

GEÇİCİ KAPAK

*Kapak tasarımı
devam ediyor.*

BİDGE Yayınları

Dental Doku Onarımı ve Biyoaktif Tedavi Stratejileri

Editör: MERVE ERKMEN ALMAZ

ISBN: -

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: -

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İÇİNDEKİLER

LEZYON STERİLİZASYONU VE DOKU ONARIMI	1
<i>AYŞENUR ASLAN</i>	
ENDODONTİDE MİNERAL TRİOKSİT AGREGAT: BİYOAKTİF BİR MATERYALİN KLİNİK KULLANIM ALANLARI	12
<i>ŞEYMA EDA AKIN, MERVE KÖSETÜRK</i>	
REHBERLİ ENDODONTİ: MİNİMAL İNVAZİV ENDODONTİK TEDAVİLERDE YENİ BİR DÖNEM	33
<i>ŞEYMA EDA AKIN, EMRE AKYÜZ, MERVE KÖSETÜRK</i>	
IRRIGATION SOLUTIONS AND IRRIGATION ACCIDENTS IN DENTISTRY: CURRENT APPROACHES AND CLINICAL MANAGEMENT	54
<i>HANİFE ALTUN, HİLAL GÜLEN</i>	
ENDODONTİDE FOTODİNAMİK TERAPİ: ETKİ MEKANİZMASI VE KLİNİK KULLANIM	75
<i>MÜNEVVER KAYA</i>	

BÖLÜM 1

LEZYON STERİLİZASYONU VE DOKU ONARIMI

1.AYŞENUR ASLAN¹
2.EZGİ EROĞLU ÇAKMAKOĞLU²

Giriş

Niigata Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Karioloji Araştırma Bölümü, temelleri 1990 yılında Hoshino'nun çalışmalarıyla atılan ve Takushige tarafından yaygınlaştırılan lezyon sterilizasyonu ve doku onarımı (LSTR) tedavisi fikrini geliştirmiştir (Takushige et al., 2004).

LSTR, kök kanallarının ve periapikal dokulardaki lezyonların dezenfekte edilmesi amacı ile propilen glykol içerisinde çözdürülen antibiyotik karışımı yerleştirilerek, alet kullanılmadan veya minimum alet kullanımıyla yapılan bir endodontik tedavi şeklidir (Achanta et al., 2023).

LSTR tedavisinin temel çalışma mantığı, konakçının doğal savunma sistemini uyararak doku onarımını sağlamaktır. Kök kanallarına ve pulpa odasına antibiyotiklerin yerleştirilmesi bölgedeki mikroorganizma yükünü belirgin ölçüde azaltmaktadır. Literatürde, mekanik temizlik yapılmaksızın uygulanan bu kimyasal dezenfeksiyonun mikrobiyal eliminasyonda %20 ila %40 oranında bir etkinlik sağladığı belirtilmektedir. Karışımdaki üç antibiyotiğin sinerjik etkisi, mikrobiyal direnç oluşma olasılığını minimuma indirerek tedavinin başarısını artırır. Sonuç

¹ Arş.Gör,Adıyaman Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,Pedodonti Anabilim Dalı, Orcid:0009-0006-0256-7766

² Doç.Dr,Adıyaman Üniversitesi Diş Hekimliğ Fakültesi,Pedodonti Anabilim Dalı,Orcid: 0000-0002-5014-3099

olarak bu kombinasyon,yalnızca güçlü bir antimikrobiyal ajan olmakla kalmayıp,periapikal alanda rejenerasyonu başlatma potansiyeline de sahiptir (Parhizkar & Nojehdehian, 2018).

Genellikle üçlü antibiyotik karışımı makrogol veya propilen glikol çözücü ile kombine edilerek kullanılır. Bu kombinasyona 3Mix denmektedir. Uygulama başarılı olursa doku onarımı beklenebilir (Duarte et al., 2020).

Hoshino ve ark. 1990 yılındaki çalışmalarında, 500 mg metronidazol, 200 mg siprofloksasin ve 100 mg minosiklinden oluşan formülasyonu eşit oranlarda (1:1:1) bir araya getirerek uygulamışlardır (Hoshino et al., 1996). Takushige ve ark. ise 1998 yılında aynı antibiyotikleri 1:3:3 oranında kombine ederek kullanmışlardır (Takushige et al., 2004). Bununla birlikte literatürde farklı antibiyotik kombinasyonları da denenmiş ama aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (Takushige et al., 2008).

Minosiklinin en önemli dezavantajlarından biri dişlerde kronik renk değişikliğine (grey-purple staining) neden olmasıdır. Bu estetik problemin önüne geçebilmek amacıyla klinikte amoksisilin, sefaklor, sefroksadin, fosfomisin veya klindamisin gibi alternatif antibiyotikler tercih edilerek modifiye 3Mix patları (Şekil 1) hazırlanmaktadır (Parhizkar et al., 2018).

KULLANILAN ANTİBİYOTİKLERİN ÖZELLİKLERİ

Üçlü antibiyotik karışımındaki antibiyotiklerin kısaca özellikleri şöyledir;

Siprofloksasin

- Florokinon grubu
- Bakterisit etkili
- Gr(-) aerob bakterilere etki (Mohammadi, 2010).

Metronidazol

- Nitroimidazol grubu
- Bakterisit etkili
- Gr(-) ve Gr(+) anaerob bakterilere etki (Gao et al., 2004).

Minosiklin

- Tetrasiklin grubu
- Bakteriyostatik etkili
- Gr(-) ve Gr(+) aerob ve anaerob bakterilere etki. Geniş spektrumlu bir antibiyotik (Wang et al., 2003).



Şekil 1: Klinikte minosiklin kaynaklı renklenmeyi önlemek amacıyla siprofloksasin, metronidazol ve klindamisin kombinasyonu ile hazırlanan modifiye 3Mix antibiyotik bileşenleri.

3MİX HAZIRLANIŞI

Ticari preparat formundaki antibiyotikler farklı steril kaplara alınır. Tabletlerin enterik kaplaması bistüri yardımıyla kazınarak uzaklaştırılır. Her bir bileşen farklı steril havanlarda dövülerek toz haline getirilir. Tozun işlem sırasında ıslanmamasına dikkat edilmelidir. Patın hazırlanmasında bileşenlerin tamamı temiz bir cam blok üzerine alınır ve üzerine çözücü likit eklenerek homojen bir pat kıvamına gelene kadar karıştırılır (Prabhakar et al., 2008).

Elde edilen karışım kremi bir macun kıvamında ve homojen yapıda olmalıdır. Karışımın kıvamına bağlı olarak fazla akışkan veya katı olması halinde istenilen kıvam elde edilene kadar toz veya çözücü eklenebilir. Elde edilen opak macun pat taze olarak kullanılabilceği gibi hava geçirmeyen kaplarda saklanarak daha sonraki işlemlerde de kullanılabilir. Saklama esnasında pat

opaklığını kaybedip yarı saydam bir hale gelirse (kimyasal degradasyon ve etkinlik kaybı nedeniyle) kullanılmamalıdır (Anila et al., 2014).

ENDİKASYONLAR

- *Aşırı enfekte ve nekrotik süt dişleri*
- *İlerlemiş inflamatuvar kök rezorpsiyonu varlığında daimî diş germini korumak ve dişin sınırlı bir süre daha ağızda tutulması gereken durumlar*
- *Sınıf I – II mobiliteye sahip dişler*
- *Furkasyonda kemik kaybı*
- *Apse veya fistül varlığı*
- *Akut veya kronik irreversible pulpitis*
- *Apeksi açık nekrotik dişler*
- *Semptomatik dişlere kök kanal tedavisi yenilenmesi*
- *İnternal rezorbsiyon*
- *Diş çekimini kabul etmeyen ebeveynler*
- *Kooperasyon güçlüğü olan hastalar*

(Dasari et al., 2016; Duanduan et al., 2013).

KONTRENDİKASYONLAR

- *Patlarda kullanılan antibiyotiklere karşı alerji ya da aşırı duyarlılık öyküsünün bulunması*
 - *Fizyolojik düşme zamanına az kalmış dişler*
 - *Geniş madde kaybı nedeniyle restore edilemeyen dişler*
 - *Furkasyon bölgesinde perforasyon varlığı*
 - *Sınıf III mobiliteye sahip dişler*
 - *Enfektif endokardit gibi sistemik açıdan riskli hastalar*
 - *İleri derece internal veya eksternal kök rezorpsiyonu*
- (Aşık & Önçağ, 2022).*

TEDAVİ PROSEDÜRÜ

Tedavi öncesinde hastanın mevcut şikayetleri (diş eti şişliği, apse, sinüs yolu, pürülan eksuda, ağrı) detaylıca kaydedilir ve radyografi alınır.

Çalışma alanı rubber dam (lastik örtü) uygulanarak izole edilir. Giriş kavitesinin hazırlanması esnasında çürük dokular, mevcut eski restorasyonlar ve nekrotik pulpa dokusu tamamen uzaklaştırılır. Giriş kavitesinin duvarları %35'lik ortofosforik asit ile asitlenir. Smear tabakasını uzaklaştırarak antibiyotiklerin dentin tübüllerine daha iyi penetre olmasını sağlamak amacıyla ortofosforik asit kullanımı yerine etilendiamintetraasetik asit (EDTA) kullanımı da tercih edilebilir (Sain et al., 2018).

Antibiyotik patının yerleştirilmesinden önce kök kanal girişlerine medikasyon kavitesi olarak adlandırılan 1mm çapında ve 2mm derinliğinde oluklar açılır ve yıkama işlemine başlanır. Bu amaçla sodyum hipoklorit, serum fizyolojik, klorheksidin glukonat gibi çeşitli ajanlar tek başlarına ya da kombinasyon halinde kullanılabilir (Moreira et al., 2022).

Kavite kurutulduktan sonra medikasyon kavitelere antibiyotik patı yerleştirilir. Yerleştirilen antibiyotik patının üzeri cam iyonomer siman ile örtülür ve rezin bazlı bir restoratif materyal ya da paslanmaz çelik kron vasıtasıyla restorasyon tamamlanır. Tedavi prosedürünün tamamlanmasını takiben, kontrol amacıyla periapikal radyografi alınır. (Takushige et al., 2004).

