:** Işık dokunun içinde farklı yönlerde dağılır.
- **Absorpsiyon:** Işık doku tarafından emilir ve başka bir enerji türüne dönüşür. Lazerin istenen klinik etkisi bu yoldan doğar.

Kromoforlar. Işığı hangi dokunun ne kadar absorbe edeceğini, dokunun içindeki moleküller belirler. Doku bileşenleri içinde kromofor adı verilen moleküller bulunabilir. Kromofor, ışığı absorbe eden ya da en azından elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde bir miktar absorbans gösteren

ve böylece moleküle renk veren kimyasal gruptur (Parker, 2007; Parker et al., 2020).

Basit bir örnekle; güneş altında koyu renkli bir kıyafetin açık renkli olana göre daha çabuk ısınmasının nedeni, koyu pigmentin ışığı daha fazla absorbe etmesidir. Dokularda da benzer bir seçicilik söz konusudur.

Lazerin dental sert ve yumuşak dokular ile bakteriler üzerindeki etkisi, lazerin hedef dokudaki kromoforlar (su, apatit mineralleri ve çeşitli pigmentli maddeler) tarafından absorbe edilmesine bağlıdır (Midda, 1992). Dişin sert dokularının bileşimi farklıdır: Dentin %45–47 mineral, %20–22 su ve %33 proteinden oluşurken, mine çok daha yüksek oranda mineral (%85), %12 su ve %3 protein içerir (Parker et al., 2020).

Her dalga boyu farklı bir kromofor tarafından absorbe edilir (Tablo 3). Hedef kromoforun dalga boyuna göre değişmesi, hem dokuya penetrasyon derinliğini hem de ablasyon etkisini etkiler (Parker et al., 2020).

Tablo 3. Dalga Boyuna Göre Hedef Kromoforlar

Dalga bölgesi	boyu	Örnek lazerler	Hedef
Görünür ve yakın kızılötesi		Diyot lazer grubu (405–1064 nm)	Kromoforlar, hemoglobin ve diğer proteinler
Orta kızılötesi		Er,Cr:YSGG (2780 nm), Er:YAG (2940 nm)	Doku suyu
Uzak kızılötesi		CO ₂ (9300–10.600 nm)	Doku suyu

(Parker et al., 2020).

Lazerin dokudaki etkileri. Işık canlı doku tarafından absorbe edildiğinde en sık görülen yol, ışık enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesidir (Parker et al., 2020). Bununla birlikte gelen enerjinin düzeyine bağlı olarak bu enerji ısı, floresans, ses yayılımı gibi başka formlara dönüşebilir ya da hücre içinde kimyasal yolları uyandırabilir (Parker et al., 2020). Lazerin dokudaki başlıca etkileri Tablo 4’te özetlenmiştir.

Tablo 4. Lazerin Dokudaki Başlıca Etkileri

Etki	Açıklama
Fototermal	Yüksek güçlü lazerlerde görülür; doku, ana bileşenlerinden birindeki absorpsiyon yoluyla buharlaştırılır ya da koagüle edilir. Absorbe edilen enerjinin ısıya dönüşmesi ve ısı artışıyla dokunun ablastyonu fototermoliz olarak adlandırılır.
Fotomekanik	Şok dalgası oluşumu ve kavitasyon gibi olaylar nedeniyle dokunun parçalanmasıdır.
Fotokimyasal	Işığa duyarlı maddeler kullanılarak oluşturulur. Fotodinamik tedavide fotosensitizer adı verilen bir ara kimyasal, enerjiyi hedef bakterilere yönlendirir; oluşan singlet oksijen oksidatif stres yoluyla hücre ölümüne yol açabilir.
Fotobiyomodülasyon	Çok düşük ışınımın uzun süre uygulanması, doku sağlığı ve onarım kapasitesiyle ilişkili biyokimyasal yolları uyandırır.

(Midda, 1992; Parker et al., 2020)

Doğru dozda uygulanan fotobiyomodülasyonun ısınlanan dokuda kayda değer bir termal etkisi yoktur (Parker et al., 2020). Fotobiyomodülasyonun inflamatuvar yanıtı baskıladığı, analjezik mekanizmaları uyardığı ve iyileşmeyi desteklediği ileri sürülmüştür (Parker et al., 2020).

Endodontide fototermal ve fotomekanik etkiler kanal dezenfeksiyonu ve irrigasyonun aktivasyonunda, fotokimyasal etki fotodinamik tedavide, fotobiyomodülasyon ise ağrı kontrolünde kullanılır. Bu uygulamalar Bölüm 6'da ele alınmıştır.

Etkiyi belirleyen faktörler. Aşağıdaki faktörlerin her biri tek başına ve birlikte, lazer ışığının hedef doku tarafından absorpsiyonunu etkiler (Parker et al., 2020):

- Lazerin dalga boyu
- Lazerin emisyon modu
- Doku bileşimi
- Doku kalınlığı
- Su veya tükürüğe bağlı yüzey ıslaklığı

- Lazer ışınının geliş açısı
- Uygulama süresi
- Lazer ucu ile doku arasında temaslı ya da temassız çalışma
- Termal gevşeme faktörleri: dış kaynaklı (su spreyi, dokunun önceden soğutulması, yüksek hızlı aspirasyon, lazer emisyonunun pulslu verilmesi) ve iç kaynaklı (doku tipi ve yoğunluğu, kan desteği)

Termal gevşeme, kısaca dokunun lazer atımları arasında soğuyabilmesidir. Sürekli dalga emisyonunun dezavantajı, termal gevşemenin olmamasıdır; oysa termal gevşeme, hedef bölgeyi çevreleyen dokularda ısının zarar verici biçimde birikmesini önlemek için gereklidir (Parker et al., 2020). Erbiyum ve CO₂ lazerler de kullanım sırasında ablasyon ürünlerini uzaklaştırmak ve hedef sert dokuyu soğutmak için eş eksenli su spreyi gerektirir (Parker et al., 2020).