Hastaların klinik ve radyografik takipleri 1,3 ve 6. aylarda gerçekleştirilir. Hastanın mevcut semptomları ya da postoperatif semptomları olmaması, furkasyon bölgesinde iyileşme olması, mobilitesindeki azalma durumlarında başarılı bir tedaviden söz edilebilir (Arangannal et al., 2019).

AVANTAJLARI

- *Çoğunlukla tek seansta tamamlanabilmesiyle birlikte uygulanması kısa süren bir tedavidir.*
- *Uygulama kolaylığı, ağrısız yapısı ve zaman tasarrufu sağlaması sayesinde, hasta ve hekim üzerindeki fiziksel ve psikolojik stres yükü oldukça düşüktür.*
- *Lezyon alanında yeni kemik formasyonu indüklenebilir.*
- *Komplikasyon insidansı düşüktür.*

- *Uygulanan patların periapikal dokular üzerinde zararlı ya da yıkıcı etkisi bulunmamaktadır.*
- *Pat içerisindeki antibiyotikler E. faecalis üzerinde etkilidir.*
- *Maliyeti düşüktür (Sain et al., 2018; Kayalvizhi et al., 2013; Trairatvorakul & Sastararui, 2014; Goswami, 2018).*

DEZAVANTAJLARI

- *Kullanılan antibiyotik patına karşı alerji gelişebilir.*
- *Antibiyotik patının içerisindeki minosiklinden dolayı dişlerde renklenme oluşabilir.*
- *Antibiyotik patının radyolusent yapısı, dolun başarısının radyografik olarak değerlendirilmesini güçleştirmektedir.*
- *İnatçı enfeksiyonların tedavisinde, antibiyotiğe dirençli bakteri suşlarının gelişme riski mevcuttur.*
- *İyileşmeyen enfeksiyon odağının kronikleşerek kist oluşturması, sürmekte olan daimî dişin gelişimini veya sürme sürecini riske atabilir.*
- *Tedavi takibinde antibiyotik patının rezorbe olması boş tüp etkisi meydana getirebilir. Boşalan kanallar bakteri barındıran doku sıvılarıyla dolarak enfeksiyona yatkın bir ortam oluşturur. Söz konusu tablo, enfeksiyonun inatçı bir hal almasına ve tedavinin başarısızlığına yol açabilir (Sain et al., 2018; Kayalvizhi et al., 2013; Shetty et al., 2020).*

LEZYON STERİLİZASYONU VE DOKU ONARIMINDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Yapılan son çalışmalarda üçlü antibiyotik patı içerisine statin grubundan olan simvastatin eklenmiştir. Ocak 2018-Mart 2021 aralığında Şam Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiş bir çalışmada üçlü antibiyotik patına eklenen simvastatin, osteoblast aktivitesini artırıp osteoklastları baskılayarak kökler arası bölgedeki kemik iyileşmesini hızlandırmayı amaçlamıştır (Nagendrababu et al., 2020).

1:1:1 oranında hazırlanan üçlü antibiyotik tozunun içerine 2mg simvastatin eklenmiştir. Çözücü olarak yine propilen glikol kullanılmıştır. Bu hazırlanan pata "3MİXTATİN" adı verilmiştir. Bir ölçek propilen glikol ve yedi ölçek 3mixtatin tozu kremi bir kıvam elde edilmek için karıştırılmıştır (1:7 oranı). Tedavi prosedürü LSTR ile aynı olacak şekilde uygulanmıştır (Aminabadi et al., 2016).

Çalışma sonuçları geleneksel pulpektomi tedavisine göre klinik ve radyografik olarak başarılı, etkili ve gelecek vadeden bir alternatif tedavi seçeneği olarak belirlenmiştir (Almarji et al., 2024).

SONUÇ

Süt dişlerinin kendilerine özgü morfolojik yapıları, çocuk hastalarda karşılaşılan uyum problemleri, dişlerdeki ileri derecedeki kök rezorpsiyonları ile kemik ve periodontal doku kayıpları gibi çeşitli sebepler süt dişlerine endodontik tedavi uygulanabilirliğini zorlaştırmaktadır. Bu gibi durumlarda alternatif birer yaklaşım olarak genel anestezi altında müdahale veya süt dişlerinin çekimi değerlendirilmektedir.

Erken süt dişi çekimleri; ark uzunluğunda azalma, çapraşıklığa, kalıcı dişlerin gömülü kalmasına ve maloklüzyon gibi dental anomalilere zemin hazırlamaktadır. Bu durum sekonder olarak; çocuklarda fonksiyonel bozukluklara, konuşma problemlerine ve ağız solunumu ile dil itme gibi zararlı oral alışkanlıkların gelişimine yol açabilmektedir. Erken çekim olgularında yer koruyucu yaklaşımı büyük bir önem taşımakla beraber, hareketli veya sabit apareylerin çocuk hastalarda konfor kaybı ve oral hijyen yetersizliği yaratabileceği unutulmamalıdır; nitekim ark stabilitesinin sağlanmasında en etkili ve fonksiyonel yer tutucu, doğal dişin kendisidir.

LSTR, süt dişi çekimine bağlı gelişebilecek dental ve fonksiyonel komplikasyonların önlenmesi amacıyla çekimden başka seçeneği kalmamış gibi görünen dişlerde uygulanabilmektedir. Uyum problemi gösteren hastalarda, kısa seans süresi ve pratik uygulama basamakları sayesinde klinik olarak konforlu bir tedavi alternatifi oluşturmaktadır. Oldukça umut verici bir tedavi seçeneği olmakla birlikte; konuyla ilgili daha fazla vaka içeren, uzun dönemli araştırmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynakça

Achanta A, Reche A, Dakhale R, Bharate RR. A comprehensive review of lesion sterilization and tissue repair: an alternative for pulpectomy in deciduous teeth. *Cureus*. 2023;15(11).

Almarji W, Laflouf M, Tolibah YA. Evaluation of the modified 3mix-simvastatin combination in non-instrumental endodontic therapy of necrotic primary molars: a two-arm randomized controlled trial. *Clin Exp Dent Res*.2024; 1-11.

Alternative endodontic technique in pediatric dentistry: lesion sterilization and tissue repair. Aşık A, Önçağ O. *Clin Dent Rev*. 2022; 6:8.

Aminabadi,N., Huang, B., Samiei, M., Agheli, S., Jamali, Z., & Shirazi, S. A randomized trial using 3Mixtatin compared to MTA in primary molars with inflammatory root resorption: A novel endodontic biomaterial. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*.2016;40(2), 95–102.

Anila B, Murali H, Cheranjeevi J, Kapil RS. Lesion Sterilization and Tissue Repair (LSTR): A Review. *J scientific dentistry*. 2014;4(2)49-55.

Arangannal P, Muthiah G, Jeevarathan J, Sankar P. Lesion sterilization and tissue repair in nonvital primary teeth: An In vivo study. *Contemp Clin Dent*. 2019; 10:31-5.

Chemomechanical strategies to manage endodontic infections. Mohammadi Z.*Dent Today*. 2010; 29:91–92.

Dasari V, Maroli S, Chowdary L, Karukola R, Premakumar SH, Vusurumarthi V. An in vivo study evaluating lesion sterilization and tissue repair 3 MIXMP noninstrumentation endodontic treatment as

an alternative to conventional endodontic retreatment. *CHRISMED J Health Res* 2016; 3:284-7.

Duanduan A, Sirimaharaj V, Chompu-inwai P. Retrospective study of pulpectomy with Vitapex and LSTR with three antibiotics combination (3mix) for non vital pulp treatment in primary teeth. *CMU J Nat Sci.* 2013; 12(2): 131- 139.

Duarte, Lannes M, Pires PM, Ferreira DM, Braga Pintor AV, Almeida Neves AD, Maia LK, Primo LG. Is there evidence for the use of lesion sterilization and tissue repair therapy in the endodontic treatment of primary teeth? A systematic review and meta-analyses. *Clinical Oral Investigations* 24 2020: 2959- 2972.

Gao J, Wang ZP, Li XG, et al. The preparation and in vitro release test of sustained-release delivery gutta-percha point containing metronidazole (Article in Chinese) *Shanghai Kou Qiang Yi Xue.* 2004; 13:557–560.

Goswami S. Lesion sterilization and tissue repair in pediatric dentistry. *SRM J Res Dent Sci.* 2018; 9:79-82.

Hoshino E, Kurihara-Ando N, Sato I, Uematsu H, Sato M, Kota K ve diğerleri. Enfekte kök dentininden alınan bakterilerin siprofloksasin, metronidazol ve minosiklin karışımına karşı in vitro antibakteriyel duyarlılığı. *Uluslararası endodonti dergisi.*1996;29(2):125–130.

Kayalvizhi G, Subramaniyan B, Suganya G. Topical application of antibiotics in primary teeth: an overview. *Journal of Dentistry for Children.*2013;80(2):71-79.

Mohammadi Z. Chemomechanical strategies to manage endodontic infections. *Dent Today.* 2010; 29:91–92.

Moreira, C. P., Siegl, R. M. C., Tedesco, T. K., Gimenez, T., Floriano, I., Imperato, J. C. Lesion sterilization and tissue repair of primary

molar to the eruption of its permanent successor: A case report. *Brazilian Dental Science*.2022; 25(1), e2903

Nagendrababu, V., Duncan, H. F., Bjørndal, L., Kvist, T., Priya, E., Jayaraman, J., Pulikkotil, S. J., Pigg, M., Rechenberg, D. K., Væth, M., Dummer, P. M. H. PRIRATE 2020 guidelines for reporting randomized trials in endodontics: A consensus-based development. *International Endodontic Journal*.2020; 53(6), 764–773.

Parhizkar A, Nojehdehian H, Asgary S. Triple antibiotic paste: momentous roles and applications in endodontics: a review. *Restor Dent Endod*. 2018; 43:0.

Prabhakar AR, Sridevi E, Raju OS, Satish V. Endodontic treatment of primary teeth using combination of antibacterial drugs: an in vivo study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2008; 26:5-10.

Sain S, Reshmi J, Anandaraj S, George S, Issac JS, John SA. Lesion Sterilization and Tissue Repair–Current Concepts and Practices, *Int J Clin Pediatr Dent*. 2018; 11(5):446-450.

Shetty AA, Geethanjali G, Hegde AM. Lesion sterilization and tissue repair in primary teeth. *SRM J Res Dent Sci*. 2020; 11:99-105.