Sonuç olarak lazer hangi amaçla kullanılırsa kullanılsın, üç temel unsur dikkatle değerlendirilmelidir: uygun dalga boyu, uygun güç yoğunluğu ve uygun termal gevşeme (Parker et al., 2020).

4. LAZERLERİN SINIFLANDIRILMASI VE ENDODONTİDE KULLANILAN LAZERLER

Lazerler farklı ölçütlere göre sınıflandırılabilir. Klinik açıdan en kullanışlı üç ölçüt aktif ortam, dalga boyu ve güç düzeyidir:

- **Aktif ortama göre:** Lazerler genellikle aktif ortamlarının adıyla anılır. Er:YAG ve Nd:YAG gibi katı hal lazerleri, CO₂ gibi gaz lazerleri ve yarı iletken yapıdaki diyot lazerler bu sınıflamaya örnektir.
- **Dalga boyuna göre:** Görünür ve yakın kızılötesi, orta kızılötesi ve uzak kızılötesi bölgelerde çalışan lazerler olarak ayrılır.
- **Güç düzeyine göre:** Yüksek güçlü lazerler operatif araçlar olarak iyi performans gösterirken, düşük seviyeli lazerler pulpa inflamasyonunun düzenlenmesini ve pulpa iyileşmesinin desteklenmesini sağlar (Huang et al., 2023).

Endodontide klinik olarak yaygın kullanılan lazerler; Er:YAG, Er,Cr:YSGG, Nd:YAG, Nd:YAP, CO₂ ve diyot lazerlerdir (Huang et al., 2023). Bu lazerlerin dalga boyları ve endodontideki başlıca kullanım alanları Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Endodontide Kullanılan Lazerler

Lazer	Dalga boyu	Başlıca endodontik kullanım
Er:YAG	2940 nm	Kök kanal tedavisi ve pulpotomide ablasyon ve sert doku uzaklaştırma
Er,Cr:YSGG	2780 nm	Er:YAG lazere benzer
Nd:YAG	1064 nm	Kök kanal irrigasyonu
Nd:YAP	1340 nm	Kök kanal duvarlarındaki smear tabakasının uzaklaştırılması
CO ₂	10.600 nm	Direkt pulpa kuafajı
Diyot	810–980 nm	Kök kanalındaki mikroorganizmaların eliminasyonu, postoperatif ağrının azaltılması

(Huang et al., 2023; Liu, Huang, Ju, & Tang, 2018; Moon et al., 2012)

Erbium lazerler (Er:YAG ve Er,Cr:YSGG). Erbium lazerler, ışınlarının suda kolayca absorbe edilmesi nedeniyle diş sert dokularının preparasyonu amacıyla diş hekimliğine girmiştir. Doku içindeki suyun anında buharlaşması, sert dokudan küçük parçacıkları koparan bir mikro patlamaya neden olur. Kendi soğutma sistemlerine sahip oldukları için çevre dokularda çok az ısı oluşur (Apel, Meister, Schmitt, Gräber, & Gutknecht, 2002; Huang et al., 2023; Theodoro, Marcantonio, Wainwright, & Garcia, 2021).

- **Er:YAG (2940 nm):** CO₂ ve Nd:YAG lazerlere kıyasla daha yüksek su absorpsiyonuna sahiptir. Dalga boyu suyun absorpsiyon tepe noktasıyla tam olarak örtüşür ve hidroksiapatit tarafından da absorbe edilebilir. Klinik uygulamada çatlak ve diğer yan etkilerden kaçınmak için puls enerjisi ve tekrarlama hızı kontrol edilmelidir (Bader & Krejci, n.d.; Huang et al., 2023; Wang, Chen, Zhang, Ge, & Wang, 2022a; Yamakawa et al., 2018).
- **Er,Cr:YSGG (2780 nm):** Dalga boyu suyun absorpsiyon tepe noktasına çok yakındır; endodontideki kullanım alanları ve sınırlamaları Er:YAG lazere benzer. Su spreyiyle birlikte kullanıldığında sıcaklık neredeyse hiç artmaz ve kesme etkinliği de artar (Fattah et al., 2012; Huang et al., 2023).

Neodimyum lazerler (Nd:YAG ve Nd:YAP). Bu grup yakın kızılötesi bölgede çalışır:

- **Nd:YAG (1064 nm):** Serbest çalışan pulslu bir lazerdir. Er:YAG lazerden farklı olarak sudaki absorpsiyonu düşüktür; enerjisi saçılır ve komşu dokulara penetre olur. Sert doku kesme yeteneği Er:YAG lazer kadar iyi değildir. Bu nedenle çevre dokuları korumak için çıkış

gücü ve ışınlama süresi dikkatle kontrol edilmelidir (Aoki, Sasaki, Watanabe, & Ishikawa, 2004; Huang et al., 2023).

- **Nd:YAP (1340 nm):** Koyu materyaller ve metaller tarafından kolayca absorbe edilir; sudaki absorpsiyonu Nd:YAG lazerden 20 kat fazladır. Esnek fiber optiği sayesinde eğri kök kanallarında enerji iletebilir. Çevre dokularda termal hasarı önlemek için dinlenme aralıklı pulslu modda kullanılmalıdır (Fornaini et al., 2020; Huang et al., 2023; Namour, Geerts, Zeinoun, De Moor, & Nammour, 2016).