Takushige T, Cruz EV, Moral AA, Hoshino E. Endodontic treatment of primary teeth using a combination of antibacterial drugs. *IntEndod J*. 2004; 37:132–138.

Takushige T, Cruz EV, Moral MA, Hoshino E. Non surgical treatment of pulpitis, including those with history of spontaneous pain, using a combination of antibacterial drugs.,2008;7:1–5.

Trairatvorakul C, Sastararuj T. Indirect pulp treatment vs antibiotic sterilization of deep caries in mandibular primary molars. *Int J Paediatr Dent*. 2014 Jan;24(1):23- 31.

Wang ZP, Wang D, Zhang LJ, et al. The observation of the effect of the metronidazole-chlorhexidine solution on the treatment of periapical periodontitis (Article in Chinese) Shanghai Kou Qiang Yi Xue. 2003; 12:244-246.

BÖLÜM 2

ENDODONTİDE MİNERAL TRİOKSİT AGREGAT: BİYOAKTİF BİR MATERYALİN KLİNİK KULLANIM ALANLARI

1. ŞEYMA EDA AKIN¹

2. MERVE KÖSETÜRK²

1. Giriş

Endodonti, geleneksel olarak enfekte veya nekrotik pulpa dokusunun uzaklaştırılması, kök kanal sisteminin dezenfeksiyonu ve sızdırmaz biçimde doldurulması üzerine temellenen bir disiplin olarak tanımlanmıştır. Ancak son yıllarda endodontik tedavi anlayışı yalnızca enfeksiyon kontrolü ve mekanik obtürasyon ekseninde değil, aynı zamanda pulpa-dentin kompleksi, sement, periodontal ligament ve periapikal dokuların biyolojik iyileşme potansiyelini destekleyen daha bütüncül bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Bu dönüşüm, özellikle vital pulpa tedavileri, açık apeksli dişlerin tedavileri, kök perforasyonlarının onarımı, rezorpsiyon defektlerinin tedavisi, rejeneratif endodontik işlemler ve endodontik cerrahi gibi doku cevabının tedavi başarısını doğrudan belirlediği klinik

¹ Arş. Gör., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0005-9280-2434

² Dr. Öğr. Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0001-8401-5098

alanlarda belirgin hâle gelmiştir. Bu bağlamda endodontik materyallerden beklenen özellikler de değişmiş; yalnızca fiziksel bariyer oluşturabilen materyallerden ziyade, biyouyumlu, biyoaktif, nemli ortamda stabil kalabilen ve sert doku oluşumunu destekleyebilen materyaller ön plana çıkmıştır (Eskandari, Razavian, Hamidi, Yousefi ve Borzou, 2022; Küçükkaya Eren, 2023). Kalsiyum silikat esaslı simanların endodontide pulpa kuafajı, apeksifikasyon, perforasyon onarımı ve kök kanal sızdırmazlığı gibi uygulamalarda giderek daha fazla kullanıldığı güncel derlemelerde de vurgulanmaktadır. Mineral trioksit agregat, yaygın kullanılan adıyla MTA, bu biyolojik yaklaşımın endodontide en önemli materyallerden biridir. MTA, kalsiyum silikat esaslı hidrolik bir siman olup nem varlığında sertleşebilmesi, yüksek alkalenite oluşturması, ortama kalsiyum iyonu salınımı, çevre dokularla biyolojik uyum göstermesi ve mineralize doku oluşumunu destekleyebilmesi nedeniyle endodontik tedavilerde geniş bir kullanım alanı kazanmıştır. Güncel literatürde MTA, klasik bir tamir materyali olmanın ötesinde, biyolojik iyileşmeyi destekleyen ve doku-materyal etkileşimi üzerinden klinik prognoza katkı sağlayan biyoaktif bir materyal olarak değerlendirilmektedir (Ellakwa, Ellakwa ve Ellakwa, 2026; Tsuchiya vd., 2025). Kalsiyum silikat simanların biyouyumluluk, biyoaktivite ve çok yönlü klinik kullanım avantajları nedeniyle modern endodontinin temel materyal gruplarından biri hâline geldiği; buna karşın renklenme, sertleşme süresi, manipülasyon güçlüğü ve uzun dönem klinik kanıt gereksinimi gibi sınırlılıkların hâlen önemini koruduğu bildirilmektedir (Tsuchiya vd., 2025).

MTA'nın endodontideki değeri, yalnızca iyi bir sızdırmazlık materyali olmasından kaynaklanmaz. Bu materyalin klinik önemini belirleyen asıl unsur, biyolojik dokularla temas ettiğinde oluşturduğu yanıtla ilişkilidir. Pulpa dokusu üzerine yerleştirildiğinde dentin köprüsü oluşumunu destekleyebilmesi, açık apeksli dişlerde apikal

bariyer oluşumuna katkı sağlayabilmesi, kök perforasyonlarında periodontal dokularla uyumlu bir iyileşme ortamı oluşturabilmesi ve kök ucu cerrahisinde periapikal iyileşmeyi destekleyebilmesi, MTA'nın endodontik tedavilerde tercih edilmesinin temel biyolojik gerekçeleridir. Kalsiyum silikat simanların hidrasyon süreci sonucunda oluşan kalsiyum hidroksit ve buna bağlı alkalin ortam, materyalin antimikrobiyal potansiyeli, mineralizasyonu destekleyici etkisi ve biyolojik aktivitesi açısından önem taşır (Eskandari vd., 2022; Majeed vd., 2023).

Son yıllarda vital pulpa tedavilerinin yeniden önem kazanması, MTA ve benzeri kalsiyum silikat esaslı materyallerin klinik kullanımını daha da görünür hâle getirmiştir. Güncel endodontik yaklaşımda vital pulpa tedavileri; direkt pulpa kuafajı, parsiyel pulpotomi ve tam pulpotomi gibi uygulamalarla pulpa canlılığını korumayı, inflamasyonu kontrol altına almayı ve dişin biyolojik fonksiyonunu sürdürmeyi amaçlamaktadır (Coll vd., 2025). Amerikan Endodontistler Birliği'nin vital pulpa tedavisine ilişkin pozisyon bildirisinde, kalsiyum silikat simanların vital pulpa tedavilerinde klinik başarı açısından güçlü bir yere sahip olduğu ve MTA'nın bu materyal grubu içinde en yaygın kullanılan ve en kapsamlı incelenen materyallerden biri olduğu belirtilmiştir (American Association of Endodontists [AAE], 2021a). Aynı bildiriye MTA ve diğer kalsiyum silikat simanların, daimi dişlerde vital pulpa tedavilerinde yüksek başarı oranlarıyla ilişkili olduğu vurgulanmaktadır.

2025 yılında yayımlanan sistematik derleme ve meta-analizler de vital pulpa tedavilerinde kalsiyum silikat esaslı materyallerin klinik önemini desteklemektedir. Coll ve arkadaşları (2025), daimi dişlerde vital pulpa tedavilerinin başarısını değerlendirdikleri sistematik derleme ve meta-analizde, özellikle normal pulpa veya geri dönüşümlü pulpitis tanısı alan dişlerde indirekt pulpa tedavisi, direkt pulpa kuafajı, parsiyel pulpotomi ve

tam pulpotomi yaklaşımlarının belirli klinik koşullarda başarılı sonuçlar verebildiğini bildirmiştir. Aynı çalışma, kalsiyum silikat siman kullanılan vital pulpa tedavilerinde başarının arttığını ve hemostaz kontrolü, restoratif sızdırmazlık, doğru pulpa tanısı ve uygun olgu seçiminin prognoz üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Ayrıca 2026 tarihli bir ağ meta-analizinde, MTA ve Biodentine gibi hidrolik kalsiyum silikat materyallerin vital pulpa tedavilerinde kalsiyum hidroksite kıyasla daha yüksek başarı olasılığı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Teja vd., 2026).

MTA'nın endodontideki kullanım alanları vital pulpa tedavileriyle sınırlı değildir. Açık apeksli nekrotik daimi dişlerde apikal bariyer oluşturulması, kök perforasyonlarının onarımı, internal veya eksternal rezorpsiyon defektlerinin yönetimi, rejeneratif endodontik işlemlerde koronal bariyer oluşturulması ve apikal cerrahi sonrası retrograd kök ucu dolgusu, materyalin başlıca endodontik uygulama alanları arasında yer almaktadır. Rejeneratif endodontik tedavilerde MTA, özellikle kan pıhtısı veya biyolojik iskele üzerinde koronal bariyer materyali olarak kullanılabilir; ancak estetik bölgelerde renklenme potansiyeli nedeniyle alternatif kalsiyum silikat esaslı materyallerin değerlendirilmesi önerilmektedir (AAE, 2021b). AAE'nin rejeneratif endodontik işlem protokolünde MTA apeksifikasyonu, immatür nekrotik dişlerde rejeneratif tedaviye alternatiflerden biri olarak da belirtilmiştir. Bununla birlikte, MTA'nın endodontik kullanımını yalnızca avantajları üzerinden değerlendirilmemelidir. Materyalin uzun sertleşme süresi, manipülasyon zorluğu, kumlu kıvamı, yerleştirme sırasında taşma riski, maliyeti ve özellikle bizmut oksit içeren formlarında görülebilen renklenme potansiyeli klinik kullanımda dikkate alınması gereken sınırlılıklardır. Güncel kılavuzlarda estetik bölgelerde renklenme riski düşük kalsiyum silikat materyallerin tercih edilebileceği belirtilmektedir (Coll vd., 2025). Bu nedenle MTA kullanımı, yalnızca materyalin biyolojik üstünlükleri

üzerinden değil; olgunun klinik gereksinimi, dişin estetik konumu, izolasyon koşulları, kanama kontrolü, restoratif planlama ve hekimin materyali uygulama deneyimiyle birlikte değerlendirilmelidir. Bu kitap bölümünde MTA'nın endodontideki klinik kullanım alanları, güncel literatür ışığında biyolojik ve klinik temelleriyle ele alınacaktır. Bölümün amacı, MTA'yı yalnızca bir "dolgu" veya "tamir" materyali olarak tanımlamak değil; pulpa-dentin kompleksi ve periradiküler dokularla etkileşime girebilen biyoaktif bir materyal olarak değerlendirmektir. Bu doğrultuda MTA'nın temel özellikleri, vital pulpa tedavilerindeki rolü, açık apeksli dişlerdeki kullanımı, perforasyon ve rezorpsiyon defektlerindeki yeri, rejeneratif endodontik işlemlerdeki fonksiyonu ve endodontik cerrahideki uygulamaları sistematik biçimde incelenecektir. Böylece MTA'nın modern endodontideki yeri, yalnızca materyal özellikleri açısından değil, klinik karar verme sürecindeki biyolojik ve prognostik önemi açısından da ortaya konacaktır.

2. MTA'nın Temel Özellikleri

MTA'nın endodontide geniş kullanım alanı bulmasının temel nedeni, yalnızca bir tamir veya kapatma materyali olarak görev görmesi değildir. MTA, kalsiyum silikat esaslı hidrolik simanlar içinde değerlendirilen; biyoyumluluk, biyoaktivite, sızdırmazlık kapasitesi ve nemli ortamda sertleşebilme özellikleri nedeniyle endodontik tedavilerde klinik değer kazanmış bir materyaldir. Güncel derlemelerde kalsiyum silikat esaslı simanların pulpa kuafajı, apeksifikasyon ve kök kanal sızdırmazlığı gibi işlemlerde biyoyumluluk, biyoaktivite ve çok yönlü kullanım potansiyeli nedeniyle tercih edildiği belirtilmektedir (Ellakwa vd., 2026). Bu özellikler, MTA'nın özellikle pulpa ve periradiküler dokularla doğrudan temas ettiği klinik durumlarda geleneksel materyallerden ayrılmasını sağlar. MTA'nın en önemli biyolojik özelliklerinden biri biyoyumluluğudur. Endodontik tedavilerde kullanılan materyaller sıklıkla pulpa, periodontal ligament, sement ve periapikal dokularla

yakın ilişki içindedir. Bu nedenle materyalin vital dokulara toksik etkide bulunmaması veya dokuda şiddetli inflamatuvar yanıt oluşturmaması klinik başarı açısından belirleyicidir. Kalsiyum silikat esaslı materyallerin hidrofilik yapıda olduğu, biyouyumluluk ve biyoaktivite özellikleri taşıdığı güncel bir derlemede vurgulanmıştır (Küçükkaya Eren, 2023). Bu biyolojik uyum, MTA'nın vital pulpa tedavileri, perforasyon onarımları, rezorpsiyon defektleri ve endodontik cerrahi gibi doku cevabının tedavi sonucunu doğrudan etkilediği alanlarda tercih edilmesinin temel gerekçelerinden biridir.

MTA'nın biyoaktif karakteri, materyalin yalnızca pasif bir bariyer oluşturmadığını, aynı zamanda çevre dokularla biyolojik etkileşime girebildiğini göstermektedir. Kalsiyum silikat simanların hidratasyon reaksiyonu sonucunda kalsiyum silikat hidrat jel yapısı oluşmakta; bu süreçte kalsiyum ve hidroksil iyonlarının salınımı meydana gelmektedir. Bu iyon salınımı, alkalen bir ortamın oluşmasına ve mineralize doku gelişimini destekleyen biyolojik koşulların sağlanmasına katkıda bulunur. Bu nedenle MTA'nın pulpa kuafajı ve pulpotomi gibi vital pulpa tedavilerinde dentin köprüsü oluşumunu, açık apeksli dişlerde apikal bariyer oluşumunu ve perforasyon bölgelerinde sert doku iyileşmesini destekleyebilmesi biyolojik temeli olan bir klinik avantaj olarak değerlendirilebilir. Ayrıca bu alkalen ortam, mikroorganizmaların yaşaması ve çoğalmasını engelleyerek antimikrobiyal etkiye katkı sağlar.

Özellikle enfeksiyon kontrolü, sert doku oluşumu ve iyileşme yanıtının desteklenmesi açısından klinik olarak önemlidir; ancak bu etki tek başına tedavi başarısını garanti etmez. Başarı, materyalin doğru endikasyonda kullanılması, izolasyonun sağlanması, kanama kontrolü ve üst restorasyonun sızdırmazlığı gibi faktörlerle birlikte değerlendirilmelidir (Ellakwa vd., 2026).

MTA'nın endodontide öne çıkan bir diğer özelliği nemli ortamda sertleşebilmesidir. Endodontik klinik koşullarda tedavi

alanının tamamen kuru tutulması her zaman mümkün değildir. Özellikle açık apeksli dişlerde, perforasyon onarımlarında ve endodontik cerrahi sırasında materyal kan, doku sıvısı veya nem ile temas edebilir. Kalsiyum silikat esaslı simanların hidrolitik özellik göstermesi, bu materyallerin nem varlığında reaksiyon vererek sertleşebilmesini sağlar. Bu özellik, MTA'nın kök perforasyonlarının onarımı, apikal bariyer oluşturulması ve kök ucu dolgusu gibi uygulamalarda klinik avantaj kazanmasına katkıda bulunur. Bununla birlikte, nem toleransı materyalin kontrolsüz kanama veya yetersiz izolasyon altında başarıyla kullanılabilmesi anlamına gelmez. Klinik uygulamada uygun izolasyon, kontrollü nem ve materyalin doğru kalınlıkta yerleştirilmesi tedavi sonucunu doğrudan etkiler (Wang vd., 2023).

MTA'nın sızdırmazlık kapasitesi, özellikle bakteriyel mikrosızıntının tedavi başarısını olumsuz etkileyebileceği durumlarda önemlidir. Endodontide başarısızlığın temel nedenlerinden biri, mikroorganizmaların veya toksinlerinin kök kanal sistemi ile periradiküler dokular arasında geçişinin devam etmesidir. MTA, uygun şekilde yerleştirildiğinde dentin yüzeyiyle yakın adaptasyon sağlayarak biyolojik dokular ile enfekte kanal sistemi arasında bariyer oluşturabilir. Güncel derlemelerde kalsiyum silikat esaslı simanların modern endodontide kök ucu dolgusu, perforasyon onarımı, vital pulpa tedavisi, apikal bariyer oluşturulması ve kök kanal dolgu materyali olarak farklı klinik alanlarda kullanılabildiği bildirilmektedir. Bu kullanım alanlarının ortak noktası, materyalin hem sızdırmazlık hem de biyolojik uyum sağlamasının beklenmesidir (Küçükaya Eren, 2023).

MTA'nın klinik performansı yalnızca biyolojik özellikleriyle değil, fizikokimyasal karakteriyle de ilişkilidir. Kalsiyum silikat simanların sertleşme reaksiyonu, iyon salınımı, pH değişimi, çözünürlük ve mekanik dayanım gibi özellikleri materyalin klinik davranışını belirler. Majeed ve arkadaşlarının 2023 tarihli sistematik

derlemesinde nano-kalsiyum silikat esaslı simanların fiziksel, mekanik ve biyolojik özellikleri değerlendirilmiş; nano boyutlu formülasyonların bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik özellikler açısından olumlu sonuçlar gösterebildiği, ancak mevcut kanıtların sınırlılık taşıdığı belirtilmiştir. Bu bulgu, MTA ve MTA'dan türetilen yeni nesil materyallerin gelişiminde fizikokimyasal özelliklerin klinik başarı açısından önemini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte MTA'nın avantajları kadar sınırlılıkları da dikkate alınmalıdır. Güncel literatürde kalsiyum silikat esaslı materyallerin renklenme, sertleşme süresi, manipülasyon güçlüğü ve çözünürlük gibi materyal kompozisyonuna ve klinik uygulama tipine bağlı sorunlar gösterebileceği bildirilmiştir (Küçükaya Eren, 2023). Ayrıca MTA'nın birinci nesil biyoseramik siman olarak yüksek klinik ve radyografik başarı gösterebilmesine rağmen koronal renklenme, zor manipülasyon ve uzun sertleşme süresi gibi dezavantajlarla ilişkili olduğu belirtilmektedir (Albernaz Neves, Bandeira Lopes, Alves Duarte, Mendes ve Pimentel, 2025). Bu nedenle MTA, her klinik durumda en uygun materyal olarak değerlendirilmemeli; endikasyon, dişin estetik bölgedeki konumu, izolasyon koşulları, kanama kontrolü, restoratif planlama ve alternatif kalsiyum silikat esaslı materyallerle karşılaştırmalı olarak ele alınmalıdır.

MTA'nın güncel endodontideki yeri, aynı zamanda kalsiyum silikat esaslı simanların evrimi içinde değerlendirilmelidir. Tsuchiya ve arkadaşları, 2025 tarihli anlatı derlemelerinde kalsiyum silikat esaslı simanların 1993'ten itibaren gelişimini sınıflandırmış ve farklı jenerasyonlardaki materyallerin klinik kullanımının materyal özelliklerine göre seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Aynı derlemede, endodontik tedaviler için henüz tüm yönleriyle "altın standart" kabul edilebilecek tek bir kalsiyum silikat simanın bulunmadığı; bu nedenle materyal seçiminin klinik durumun gerekliliklerine göre yapılmasının önem taşıdığı vurgulanmıştır.

Bu yaklaşım, MTA'nın güçlü bir biyomateryal olmasına rağmen güncel klinik karar verme sürecinde tek seçenek olarak değil, belirli endikasyonlarda avantaj sağlayan bir materyal olarak konumlandırılması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak MTA'nın endodontik başarısını belirleyen temel özellikler; biyouyumluluk, biyoaktivite, alkalen pH, kalsiyum iyon salınımı, nemli ortamda sertleşebilme, sızdırmazlık kapasitesi ve sert doku oluşumunu destekleyebilme potansiyeli etrafında toplanmaktadır. Bu özellikler MTA'yı vital pulpa tedavileri, açık apeksli dişlerin tedavisi, perforasyon onarımı, rezorpsiyon defektleri ve endodontik cerrahi gibi klinik uygulamalarda değerli kılar. Ancak materyalin uzun sertleşme süresi, renklenme potansiyeli, manipülasyon zorluğu ve uygulama tekniğine duyarlılığı göz önünde bulundurulmalı; MTA kullanımı her olguda biyolojik hedef, klinik koşullar ve restoratif gereksinimlerle birlikte değerlendirilmelidir.