CO₂ lazer (10.600 nm). İlk 10.600 nm CO₂ gaz lazeri 1964 yılında geliştirilmiştir. Nd:YAG lazerden farklı olarak mine ve dentin tarafından da kolayca absorbe edilir. Ancak mine yüzeyinde çatlaklara yol açabilir; kanamayı kontrol edebildiği için direkt pulpa kuafajında kullanılır (Huang et al., 2023; Luk et al., 2020).

Diyot lazer (810–980 nm). Düşük güç çıkışlı bir lazer tipidir ve tedavide genellikle 810–980 nm dalga boylarında kullanılır. Diş sert dokuları içinde Nd:YAG lazerden daha yüksek su absorpsiyonu sağlar; daha fazla penetrasyonu sayesinde dentin tübülleri içindeki mikroorganizmalara etki edebilir. Öte yandan belirgin diverjans gösterir ve bu durum optik performansını zayıflatır (Genc Sen & Kaya, 2019; Huang et al., 2023; Saydjari, Kuypers, & Gutknecht, 2016).

Görüldüğü gibi her lazerin endodontideki yeri, dalga boyunun hangi kromofor tarafından absorbe edildiğiyle doğrudan ilişkilidir. Suyu hedefleyen erbium lazerler sert doku ve irrigasyon uygulamalarında, dentine daha derin penetre olan neodimyum ve diyot lazerler ise dezenfeksiyon uygulamalarında öne çıkar.

5. ENDODONTİDE LAZERİN YERİ: NEDEN İHTİYAÇ VAR?

Endodontik ve periapikal hastalıkların ana patojenik faktörü, kök kanal sistemindeki mikroorganizma enfeksiyonudur. Kök kanal tedavisi; şekillendirme, dezenfeksiyon ve doldurma aşamalarıyla enfeksiyonu kontrol etmede, periapikal iyileşmeyi desteklemede ve reenfeksiyonu önlemede en etkili ve en yaygın kullanılan yöntemdir (Huang et al., 2023).

Ancak konvansiyonel tedavi bazı noktalarda zorlanır. Bu güçlükler Tablo 6’da özetlenmiştir.

Tablo 6. Konvansiyonel Endodontik Tedavinin Güçlükleri

Güçlük	Açıklama
Karmaşık kanal anatomisi	Kök kanal sisteminin anatomisi son derece karmaşık olduğundan, aletle şekillendirme günümüzde büyük ölçüde apikal anatomiye erişim sağlama aracı olarak görülmektedir. Bu nedenle enfeksiyon kontrolünde irrigasyon kilit rol oynar.
Dentin tübülleri	Mikroorganizmaların dentin tübülleri yoluyla dentine penetre olabildiği gösterilmiştir.
Dirençli bakteriler	İlaça dirençli bazı bakterilerin elimine edilmesi zordur; bu bakteriler doldurulmuş kök kanallarında uzun süre kalabilir.
Şırınga-iğne irrigasyonunun sınırları	Klinikte hâlâ en çok tercih edilen irrigasyon yöntemidir; ancak standardize edilmesi ve kontrol edilmesi güçtür ve düzensiz anatomik yapılara derin penetrasyonu sınırlıdır.
İlaç kullanımı	Kalsiyum hidroksit, MTA, sodyum hipoklorit ve diğer antibakteriyel ajanların sık kullanımı, antimikrobiyal direnç konusunda endişe yaratabilir.

(Boutsoukis, Lambrianidis, Kastrinakis, & Bekiaroglou, 2007; Gulabivala, Patel, Evans, & Ng, 2005; Huang et al., 2023; Robberecht, Delattre, & Meire, 2023)

Bu nedenle geleneksel kemomekanik preparasyon, sürekli bir inflamasyon ve postoperatif ağrı riski taşıyabilir (Huang et al., 2023).

Lazer bu noktada ne sunar? Debridman, ablasyon, inflamasyonun düzenlenmesi ve iyileşmenin hızlandırılması gibi özellikleri nedeniyle farklı dalga boylarındaki ve cihazlardaki lazerler diş hekimliğine girmiş ve on yıllardır kullanılmaktadır (Huang et al., 2023). Endodontideki başlıca katkıları şunlardır:

- Şırınga-iğne irrigasyonunun sınırlılıkları nedeniyle, irrigasyon etkinliğini artırmak amacıyla ultrasonik, sonik ve lazer aktivasyonu gibi yenilikçi teknikler geliştirilmiştir (Galler et al., 2019; Huang et al., 2023).
- Lazerler, diş yapısına zarar vermeden daha derin dentin katmanlarındaki bakterilere ulaşabilir (Huang et al., 2023).
- Düşük seviyeli lazerler pulpa inflamasyonunu düzenleyerek iyileşmeyi destekler. (bkz. Bölüm 4)

6. ENDODONTİDE LAZERLERİN KLİNİK KULLANIM ALANLARI

Lazerler endodontide kanal tedavisinin farklı aşamalarından vital pulpa tedavilerine ve ağrı kontrolüne kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu bölümde başlıca uygulamalar, en temel olandan başlanarak ele alınmıştır.