3. Endodontik Uygulama Alanları

MTA'nın içinde yer aldığı kalsiyum silikat esaslı simanların; vital pulpa tedavisi, perforasyon onarımı, rezorpsiyon defektlerinin tedavisi, apikal bariyer oluşturulması, endodontik cerrahi ve bazı kök kanal dolgu uygulamaları gibi farklı endodontik işlemlerde kullanılabilirdiği güncel derlemelerde belirtilmektedir (Küçükkaya Eren, 2023). Bu nedenle MTA, yalnızca belirli bir endodontik işlemin yardımcı materyali olarak değil, pulpal ve periradiküler dokularla doğrudan temas eden biyolojik bir tamir materyali olarak değerlendirilmelidir. MTA'nın klinik uygulama alanları genel olarak vital pulpa tedavileri, açık apeksli dişlerin tedavisi, kök perforasyonlarının onarımı, kök rezorpsiyon defektlerinin yönetimi, rejeneratif endodontik işlemler ve endodontik cerrahi başlıkları altında toplanabilir. Wang ve arkadaşları (2023), kalsiyum silikat esaslı biyoseramiklerin endodontide pulpa kuafajı, kök perforasyon onarımı, rejeneratif endodontik prosedürler, apeksifikasyon, kök ucu

dolgusu ve kök kanal tedavisi gibi farklı uygulamalarda kullanıldığını bildirmiştir. Bu kullanım alanlarının ortak noktası, materyalin yalnızca mekanik bir bariyer oluşturmaktan öte, biyolojik dokularla uyumlu bir iyileşme ortamı sağlamasının beklenmesidir (Wang vd., 2023).

Vital pulpa tedavileri, MTA'nın en önemli endodontik kullanım alanlarından biridir. Direkt pulpa kuafajı, parsiyel pulpotomi ve tam pulpotomi gibi vital pulpa tedavilerinde temel amaç, pulpa dokusunun tamamen uzaklaştırılması yerine canlılığının korunması, inflamasyonun kontrol altına alınması ve pulpa-dentin kompleksinin biyolojik fonksiyonunun sürdürülmesidir. MTA, bu uygulamalarda pulpa dokusu üzerine yerleştirilen biyoaktif bir örtüleme materyali olarak görev yapar. Kalsiyum iyon salınımı, alkalin pH ve sert doku oluşumunu destekleyici etkileri sayesinde dentin köprüsü oluşumuna katkı sağlayabilir. AAPD'nin 2025 tarihli daimi dişlerde vital pulpa tedavisi kılavuzunda, direkt pulpa kuafajı, parsiyel pulpotomi ve tam pulpotomi uygulamalarında kalsiyum silikat esaslı materyallerin kullanımı önerilmekte; özellikle estetik bölgelerde renklenme yapmayan kalsiyum silikat materyallerin tercih edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Coll vd., 2025).

Direkt pulpa kuafajında MTA, mekanik, travmatik veya seçilmiş çürük kaynaklı pulpa ekspozisyonlarında pulpa dokusunu korumak amacıyla kullanılabilir. Burada başarıyı belirleyen unsur yalnızca kullanılan materyal değildir; pulpanın başlangıçtaki inflamasyon düzeyi, kanama kontrolünün sağlanabilmesi, pulpanın ekspozite olduğu alanının kontaminasyon durumu, izolasyon kalitesi ve koronal restorasyonun sızdırmazlığı da tedavi sonucunu doğrudan etkiler. Pinto ve arkadaşlarının 2024 tarihli sistematik derleme ve meta-analizinde, daimi dişlerde direkt pulpa kuafajında MTA'nın üç yıla kadar takiplerde yüksek başarı oranları gösterebildiği, kalsiyum hidroksite kıyasla daha iyi sonuçlarla ilişkilendirildiği ve Biodentine gibi diğer kalsiyum silikat esaslı materyallerle benzer klinik başarı

sağlayabildiği bildirilmiştir (Pinto, da Silva, Ferreira, Sassone ve da Silva, 2024). Parsiyel ve tam pulpotomi uygulamalarında MTA'nın kullanımı, özellikle güncel minimal invaziv endodonti anlayışı açısından önemlidir. Geleneksel yaklaşımda pulpa ekspozisyonu veya geri dönüşümsüz pulpitis şüphesi bulunan birçok olgu doğrudan kök kanal tedavisine yönlendirilirken, günümüzde doğru olgu seçimi ve uygun biyomateryal kullanımıyla vital pulpa tedavileri daha geniş bir klinik çerçevede değerlendirilmektedir. Komora ve arkadaşlarının 2024 tarihli ağ meta-analizinde MTA, Biodentine ve TotalFill gibi biyoaktif materyallerin vital pulpa tedavisinde etkili materyaller olduğu; kalsiyum hidroksit esaslı materyallerin ise bu materyallere göre düşük başarı oranlarına sahip olduğu bildirilmiştir. Bu bulgular, MTA'nın vital pulpa tedavilerinde hâlen önemli bir referans materyal olduğunu göstermektedir.

Açık apeksli dişlerde MTA kullanımı, özellikle nekrotik immatür daimi dişlerde MTA, apikal bariyer oluşturmak amacıyla kullanılan önemli kalsiyum silikat esaslı materyallerden biridir. Kök gelişimini tamamlamamış dişlerde apikal açıklığın geniş olması, geleneksel kök kanal dolgusunun kontrolünü zorlaştırır ve taşkın dolgu riskini artırır. Bu nedenle apikal bölgede yapay veya biyolojik bir bariyer oluşturulması gerekir. MTA, açık apeksli dişlerde apikal tıkaç materyali olarak kullanılarak kısa sürede apikal bariyer oluşturulmasına olanak sağlar. Bu yaklaşım, geleneksel uzun süreli kalsiyum hidroksit apeksifikasyonuna kıyasla tedavi süresini kısaltması ve kök kanalının daha erken dönemde sızdırmaz biçimde restore edilebilmesine katkı sağlaması nedeniyle klinik avantaj sunar. Kalsiyum silikat esaslı simanların apikal bariyer oluşturma amacıyla kullanılabileceği güncel derlemelerde açıkça belirtilmektedir (Küçükkaya Eren, 2023). MTA apeksifikasyonunda materyal, kök kanalının apikal bölümüne genellikle birkaç milimetrelik kalınlıkta yerleştirilerek apikal tıkaç oluşturur. Bu bariyer, daha sonra yapılacak kanal dolgusunun apikal kontrolünü

kolaylaştırır. Ancak tedavi başarısı için yalnızca MTA'nın yerleştirilmesi yeterli değildir. Kanal dezenfeksiyonu, apikal dokulara irrigasyon solüsyonlarının taşırılmaması, materyalin doğru kalınlıkta ve uygun adaptasyonla yerleştirilmesi, geçici veya daimi restorasyonun mikrosızıntıyı önleyecek şekilde yapılması gereklidir. Ayrıca açık apeksli dişlerde kök dentin duvarları ince olduğu için uzun dönem prognoz yalnızca apikal iyileşmeye değil, dişin kırılma direncinin korunmasına da bağlıdır (Chotvorrarak, Danwittayakorn, Banomyong ve Suksaphar, 2024).

Kök perforasyonlarının onarımında MTA, endodontinin en klasik ve en önemli tamir materyallerinden biridir. Kök perforasyonları, iatrojenik nedenlerle, çürükle, rezorpsiyonla veya travmayla ortaya çıkabilir ve periodontal dokularla kök kanal sistemi arasında patolojik bir iletişim oluşturur. Bu iletişim erken dönemde ve uygun materyalle kapatılmadığında bakteriyel kontaminasyon, periodontal ataçman kaybı ve tedavi başarısızlığı gelişebilir. MTA'nın nemli ortamda sertleşebilmesi, biyouyumlu olması ve sert doku iyileşmesini destekleyebilmesi, perforasyon onarımında tercih edilmesinin temel gerekçeleridir. Alshehri ve arkadaşlarının 2024 tarihli literatür derlemesinde kök perforasyon onarımında güncel olarak en fazla öne çıkan materyallerin MTA ve diğer biyoseramik materyaller olduğu belirtilmiştir. Perforasyon onarımında prognoz; perforasyonun lokalizasyonu, boyutu, oluşum zamanı, kontaminasyon düzeyi ve periodontal dokularla ilişkisine bağlıdır. Furkasyon bölgesindeki perforasyonlar, periodontal dokulara yakınlıkları nedeniyle dikkatli yönetilmelidir. Lateral kök perforasyonlarında ise perforasyonun krestal kemik seviyesine uzaklığı ve periodontal cep oluşumu prognozu belirler. İnce eğimli kök kanallarında gözlenen strip perforasyonlar, özellikle ince kök duvarına sahip eğimli kanallarda görüldüğünde onarımı daha güç klinik durumlardır. MTA, bu defektlerde kanal sistemi ile periodontal dokular arasındaki iletişimi kapatmak için kullanılabilir;

ancak materyalin taşırılmaması, çalışma alanının iyi izole edilmesi ve restoratif sızdırmazlığın sağlanması tedavinin başarısı açısından kritik öneme sahiptir.

Kök rezorpsiyon defektlerinde MTA kullanımı, materyalin tamir edici karakteriyle ilişkilidir. İnternal rezorpsiyon, perfore internal rezorpsiyon olgularında MTA, rezorptif defektin doldurulması veya perforasyon alanının kapatılması amacıyla kullanılabilir. Bu olgularda tedavinin ana hedefi, rezorptif sürecin etiyolojik faktörünü kontrol altına almak, kök kanal sistemini dezenfekte etmek ve kök yapısında oluşan defekti biyoyoumlu bir materyalle onarmaktır. Kalsiyum silikat esaslı simanların rezorpsiyon onarımı amacıyla kullanılabilceği güncel endodontik literatürde belirtilmektedir (Küçükkaya Eren, 2023). Ancak rezorpsiyon olgularında MTA kullanımı, defektin lokalizasyonu, periodontal iletişim varlığı, dişin restoratif prognozu ve kalan kök dentin kalınlığıyla birlikte değerlendirilmelidir. Perfore internal rezorpsiyonlarda MTA'nın tercih edilme nedeni, materyalin periodontal dokularla temas edebilecek defektlerde biyolojik olarak tolere edilebilir bir tamir yüzeyi oluşturabilmesidir. Bununla birlikte bu olgularda klinik başarı, rezorptif dokunun tamamen uzaklaştırılması, irrigasyonun kontrollü yapılması, perforasyon alanının doğru tespit edilmesi ve materyalin defekt sınırlarına uyumlu şekilde yerleştirilmesine bağlıdır. Özellikle büyük defektlerde üç boyutlu görüntüleme yöntemleri tedavi planlamasında yardımcı olabilir. Ancak her rezorpsiyon olgusu MTA ile restore edilebilir kabul edilmemelidir; ileri periodontal yıkım, vertikal kök kırığı şüphesi veya restoratif olarak sürdürülemez dişlerde prognoz dikkatle değerlendirilmelidir (Patel vd., 2023).

Rejeneratif endodontik tedavilerde MTA, genellikle immatür nekrotik daimi dişlerde kanal içinde oluşturulan kan pıhtısı veya biyolojik iskelet üzerine yerleştirilen koronal bariyer materyali olarak kullanılır. Rejeneratif endodontik işlemlerde amaç, yalnızca

apikal kapanma sağlamak değil; kök duvar kalınlığında artış, kök gelişiminin devamı ve periapikal iyileşme gibi biyolojik kazanımlar elde etmektir (AAE,2021b). Wang ve arkadaşları (2023), kalsiyum silikat esaslı biyoseramiklerin rejeneratif endodontik prosedürlerde kullanılan materyaller arasında yer aldığını ve MTA'nın bu materyaller içinde önemli bir yere sahip olduğunu belirtmiştir.

Endodontik cerrahide MTA kullanımı, özellikle apikal rezeksiyon sonrası retrograd kök ucu dolgu materyali olarak önem taşır. Cerrahi endodontik tedavide kök ucunun rezeke edilmesinden sonra amaç, kanal sistemi ile periapikal dokular arasındaki iletişimi kök ucundan sızdırmaz biçimde kapatmaktır. Bu amaçla kullanılan materyalin biyoyoumlu olması, nemli cerrahi sahada stabil kalabilmesi ve bakteriyel geçişi azaltması beklenir (Chao vd., 2022; Wang vd., 2023). Chao ve arkadaşlarının 2022 tarihli sistematik derleme ve ağ meta-analizinde, modern cerrahi endodontik tedavilerde farklı kök ucu dolgu materyalleri karşılaştırılmış ve MTA'nın 12 aylık takipte kök ucu dolgu materyalleri arasında en iyi seçeneklerden biri olduğu bildirilmiştir. Endodontik cerrahide MTA'nın başarısı, materyalin kendisi kadar cerrahi protokolün kalitesiyle de ilişkilidir. Modern mikrocerrahi yaklaşımda büyütme, ultrasonik retrograd kavite preparasyonu, kök ucu yüzeyinin dikkatli değerlendirilmesi ve uygun kök ucu dolgu materyalinin kullanılması tedavi sonucunu etkiler. MTA, kök ucu dolgusunda biyolojik uyum ve sızdırmazlık açısından güçlü bir materyal olmakla birlikte, manipülasyon güçlüğü ve sertleşme süresi gibi dezavantajları nedeniyle uygulama sırasında deneyim gerektirir. Bu nedenle cerrahi sahada kanama kontrolünün sağlanması, retrograd kavitenin uygun şekilde hazırlanması ve materyalin boşluk bırakmadan yerleştirilmesi klinik başarı açısından önem taşır (Akça, Koçak, Keleş, Koçak ve Sağlam, 2025; Chao vd., 2022; Wang vd., 2023) .

Sonuç olarak MTA'nın endodontik uygulama alanları, materyalin biyolojik ve fiziksel özelliklerinin klinik ihtiyaçlarla

örtüştüğü durumlarda yoğunlaşmaktadır. Vital pulpa tedavilerinde pulpa canlılığının korunması, açık apeksli dişlerde apikal bariyer oluşturulması, perforasyon ve rezorpsiyon defektlerinde kök bütünlüğünün yeniden sağlanması, rejeneratif endodontide koronal bariyer oluşturulması ve endodontik cerrahide kök ucu sızdırmazlığının sağlanması MTA'nın başlıca kullanım alanlarıdır. Bununla birlikte her endikasyonda başarı; yalnızca materyal seçimine değil, doğru tanıya, uygun olgu seçimine, aseptik çalışma koşullarına, kanama kontrolüne, materyalin doğru uygulanmasına ve koronal restorasyonun kalitesine bağlıdır.

4. Klinik Avantajlar ve Sınırlılıklar

MTA'nın endodontide uzun süredir kabul görmesinin temel nedeni, biyolojik uyum ile fiziksel bariyer oluşturma kapasitesini aynı materyalde birleştirebilmesidir. Kalsiyum silikat esaslı materyaller; biyouyumluluk, biyoaktivite, hidrofilik karakter ve farklı endodontik uygulamalarda kullanılabilme özellikleri nedeniyle modern endodontide önemli bir materyal grubu olarak değerlendirilmektedir (Küçükkaya Eren, 2023). Bu özellikler MTA'yı özellikle pulpa dokusu, periodontal ligament, sement ve periapikal dokularla doğrudan temas eden klinik durumlarda değerli kılar.

MTA'nın başlıca avantajları; sert doku oluşumunu destekleyebilmesi, kalsiyum iyon salınımı, nemli ortamda sertleşebilmesi ve uygun koşullarda sızdırmaz bir bariyer oluşturabilmesidir. Hidratasyon reaksiyonu sonrasında açığa çıkan kalsiyum iyonlarının fosfat içeren doku sıvılarıyla etkileşime girmesi, hidroksiapatit benzeri mineral fazların oluşumuna katkıda bulunabilir. Bu nedenle MTA, pulpa kuafajı ve pulpotomi gibi vital pulpa tedavilerinde, açık apeksli dişlerde apikal bariyer oluşturulmasında, perforasyon onarımlarında ve kök ucu dolgusu

uygulamalarında klinik olarak değerli bir materyal seçeneği olarak kabul edilmektedir (Wang vd., 2023).

Bununla birlikte MTA'nın klinik başarısı yalnızca materyal özelliklerine bağlı değildir. Doğru endikasyon seçimi, etkili izolasyon, kanama kontrolü, uygun materyal kalınlığı, materyalin boşluk bırakmadan yerleştirilmesi ve koronal restorasyonun sızdırmazlığı tedavi sonucunu doğrudan etkiler. Bu nedenle MTA, biyolojik açıdan avantajlı bir materyal olmasına rağmen, kontrolsüz nem, devam eden kanama veya yetersiz izolasyon koşullarında öngörülebilir başarı sağlayan bir materyal olarak değerlendirilmemelidir.

MTA'nın en önemli sınırlılıkları uzun sertleşme süresi, manipölasyon güçlüğü, kumlu kıvamı, maliyeti, erken dönem çözünürlük riski ve renklenme potansiyelidir. Özellikle anterior bölgede vital pulpa tedavisi veya rejeneratif endodontik tedavi planlanan olgularda renklenme riski klinik karar sürecinde dikkate alınmalıdır. Ayrıca dar çalışma alanlarında, apikal tıkaç oluşturulurken, furkasyon perforasyonlarında veya retrograd kavite içine yerleştirme sırasında materyalin kontrolü deneyim gerektirir. Güncel literatürde kalsiyum silikat esaslı materyallerin renklenme, sertleşme süresi, manipölasyon ve çözünürlük gibi materyal özelliklerine bağlı sınırlılıklar gösterebileceği bildirilmektedir (Küükçaya Eren, 2023; Wang vd., 2023).

Bu nedenle MTA, her klinik durumda mutlak üstünlük gösteren ideal bir materyal olarak değil, belirli endikasyonlarda biyolojik ve fiziksel avantajlar sağlayan güçlü bir seçenek olarak değerlendirilmelidir. Materyal seçimi; dişin estetik konumu, defektin tipi ve lokalizasyonu, izolasyon koşulları, restoratif prognoz, hekimin uygulama deneyimi ve alternatif kalsiyum silikat esaslı materyallerin özellikleri birlikte göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Bu yaklaşım, MTA'nın klinik kullanımını yalnızca materyal merkezli değil, olguya özgü karar verme süreci içinde

değerlendirmeyi mümkün kılar (Tsuchiya vd., 2025; Wang vd., 2023).

5. Sonuç

MTA; biyouyumluluk, biyoaktivite, nemli ortamda sertleşebilme, sızdırmazlık sağlama ve sert doku oluşumunu destekleme özellikleri sayesinde endodontide geniş kullanım alanı bulan önemli bir kalsiyum silikat esaslı materyaldir. Vital pulpa tedavileri, açık apeksli dişlerde apikal bariyer oluşturulması, kök perforasyonlarının onarımı, rezorpsiyon defektlerinin yönetimi, rejeneratif endodontik işlemler ve endodontik cerrahide kök ucu dolgusu gibi uygulamalarda tercih edilmesi, MTA'nın yalnızca mekanik bir tamir materyali değil, biyolojik iyileşmeyi destekleyen biyoaktif bir materyal olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır (Küçükkaya Eren, 2023).

Güncel endodontik yaklaşımda tedavi başarısı; doğru tanı, uygun olgu seçimi, biyolojik dokuların korunması, etkili izolasyon, kanama kontrolü ve sızdırmaz restorasyon gibi faktörlerin birlikte sağlanmasına bağlıdır. Bu nedenle MTA'nın klinik başarısı yalnızca materyalin özellikleriyle değil, uygulandığı endikasyonun doğruluğu ve klinik protokolün titizlikle yürütülmesiyle ilişkilidir (AAE, 2021a; Coll vd., 2025).

Bununla birlikte MTA, her klinik durumda sınırsız avantaj sağlayan ideal bir materyal olarak değerlendirilmemelidir. Uzun sertleşme süresi, manipülasyon güçlüğü, renklenme potansiyeli, maliyet ve uygulama tekniğine duyarlılık gibi sınırlılıklar klinik karar sürecinde dikkate alınmalıdır. Özellikle estetik bölgede yer alan dişlerde renklenme riski, dar çalışma alanlarında yerleştirme güçlüğü ve kanama kontrolünün zor olduğu olgularda uygulama hassasiyeti tedavi planlamasını etkileyebilir. Bu nedenle MTA kullanımı; endikasyon, dişin restoratif prognozu, estetik beklenti, izolasyon koşulları, defektin lokalizasyonu ve alternatif kalsiyum

silikat esaslı materyallerle birlikte değerlendirilmelidir (Wang vd., 2023).