6.1. Kök Kanal Şekillendirme ve Smear Tabakasının Uzaklaştırılması

- Lazer ışınlamasının kök kanal duvarlarının şekillendirilmesine ve smear tabakasının uzaklaştırılmasına yardımcı olabileceği bulunmuştur. Mekanizma şöyledir: Lazer ışınlaması diş sert dokularındaki suyu buharlaştırarak çevre dokuyu ablate eder; böylece dentin tübülleri açılır ve smear tabakası uzaklaştırılır (Huang et al., 2023).
- Er:YAG lazer, uç dentine yakın olduğunda diş sert dokularını ablate edebilmiş, dentin tübülleri açmış ve smear tabakasını temizlemiştir (Huang et al., 2023; Kokuzawa et al., 2012).
- Farklı preparasyon yöntemlerinin karşılaştırıldığı in vitro bir çalışmada, en iyi kanal duvarı temizliği Nd:YAG lazer ile döner NiTi aletlerin birlikte kullanıldığı grupta elde edilmiştir (Huang et al., 2023; Samiei et al., 2014).

6.2. Lazerle Aktive İrrigasyon

Lazerle aktive irrigasyon (LAI), uzun yıllardır kök kanal irrigasyonunda yardımcı bir yöntem olarak uygulanmaktadır (Huang et al., 2023). Günümüzde kullanılan başlıca teknikler Tablo 7’de özetlenmiştir.

Tablo 7. Lazerle Aktive İrrigasyon Teknikleri

Teknik	Çalışma prensibi
Konvansiyonel LAI	Fiber uçlar irrigasyon solüsyonunda küçük kavitasyon kabarcıkları oluşturur. Kabarcıkların hacimsel salınımı yüksek hızlı sıvı hareketine yol açar; bu hareketle kanal duvarlarına yapışık içerikler ayrılır ve kanaldan dışarı atılır.
PIPS (foton aracılı fotoakustik akış)	Konvansiyonel LAI’ye göre düşük enerji (10 veya 20 mJ) ve kısa puls süresi (50 µs) kullanır. Çalışan uç kök kanalının kron tarafına yerleştirildiği için kanal duvarlarında ve periapikal dokuda termal hasarı önleyebilir.
SWEEPS (şok dalgası ile güçlendirilmiş fotoakustik akış)	PIPS’in temizleme etkinliğini artırmak için geliştirilmiştir. İlk kavitasyon kabarcığı çökmeye başlarken ikinci bir puls gönderilir; oluşan ikinci kabarcık ilkinin çökmesini hızlandırır ve şok dalgası oluşur. Kanal duvarlarına yakın çöken ikincil kabarcıklar da şok dalgası yayarak duvarlardaki debris uzaklaştırır.

(Huang et al., 2023; Lukač & Jezeršek, 2018; Wen et al., 2021)

Klinik bulgular. Bu tekniklerle ilgili çalışmalardan elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- **Kalsiyum hidroksit ve biyofilm:** Biyofilm ve kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında birçok çalışma, LAI’nin şırınga-iğne

irrigasyonundan anlamlı düzeyde daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur (Cîmpean et al., 2022; Huang et al., 2023).

- **Debris:** SWEEPS sonrasında kalan debris miktarı, ultrasonik aktive irrigasyon ve PIPS'e göre daha az bulunmuştur; bu fark özellikle istmus gibi karmaşık yapılar da belirgindir (Huang et al., 2023).
- **Ultrasonik aktivasyonla karşılaştırma:** LAI ile ultrasonik aktive irrigasyonun karşılaştırılması farklı sonuçlar ve görüşler ortaya koymuştur (Huang et al., 2023).
- **Sınırlılıklar:** Bu yardımcı yöntemlerin hiçbiri kök kanal sistemindeki biyofilm bileşenlerini tamamen temizleyememiştir. LAI'nin bir diğer sınırlılığı apikal taşmanın artmasıdır; Er:YAG veya Nd:YAP lazerle aktive edilen irrigasyonun iğne irrigasyonuna göre daha fazla debris taşmasına neden olduğu gösterilmiştir (Huang et al., 2023).

6.3. Yeniden Tedavide Kanal Dolgu Materyalinin Uzaklaştırılması

Kanal dolgu materyalinin tamamen uzaklaştırılması yeniden tedavide temel bir adımdır; kalıntılar bakterilerin çoğalmasına ortam hazırlayabilir ve kanalın apikal bölgesini tıkayarak yeniden tedavinin başarısızlığına yol açabilir (Huang et al., 2023).

- NiTi ile mekanik işlem sonrası %2,5 NaOCl ve %17 EDTA'nın Er:YAG lazerle aktive edilmesi, şırınga-iğne ve pasif ultrasonik irrigasyona göre kalan iRoot SP ve gütaperkanın uzaklaştırılma etkinliğini anlamlı düzeyde artırmıştır (Huang et al., 2023).
- Nd:YAG lazerin de dolgu materyalinin uzaklaştırılmasında faydalı olduğu gösterilmiştir (Huang et al., 2023).

6.4. Antimikrobiyal Fotodinamik Tedavi

Antimikrobiyal fotodinamik tedavi (aPDT), belirli dalga boyundaki bir ışık kaynağı ile bir fotosensitizer arasındaki etkileşim yoluyla antimikrobiyal etki gösterir (Huang et al., 2023). Uygulamada genellikle jel ya da sıvı formundaki fotosensitizer kök kanalına yerleştirilir ve ardından belirli dalga boyundaki ışıkla aktive edilir (Elmsmari et al., 2024). Etki mekanizması Bölüm 3'te (Tablo 4) açıklanmıştır; ağız üzerine etkisi ise Bölüm 6.6'da ele alınmıştır.

6.5. Vital Pulpa Tedavileri

Lazer ışınlaması fibröz matris ve dentin köprüsü oluşumunu hızlandırabilir; ayrıca açılmış pulpa dokusunda lektin ve kollajen ekspresyonunu artırarak pulpada yara iyileşmesini sağlayabilir. Düşük seviyeli lazerler inflamasyonu ve iyileşme sürecini düzenleyebilirken, yüksek seviyeli lazerler sıcaklığı artırarak pulpa iyileşmesini destekleyebilir (Huang et al., 2023). Pulpa kuafajı ve pulpotomiye ilişkin başlıca bulgular Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Vital Pulpa Tedavilerinde Lazer Kullanımına İlişkin Başlıca Bulgular

Uygulama	Bulgular
Pulpa kuafajı	Bir sistematik derlemede çalışmaların %80'i, yardımcı lazer tedavisinin pulpa vitalitesini korumada tek başına konvansiyonel tedaviye göre avantajlı olduğunu göstermiştir. 808 nm diyot lazer destekli işlem (hemostaz ve dekontaminasyon), çürüğe bağlı pulpa açılmalarında kuafaj sonuçlarını iyileştirebilir.
Dikkat edilmesi gereken nokta	CO ₂ lazer ışınlamasının, açılan pulpa çevresinde ısıyla denatüre olmuş doku oluşturarak dentin köprüsü oluşumunu engelleyebileceği bildirilmiştir. Bu nedenle dalga boyu ve ışınlama frekansının seçimi önemlidir.
Pulpotomi	Süt azılarında Er:YAG lazerle yapılan pulpotomide, konvansiyonel düşük devirli frezle yapılan pulpotomiye göre hemostaz süresi ve toplam tedavi süresi daha kısa, uzun dönem klinik etkinlik daha iyi bulunmuştur. Düşük gürültüsü ve mekanik aletlerle temasın azalması, lazeri özellikle çocuk diş hekimleri için cazip kılmaktadır.

(Huang et al., 2023; Wang, Chen, Zhang, Ge, & Wang, 2022b)

Genel olarak lazerler pulpa vitalitesini korumada potansiyel bir yardımcı araç olarak görülebilir; ancak uygun cihaz ve dalga boyunun belirlenmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Huang et al., 2023).

6.6. Postoperatif Ağrının Kontrolü

Postoperatif endodontik ağrının prevalansının %40'a kadar çıktığı bildirilmiştir ve mikroorganizmalar postoperatif ağrının ana nedeni olarak kabul edilmektedir (Huang et al., 2023). Lazerlerin P maddesi, histamin, dopamin ve prostaglandinler gibi ağrı oluşturan maddeleri azalttığı; lenfokin, immünoglobulin, anti-inflamatuvar prostaglandin ve beta-endorfin sentezini ise artırdığı bulunmuştur (Huang et al., 2023).

Endodontide ağrının giderilmesi amacıyla günümüzde konvansiyonel lazer kullanımı, fotobiyomodülasyon tedavisi ve antimikrobiyal fotodinamik tedavi uygulanmaktadır (Huang et al., 2023). Randomize klinik çalışmaları değerlendiren güncel bir meta-analizin bu yaklaşımlara ilişkin bulguları Tablo 9'da özetlenmiştir.

Tablo 9. Lazer Uygulamalarının Postoperatif Ağrı Üzerine Etkisi

Yaklaşım	Bulgular
Tüm intraoral lazer tedavileri	Konvansiyonel tedavilere göre anlamlı bir üstünlük göstermemiş; ancak özellikle tedaviden sonraki 4–72 saatte plaseboya göre sürekli olarak daha iyi sonuç vermiştir.
Düşük seviyeli lazer tedavisi	İlk 8 saatte hafif düzeyde ağrı azalması sağlamış; yeniden tedavi vakalarında etkinliği azalmıştır.
Fotodinamik tedavi ve lazer dezenfeksiyonu	Özellikle tedaviden kısa süre sonra sınırlı fayda göstermiş; uzun dönemde veya yeniden tedavi vakalarında etkinliği azalmıştır.

(Elmsmari et al., 2024)

Klinik açıdan bu yöntemler, özellikle konvansiyonel yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda erken postoperatif ağrının yönetiminde yardımcı tedavi olarak düşünülebilir; ancak uzun dönem etkinliğin sınırlı olması dikkatli uygulamayı gerektirmektedir (Elmsmari et al., 2024). Nitekim Nd:YAG ve diyet lazerlerin standart işlemlere yardımcı olarak kullanıldığı bir çalışmada, irreversibl pulpitis ve nekrotik pulpalı hastalarda ağrı düzeyinde belirgin bir iyileşme ya da kötüleşme görülmemiştir (Huang et al., 2023).

7. LAZER AVANTAJLAR VE SINIRLAMALAR

Önceki bölümlerde ele alınan bulgular, lazerin endodontide önemli katkılar sağladığını ancak bazı sınırlamalarının da bulunduğunu göstermektedir. Klinik açıdan öne çıkan avantaj ve sınırlamalar Tablo 10'da karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir.