Sonuç olarak MTA, endodontide biyolojik iyileşmeyi destekleyen, klinik kullanım alanı geniş ve bilimsel olarak güçlü bir materyal grubunun önemli temsilcilerinden biridir. Ancak başarılı bir MTA uygulaması, yalnızca materyalin seçilmesiyle değil; doğru tanı, uygun endikasyon, etkili dezenfeksiyon, kanama kontrolü, yeterli izolasyon, doğru yerleştirme tekniği ve uzun dönem sızdırmaz restorasyonun sağlanmasıyla mümkündür. Bu nedenle MTA, modern endodontide tek başına mucizevi bir materyal olarak değil, biyolojik hedefleri destekleyen ve doğru klinik protokol içinde kullanıldığında prognoza katkı sağlayabilen değerli bir biyoaktif materyal olarak değerlendirilmelidir.

Kaynakça

American Association of Endodontists. (2021a). AAE position statement on vital pulp therapy. *Journal of Endodontics*, 47(9), 1340-1344. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.07.015>

American Association of Endodontists. (2021b). *AAE clinical considerations for a regenerative procedure (Revised 5/18/2021)*. **American Association of Endodontists**.

Akça, S., Koçak, M. M., Keleş, A., Koçak, S., Sağlam, B. C. (2025). Efficacy of root end cavity preparation techniques on gap formation of different mineral trioxide aggregate based root end filling materials: micro-computed tomography study. *BMC Oral Health*, 25(1), 1092. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06503-3>

Albernaz Neves, J., Bandeira Lopes, L., Alves Duarte, M., Mendes, J. J., Pimentel, T. (2025). Systematic review and meta analysis of first and second generation bioceramic materials in primary dentition pulpotomies. *Scientific Reports* 2025 15:1, 15(1), 16939-. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00868-9>

Alshehri, M. M., Alhawsawi, B. F., Alghamdi, A., Aldobaikhi, S. O., Alanazi, M. H., Alahmad, F. A. (2024). *The Management of Root Perforation: A Review of the Literature*. *Cureus*, 16(10). <https://doi.org/10.7759/CUREUS.72296>

Chao, Y. C., Chen, P. H., Su, W. S., Yeh, H. W., Su, C. C., Wu, Y. C., ... Shieh, Y. S. (2022). Effectiveness of different root-end filling materials in modern surgical endodontic treatment: A systematic review and network meta-analysis. *Journal of Dental Sciences*, 17(4), 1731-1743. <https://doi.org/10.1016/J.JDS.2022.05.013>

Chotvorrarak, K., Danwittayakorn, S., Banomyong, D., Suksaphar, W. (2024). Intraradicular reinforcement of traumatized immature anterior teeth after MTA apexification.

Dental Traumatology, 40(4), 389-397.
<https://doi.org/10.1111/EDT.12947>

Coll, J. A., Dhar, V., Guelmann, M., Crystal, Y. O., Chen, C.-Y., Marghalani, A. A., ... Wedeward, R. (2025). Vital Pulp Therapy in Permanent Teeth: A Systematic Review and Meta-Analyses. *Pediatric Dentistry*, 47(3), 137-150.

Ellakwa, T. E., Ellakwa, A., Ellakwa, D. E. S. (2026). The role of calcium silicate cements in endodontics: from material science to clinical success. *Discover Materials*, 6(1), 139.
<https://doi.org/10.1007/s43939-026-00641-3>

Eskandari, F., Razavian, A., Hamidi, R., Yousefi, K., Borzou, S. (2022). An Updated Review on Properties and Indications of Calcium Silicate-Based Cements in Endodontic Therapy. *International journal of dentistry*, 2022.
<https://doi.org/10.1155/2022/6858088>

Komora, P., Vámos, O., Gede, N., Hegyi, P., Kelemen, K., Galvács, A., ... Vág, J. (2024). Comparison of bioactive material failure rates in vital pulp treatment of permanent matured teeth – a systematic review and network meta-analysis. *Scientific Reports* 2024 14:1, 14(1), 18421.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-69367-7>

Küçükaya Eren, S. (2023). Clinical applications of calcium silicate-based materials: a narrative review. *Australian Dental Journal*, 68(S1), S96-S109. <https://doi.org/10.1111/ADJ.12986>

Majeed, R., Elnawawy, H. M., Kutty, M. G., Yahya, N. A., Azami, N. H., Abu Kasim, N. H., ... Ahmed, H. M. A. (2023). Physicochemical, mechanical and biological properties of nano-calcium silicate-based cements: a systematic review. *Odontology*, 111(4), 759-776. <https://doi.org/10.1007/s10266-023-00786-0>

Patel, S., Krastl, G., Weiger, R., Lambrechts, P., Tjäderhane, L., Gambarini, G., & Teng, P.-H. (2023). *ESE position statement on root resorption*. *International Endodontic Journal*, 56(7), 792–801. <https://doi.org/10.1111/iej.13916>

Pinto, K. P., da Silva, G. R., Ferreira, C. M. A., Sassone, L. M., da Silva, E. J. N. L. (2024). Success rate of direct pulp capping on permanent teeth using bioactive materials: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 49(4). <https://doi.org/10.5395/RDE.2024.49.E34>

Teja, K. V., Palma, P. J., Neto, N. L., Pawar, A. M., Elmsmari, F., Abdelsayed, R. B., ... Patro, S. (2026). Decision-ready evidence for vital pulp therapy: a network meta-analysis of bioactive materials in mature permanent teeth. *Frontiers in Dental Medicine*, 7, 1780755. <https://doi.org/10.3389/FDMED.2026.1780755>

Tsuchiya, K., Sauro, S., Sano, H., Matinlinna, J. P., Yamauti, M., Hoshika, S., ... Tomokiyo, A. (2025). Clinical applications and classification of calcium silicate-based cements based on their history and evolution: a narrative review. *Clinical Oral Investigations*, 29(4), 187. <https://doi.org/10.1007/S00784-025-06274-9>

Wang, X., Xiao, Y., Song, W., Ye, L., Yang, C., Xing, Y., Yuan, Z. (2023). Clinical application of calcium silicate-based bioceramics in endodontics. *Journal of Translational Medicine* 2023 21:1, 21(1), 853. <https://doi.org/10.1186/S12967-023-04550-4>

BÖLÜM 3

REHBERLİ ENDODONTİ: MİNİMAL İNVAZİV ENDODONTİK TEDAVİLERDE YENİ BİR DÖNEM

1. ŞEYMA EDA AKIN¹

2. EMRE AKYÜZ²

3. MERVE KÖSETÜRK³

Giriş

Kök kanal tedavisi; geri dönüşümsüz olarak hasar görmüş, nekrotik veya enfekte pulpa dokusunun kök kanal sisteminden uzaklaştırılması, kök kanal boşluğunun kemomekanik olarak şekillendirilmesi, dezenfekte edilmesi ve üç boyutlu olarak doldurulması esasına dayanan biyolojik temelli bir tedavi prosedürüdür. Bu tedavinin temel amacı, kök kanal sistemindeki mikroorganizmaların, toksik ürünlerin ve nekrotik doku artıklarının elimine edilmesi; yeniden enfeksiyonun önlenmesi ve periapikal

¹ Arş. Gör., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0005-9280-2434

² Arş. Gör., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0009-8293-3544

³ Dr. Öğr. Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0001-8401-5098

dokuların iyileşmesi için uygun biyolojik koşulların sağlanmasıdır (American Association of Endodontists, 2020).

Endodontik tedavinin başarısı; doğru tanı, etkili izolasyon, yeterli görüş alanı, kök kanal anatomisinin doğru değerlendirilmesi ve kanal sisteminin eksiksiz şekilde lokalize edilmesiyle yakından ilişkilidir. Bununla birlikte klinik pratikte bazı anatomik ve patolojik durumlar tedavi sürecini belirgin şekilde güçleştirebilir. Travmaya bağlı pulpa kanal obliterasyonu/kalsifik metamorfozis, yaşlanmaya bağlı sekonder dentin birikimi, önceki restoratif işlemler, post varlığı, atipik kök kanal anatomileri ve kök kanal ağızlarının radyografik ya da klinik olarak belirlenememesi bu zorluklar arasında yer almaktadır. Özellikle pulpa kanal obliterasyonu bulunan dişlerde kanal lümeninin daralması veya tamamen izlenemez hâle gelmesi, kanal lokalizasyonunu operatör deneyimine bağımlı ve zaman alıcı bir işlem hâline getirmektedir (McCabe & Dummer, 2012).

Bu tür olgularda kanal girişinin serbest el yöntemiyle aranması; aşırı koronal veya radiküler dentin kaybı, kök perforasyonu, basamak oluşumu, kanal transportasyonu, alet kırığı ve kök direncinin azalması gibi iyatrojenik komplikasyonlara yol açabilir. Özellikle zorlu kanal konfigürasyonlarında gereksiz sert doku uzaklaştırılması, dişin prognozunu da olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle çağdaş endodontide tedavi başarısının artırılması kadar, sağlıklı diş dokusunun korunması da temel klinik hedeflerden biri hâline gelmiştir (Chaniotis & Ordinola-Zapata, 2022; Clark & Khademi, 2010).

Geleneksel yaklaşımda bu zorlukların üstesinden gelebilmek amacıyla büyütme sistemleri, dental operasyon mikroskobu, ultrasonik uçlar ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi gibi yardımcı teknolojiler kullanılmaktadır. Konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT), özellikle kompleks kök kanal anatomilerinin, pulpa kanal obliterasyonunun, perforasyon riskinin ve periapikal patolojilerin üç

boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak sağlaması nedeniyle endodontik tanı ve tedavi planlamasında önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte CBCT görüntülerinin doğru yorumlanması, sanal bir yol haritasının klinik uygulamaya aktarılması ve tedavinin eş zamanlı olarak kontrollü biçimde yürütülmesi belirli bir deneyim ve teknik donanım gerektirir (Patel, Brown, Semper, Abella, & Mannocci, 2019).