Tablo 10. Endodontide Lazer Kullanımının Avantajları ve Sınırlamaları

Avantajlar	Sınırlamalar
Derin dezenfeksiyon: Dentin tübülleri içindeki bakterilere ulaşabilme	Termal hasar riski: Uygun olmayan parametrelerde çevre dokularda ısı birikimi
Etkin irrigasyon: Kalsiyum hidroksit, biyofilm ve debrisin daha iyi uzaklaştırılması	Apikal taşma: Lazerle aktive irrigasyonda debris taşmasının artması
Hemostaz ve pulpa iyileşmesi: Vital pulpa tedavilerinde daha iyi sonuçlar	Tam temizlik sağlanamaması: Biyofilmin kanal sisteminden tamamen uzaklaştırılamaması
Ağrı kontrolü: Erken postoperatif dönemde ağrının azalması	Kısa süreli etki: Uzun dönemde ve yeniden tedavide ağrı üzerindeki etkinin azalması
Hasta konforu: Düşük gürültü ve mekanik aletlerle temasın azalması	Uygulama güçlükleri: Maliyet, eğitim gerekliliği ve standart protokol eksikliği

(Huang et al., 2023)

Sınırlamalar arasında klinik uygulamayı en çok etkileyenler parametre belirsizliği, güvenlik ve maliyettir. Belirli klinik amaçlar için ideal lazer tipi ve parametrelerine ilişkin bazı sonuçlar hâlâ tartışmalıdır. Ayrıca lazerlerin eritem, cilt hiperpigmentasyonu, termal hasar ve göz hasarına yol açma potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle lazerin klinik kullanımı profesyonel eğitim almış diş hekimleri tarafından yapılmalıdır; bu durum ve maliyet faktörü, lazerlerin klinik uygulamada yaygınlaşmasının önündeki başlıca engellerdir (Huang vd., 2023).

Bu sınırlamaların önemli bir kısmı, doğru parametre seçimi ve uygun güvenlik önlemleriyle azaltılabilir.

8. GÜVENLİK

Lazer enerjisi yalnızca hedef dokuyu değil; hastayı, hekimi ve yardımcı personeli de etkileyebilir. Bu nedenle lazer güvenliği iki başlıkta ele alınabilir: çalışma ortamının ve kişilerin korunması ile dokuların termal hasardan korunması.

Çalışma ortamı ve kişilerin korunması. Genel güvenlik gereklilikleri şunlardır (Midda, 1992):

- Kliniğin dışında lazer uyarı levhası bulundurulması
- Çalışma alanında bariyerlerin kullanılması
- Yansıyan lazer ışığına veya kazara doğrudan maruziyete karşı koruyucu gözlük kullanılması
- Doku ablasyonu sırasında oluşan dumanın (plume) yüksek hacimli aspirasyonla uzaklaştırılması

Koruyucu gözlükler hasta, hekim ve yardımcı personel tarafından takılmalı ve kullanılan lazerin dalga boyuna uygun olmalıdır.

Dokuların termal hasardan korunması. Lazerin periodontal ligament ve çevre kemik üzerindeki termal etkisi birçok çalışmada incelenmiş ve sıcaklık artışı 5 °C'nin altında tutulduğunda periodontal dokuların hasar görmediği bildirilmiştir (Midda, 1992). Bu sınırın aşılmasında için önceki bölümlerde değinilen şu önlemler önemlidir:

- Pulsu modun ve dinlenme aralıklarının tercih edilmesi (bkz. Bölüm 3 ve 4)
- Erbiyum lazerlerde eş eksenli su spreyinin kullanılması (bkz. Bölüm 3)
- Çıkış gücünün ve ışınlama süresinin dikkatle kontrol edilmesi (bkz. Bölüm 4)

Doğru eğitim ve bu güvenlik önlemleriyle birlikte, lazer teknolojisindeki gelişmeler endodontide yeni kullanım alanlarının önünü açmaktadır.

9. GELECEĞE YÖNELİK PERSPEKTİF

Lazerin endodontideki yerleşik kullanım alanlarının yanı sıra, henüz araştırma aşamasında olan yeni uygulamalar da bulunmaktadır. Bu alanlar Tablo 11’de özetlenmiştir.

Tablo 11 Endodontide Lazerin Araştırma Aşamasındaki Uygulamaları

Uygulama	Güncel durum
Kırık alet çıkarılması	İki yol vardır: aleti doğrudan ısınlayarak eritmek ya da aletin çevresindeki dokuyu ısınlayarak bir bypass oluşturmak. Metal aleti eritmek yüksek enerji gerektirir ve komşu dokularda termal hasara yol açabilir; çevre dokunun eritilmesi ise eğri veya ince duvarlı kanallarda lateral perforasyona neden olabilir. Yine de yöntem klinik uygulanabilirlik potansiyeli taşımaktadır.
Fiber post çıkarılması	SWEEPS modunda Er:YAG lazer fiber postları etkin şekilde uzaklaştırmış; ultrasonik aletlere göre daha az sıcaklık artışı ve mikro çatlak oluşturmuş ve beş kat daha hızlı sonuç vermiştir. Ancak bu konudaki çalışmalar sınırlıdır.
Kök gelişiminin hızlandırılması	GaAlAs diyot (810 nm) lazer ile MTA kombinasyonunun sıçan ve köpeklerde dentinogenez ve apeksogenezi hızlandırabildiği gösterilmiştir. Etkinliğin doğrulanması için klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

(Huang et al., 2023)

Gelecekte lazerlerin endodontide daha sık kullanılacağına şüphe yoktur. Bu alandaki araştırmalar; lazerin eksikliklerinin giderilmesine, tedaviyle ilişkili kazaların önlenmesine ve lazerin daha fazla klinik muayene ve tedavide kullanılmasına odaklanacaktır (Huang et al., 2023).

Bunun için farklı lazer yöntemlerini standart koşullarda karşılaştıran randomize klinik çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmalarda lazer parametreleri açıkça tanımlanmalı, postoperatif ağrı tek tip bir araçla kaydedilmeli ve semptomatik ile asemptomatik hastalar net kriterlerle ayrılmalıdır (Elmsmari et al., 2024).

10. SONUÇ

Lazerler, dokuyla seçici etkileşimleri sayesinde endodontide dezenfeksiyondan vital pulpa tedavilerine ve ağrı kontrolüne kadar geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Güncel literatür, lazer tedavisinin endodontik tedavide etkili bir yardımcı yöntem olduğunu ortaya koymaktadır (Huang et al., 2023).

Anahtar noktalar:

- Lazerin dokudaki etkisi dalga boyuna ve hedef kromofora bağlıdır; doğru lazer seçimi bu ilişkiye dayanır.
- Erbiyum lazerler sert doku ve irrigasyon uygulamalarında, neodimyum ve diyet lazerler ise dezenfeksiyonda öne çıkar.
- Lazerle aktive irrigasyon, kalsiyum hidroksit, biyofilm ve debrisin uzaklaştırılmasında şırınga-iğne irrigasyonundan daha etkilidir; ancak kanal sistemini tamamen temizleyemediği düşünülür.
- Lazerin postoperatif ağrı üzerindeki etkisi özellikle erken dönemde belirgindir; uzun dönem etkisi sınırlıdır.
- Güvenli kullanım için uygun parametre seçimi, koruyucu önlemler ve eğitim şarttır.

Sonuç olarak lazer, kök kanal tedavisinin temel ilkelerinin yerini almaz; doğru endikasyonda ve doğru parametrelerle kullanıldığında bu ilkeleri güçlendiren değerli bir araçtır.

KAYNAKÇA:

- Anagnostaki, E., Mylona, V., Parker, S., Lynch, E., & Grootveld, M. (2020, July 1). Systematic review on the role of lasers in endodontic therapy: Valuable adjunct treatment? *Dentistry Journal*, Vol. 8. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/DJ8030063>
- Aoki, A., Sasaki, K. M., Watanabe, H., & Ishikawa, I. (2004). Lasers in nonsurgical periodontal therapy. *Periodontology* 2000, 36, 59–97. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0757.2004.03679.X>
- Apel, C., Meister, J., Schmitt, N., Gräber, H. G., & Gutknecht, N. (2002). Calcium solubility of dental enamel following sub-ablative Er:YAG and Er:YSGG laser irradiation in vitro. *Lasers in Surgery and Medicine*, 30(5), 337–341. <https://doi.org/10.1002/LSM.10058>
- Bader, C., & Krejci, I. (n.d.). *Indications and limitations of Er:YAG laser applications in dentistry*.
- Boutsoukis, C., Lambrianidis, T., Kastrinakis, E., & Bekiaroglou, P. (2007). Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *International Endodontic Journal*, 40(7), 504–513. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2007.01244.X>
- Cîmpean, S. I., Pop-Ciutrla, I. S., Matei, S. R., Colosi, I. A., Costache, C., Nicula, G. Z., ... Colceriu Burtea, L. (2022). Effectiveness of Different Final Irrigation Procedures on Enterococcus faecalis Infected Root Canals: An In Vitro Evaluation. *Materials* 2022, Vol. 15, Page 6688, 15(19), 6688. <https://doi.org/10.3390/MA15196688>
- Elmsmari, F., Shujaie, H., Alzaabi, R., González, J. A., Aljafarawi, T., Olivieri, J. G., ... Afrashtehfar, K. I. (2024). Lasers efficacy in pain management after primary and secondary endodontic treatment: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74998-x>
- Fattah, T., Kazemi, H., Fekrazad, R., Assadian, H., Kalhori, K. A. M., Fattah, T., ... Kalhori, K. A. M. (2012). Er,Cr:YSGG laser influence on microleakage of class V composite resin restorations. *Lasers in Medical Science* 2012 28:5, 28(5), 1257–1262. <https://doi.org/10.1007/S10103-012-1200-6>
- Fornaini, C., Brulat-Bouchard, N., Medioni, E., Zhang, S., Rocca, J. P., & Merigo, E. (2020). Nd:YAP laser in the treatment of dentinal hypersensitivity: An ex vivo study. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 203, 111740. <https://doi.org/10.1016/J.PHOTOTBIOL.2019.111740>
- Galler, K. M., Grubmüller, V., Schlichting, R., Widbiller, M., Eidt, A., Schuller, C., ... Buchalla, W. (2019). Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *International Endodontic Journal*, 52(8), 1210–1217. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13108>

- Genc Sen, O., & Kaya, M. (2019). Effect of root canal disinfection with a diode laser on postoperative pain after endodontic retreatment. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, 37(2), 85–90. <https://doi.org/10.1089/PHOTOB.2018.4539>;
- Gulabivala, K., Patel, B., Evans, G., & Ng, Y.-L. (2005). Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics*, 10(1), 103–122. <https://doi.org/10.1111/J.1601-1546.2005.00133.X>
- Huang, Q., Li, Z., Lyu, P., Zhou, X., & Fan, Y. (2023, March 1). Current Applications and Future Directions of Lasers in Endodontics: A Narrative Review. *Bioengineering*, Vol. 10. MDPI. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030296>
- Isthmus morphology influences debridement efficacy of activated irrigation: A laboratory study involving biofilm mimicking hydrogel removal and high-speed imaging - Robberecht - 2023 - International Endodontic Journal - Wiley Online Library. (n.d.). Retrieved October 3, 2026, from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/iej.13836>
- Kokuzawa, C., Ebihara, A., Watanabe, S., Anjo, T., Bolortuya, G., Saegusa, H., & Suda, H. (2012). Shaping of the root canal using Er:YAG laser irradiation. *Photomedicine and Laser Surgery*, 30(7), 367–373. <https://doi.org/10.1089/PHO.2012.3226>
- Liu, T., Huang, Z., Ju, Y., & Tang, X. (2018). Bactericidal efficacy of three parameters of Nd:YAP laser irradiation against *Enterococcus faecalis* compared with NaOCl irrigation. *Lasers in Medical Science* 34:2, 34(2), 359–366. <https://doi.org/10.1007/S10103-018-2603-9>
- Luk, K., Zhao, I. S., Yu, O. Y., Zhang, J., Gutknecht, N., & Chu, C. H. (2020). Effects of 10,600 nm Carbon Dioxide Laser on Remineralizing Caries: A Literature Review. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, 38(2), 59–65. <https://doi.org/10.1089/PHOTOB.2019.4690>
- Lukač, N., & Jezeršek, M. (2018). Amplification of pressure waves in laser-assisted endodontics with synchronized delivery of Er:YAG laser pulses. *Lasers in Medical Science* 2018 33:4, 33(4), 823–833. <https://doi.org/10.1007/S10103-017-2435-Z>
- Magnification devices for endodontic therapy - Del Fabbro, M - 2015 | Cochrane Library. (n.d.). Retrieved September 25, 2026, from <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD005969.pub3/full>
- Midda, M. (1992). Lasers in periodontics. *Periodontal Clinical Investigations: Official Publication of the Northeastern Society of Periodontists*, 14(1), 14–20. <https://doi.org/10.4103/0975-7406.100245>

- Moon, Y. M., Kim, H. C., Bae, K. S., Baek, S. H., Shon, W. J., & Lee, W. (2012). Effect of Laser-activated Irrigation of 1320-Nanometer Nd:YAG Laser on Sealer Penetration in Curved Root Canals. *Journal of Endodontics*, 38(4), 531–535. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2011.12.008>
- Namour, A., Geerts, S., Zeinoun, T., De Moor, R., & Nammour, S. (2016). Safety Irradiation Parameters of Nd:YAP Laser Beam for Endodontic Treatments: An In Vitro Study. *BioMed Research International*, 2016(1), 4741516. <https://doi.org/10.1155/2016/4741516>
- Parker, S. (2007). Laser-tissue interaction. *British Dental Journal* 2007 202:2, 202(2), 73–81. <https://doi.org/10.1038/bdj.2007.24>
- Parker, S., Cronshaw, M., Anagnostaki, E., Mylona, V., Lynch, E., & Grootveld, M. (2020). Current concepts of laser–oral tissue interaction. *Dentistry Journal*, Vol. 8. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/DJ8030061>
- Samiei, M., Pakdel, S. M. V., Rikhtegaran, S., Shakoei, S., Ebrahimpour, D., & Taghavi, P. (2014). Scanning Electron Microscopy Comparison of the Cleaning Efficacy of a Root Canal System by Nd:YAG Laser and Rotary Instruments. *Microscopy and Microanalysis*, 20(4), 1240–1245. <https://doi.org/10.1017/S1431927614000981>
- Saydjari, Y., Kuypers, T., & Gutknecht, N. (2016). Laser Application in Dentistry: Irradiation Effects of Nd:YAG 1064 nm and Diode 810 nm and 980 nm in Infected Root Canals—A Literature Overview. *BioMed Research International*, 2016(1), 8421656. <https://doi.org/10.1155/2016/8421656>
- Siqueira, J. F. (2001). Aetiology of root canal treatment failure: Why well-treated teeth can fail. *International Endodontic Journal*, 34(1), 1–10. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2591.2001.00396>
- Theodoro, L. H., Marcantonio, R. A. C., Wainwright, M., & Garcia, V. G. (2021). LASER in periodontal treatment: is it an effective treatment or science fiction? *Brazilian Oral Research*, 35(Supplement 2), e099. <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2021.VOL35.0099>
- Wang, J., Chen, Y., Zhang, B., Ge, X., & Wang, X. (2022a). Clinical efficacy of Er:YAG laser application in pulpotomy of primary molars: a 2-year follow-up study. *Lasers in Medical Science* 2022 37:9, 37(9), 3705–3712. <https://doi.org/10.1007/S10103-022-03655-4>
- Wen, C., Yan, L., Kong, Y., Zhao, J., Li, Y., & Jiang, Q. (2021). The antibacterial efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming in root canals with different diameters or tapers. *BMC Oral Health* 2021 21:1, 21(1), 542-. <https://doi.org/10.1186/S12903-021-01903-7>
- Yamakawa, S., Niwa, T., Karakida, T., Kobayashi, K., Yamamoto, R., Chiba, R., ... Hosoya, N. (2018). Effects of Er:YAG and Diode Laser Irradiation on Dental

Pulp Cells and Tissues. *International Journal of Molecular Sciences* 2018, Vol. 19, Page 2429, 19(8), 2429. <https://doi.org/10.3390/IJMS19082429>

Yang, Q., Liu, M. W., Zhu, L. X., & Peng, B. (2020). Micro-CT study on the removal of accumulated hard-tissue debris from the root canal system of mandibular molars when using a novel laser-activated irrigation approach. *International Endodontic Journal*, 53(4), 529–538. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13250>