Bu gereksinimler doğrultusunda, bilgisayar destekli dijital planlama ve üç boyutlu rehber üretimine dayanan rehberli endodonti kavramı geliştirilmiştir. Rehberli endodonti; CBCT verileri, intraoral veya optik yüzey taramaları, dijital planlama yazılımları ve üç boyutlu baskı teknolojilerinin entegre edilmesiyle, önceden planlanan kanal giriş yolunun klinik ortama aktarılmasını sağlayan minimal invaziv bir tedavi yaklaşımıdır. Bu yöntem sayesinde özellikle kalsifiye kanallarda kök kanalına ulaşım daha öngörülebilir hâle gelirken, perforasyon riski ve gereksiz dentin kaybı azaltılabilmektedir (Connert vd., 2018; Krastl, Zehnder, Connert, Weiger, & Kühl, 2016).

Rehberli endodonti, günümüzde statik ve dinamik olmak üzere iki temel yaklaşımla uygulanmaktadır. Statik rehberli endodontide, dijital olarak planlanan giriş yolu üç boyutlu basılmış sabit bir rehber aracılığıyla klinik alana aktarılır. Dinamik rehberli endodontide ise önceden planlanan kanal yolu, gerçek zamanlı navigasyon sistemi yardımıyla monitör üzerinden takip edilir ve operatör işlem sırasında aletin konumunu, açısını ve derinliğini anlık olarak kontrol edebilir. Her iki yaklaşım da özellikle pulpa kanal obliterasyonu, anatomik varyasyonlar, kök kanal tedavisi yenileme (retreatment) olguları ve endodontik mikrocerrahi gibi karmaşık klinik durumlarda daha kontrollü, güvenli ve minimal invaziv bir tedavi seçeneği sunmaktadır (Connert, Weiger, & Krastl, 2022; Wei vd., 2023).

Rehberli Endodontinin Kavramsal Temeli ve Dijital İş Akışı

Rehberli endodontinin temel prensibi, hastaya ait üç boyutlu radyografik verilerin dijital yüzey verileriyle birleştirilmesi ve bu birleşik model üzerinden güvenli bir giriş yolunun planlanmasıdır. CBCT'den elde edilen DICOM verilerinin, intraoral taramadan elde edilen STL verileriyle eşleştirilmesi sonucunda hem iç hem de dış anatomiyi temsil eden üç boyutlu bir sanal model oluşturulur (Buchgreitz, Buchgreitz, Mortensen, & Bjørndal, 2016; Wei vd., 2023).

Endodontik mikroanatominin küçük boyutlu ve karmaşık yapısı, görüntüleme kalitesini tedavi planlamasının en kritik unsurlarından biri hâline getirmektedir. CBCT görüntü kalitesi; kullanılan cihazın teknik özellikleri, voksel boyutu, görüntüleme alanı, çekim parametreleri, hastanın hareket durumu ve görüntü işleme yazılımının kapasitesi gibi birçok faktörden etkilenir. Endodontik değerlendirmelerde geniş görüntüleme alanı yerine, mümkün olduğunda sınırlı alanlı ve yüksek çözünürlüklü CBCT protokollerinin tercih edilmesi tanısal doğruluk açısından önemlidir. Bununla birlikte mevcut restorasyonlar, metal postlar veya yüksek yoğunluklu materyaller görüntülerde artefakt oluşumuna neden olarak kanal anatomisinin değerlendirilmesini güçleştirebilir (Patel vd., 2019).

Dijital planlama yazılımları, CBCT ve yüzey tarama verilerinin eşleştirilmesinden sonra kanal giriş yolunun sanal ortamda belirlenmesine olanak tanır. Bu aşamada tedavi edilecek dişin uzun eksenini, kök kanalının tahmini seyri, kalsifikasyonun düzeyi, kök duvarlarının kalınlığı ve çevre anatomik yapılar birlikte değerlendirilir. Ardından bir frez yolu sanal olarak planlanır. Planlanan bu yolun klinik uygulamada doğru şekilde aktarılabilmesi için, statik rehberlerde yönlendirici silindirik veya metal kılıf içeren

bir rehber tasarımı yapılır. Böylece frezin önceden belirlenen ekseninde ilerlemesi sağlanarak kök kanalına ulaşım daha kontrollü hâle getirilir (Connert, Zehnder, Weiger, Köhl, & Krastl, 2017; Krastl vd., 2016).

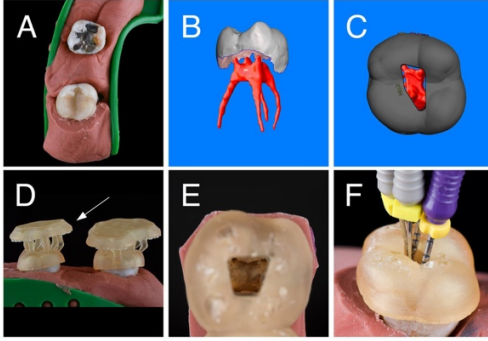
Üç boyutlu rehber üretiminde en sık kullanılan yöntemler arasında stereolitografi ve dijital ışık işleme teknolojileri yer almaktadır. Stereolitografi, sıvı fotopolimer rezinin lazer ışını ile tabaka tabaka polimerize edilmesi prensibine dayanırken; dijital ışık işleme yönteminde rezin tabakası, projektör aracılığıyla yansıtılan ışık deseniyle daha geniş bir yüzey hâlinde polimerize edilir. Her iki yöntem de yüksek çözünürlük ve detay hassasiyeti sağlaması nedeniyle endodontik rehberlerin üretiminde kullanılabilir (Anderson, Wealleans, & Ray, 2018). Rehber üretiminde kullanılan materyalin biyouyumlu olması, boyutsal stabilitesini koruması ve klinik kullanım sırasında yeterli rijidite sağlaması önemlidir. Üretilen rehberin ağız içi uyumu, stabilitesi ve planlanan frez yolu ile klinik gerçeklik arasındaki uyumu işlem öncesinde dikkatle kontrol edilmelidir. Çünkü veri eşleştirme, yazılım planlaması, baskı hassasiyeti veya rehber stabilitesindeki küçük hatalar dahi klinik sapmaya neden olabilir (Connert vd., 2022).

Rehber örnekleri:

- a) Statik Rehberli Endodonti: Önceden dijital olarak planlanan giriş yolu üç boyutlu basılmış sabit bir kılavuz aracılığıyla kliniğe aktarılır.

Şekil 1. Üç boyutlu basılmış endodontik rehber ile kök kanal girişinin lokalizasyonu. A: CBCT ve intraoral tarama için silikon bloklara yerleştirilmiş çekilmiş dişler; B: maksiller molarlara ait pulpa STL modeli; C: giriş kavitesi tasarımını gösteren rehberin oklüzal görünümü; D: çekilmiş dişler üzerine uyumlandırılmış 3D basılı rehberler; E: mandibular molarlarda giriş kavitesi sonrası

kanal ağızlarının görünümü; F: maksiller molarda K-file ile dört kök kanalının lokalizasyonu.



Kaynak: Garcia-Sanchez vd., 2020.

- b) Dinamik Rehberli Endodonti: Fiziksel bir kılavuz yerine, enstrümanın konumu optik takip sistemleriyle gerçek zamanlı olarak izlenir ve işlem sırasında yönlendirme sağlanır.

Statik ve Dinamik Rehberli Endodonti Yaklaşımları

Statik rehberli endodonti, rehberli endodonti uygulamalarının en yaygın kullanılan formudur. Bu yöntemde süreç, tedavi planlanan dişi içeren bölgenin CBCT ile görüntülenmesi ve dental arkın intraoral tarama ya da dijitalleştirilmiş model ile kaydedilmesiyle başlar. Elde edilen hacimsel ve yüzey verileri özel planlama yazılımlarında birleştirilir. Bu birleşik model üzerinde, anatomik açıdan zorlayan kanalın veya hedef kanal boşluğunun konumu belirlenir ve ilgili bölgeye ulaşmak için en güvenli giriş yolu planlanır (Buchgreitz vd., 2016; Krastl vd., 2016).

Planlama aşamasında frezin çapı, uzunluğu, giriş açısı ve ilerleme derinliği belirlenir. Bu parametreler doğrultusunda diş veya dental ark üzerine stabil şekilde oturan ve içerisinde yönlendirici kanal ya da metal yönlendirici silindir bulunan bir rehber tasarlanır. Rehberin temel amacı, frezin yalnızca önceden planlanan doğrultuda

ilerlemesine izin vermek ve operatör kaynaklı sapmaları azaltmaktır. Tasarım tamamlandıktan sonra rehber üç boyutlu yazıcı ile üretilir ve klinik uygulama öncesinde ağız içi uyum, stabilite ve giriş yolunun doğruluğu kontrol edilir (Buchgreitz, Buchgreitz, Mortensen, & Bjørndal, 2016; Connert vd., 2022; Krastl vd., 2016).

Klinik uygulama sırasında izolasyon sağlandıktan sonra rehber ağız içine yerleştirilir. Frez, rehber üzerindeki yönlendirici silindir aracılığıyla önceden belirlenen hat boyunca ilerletilir. Kalsifiye doku kontrollü şekilde uzaklaştırıldıktan ve kanal girişine ulaşıldıktan sonra tedavi geleneksel endodontik prensiplere uygun olarak sürdürülür. Statik rehberli endodontinin başlıca avantajları; yüksek doğruluk, daha kısa kanal arama süresi, daha az dış dokusu kaybı ve perforasyon riskinin azaltılmasıdır. Bununla birlikte rehberin ağız içindeki yerleşimi, posterior bölgelerde ağız açıklığı kısıtlılığı, frez uzunluğu, rehber stabilitesi ve işlem sırasında planın değiştirilememesi yöntemin önemli sınırlılıkları arasında yer almaktadır (Connert vd., 2022).

Dinamik rehberli endodonti ise sabit bir fiziksel rehber kullanımından farklı olarak gerçek zamanlı navigasyon prensibine dayanır. Bu yöntemde CBCT verileri ve hastaya ait referans noktaları navigasyon sistemine aktarılır. Optik izleme teknolojileri sayesinde kullanılan aletin konumu, açısı ve derinliği işlem sırasında anlık olarak takip edilir. Operatör, monitör üzerinde frezin planlanan giriş yolu ile ilişkisini izleyerek gerektiğinde açı ve yön düzeltmesi yapabilir (Wei vd., 2023).

Dinamik navigasyonun en önemli avantajı, işlem sırasında gerçek zamanlı kontrol sağlanması ve planın klinik gerekliliklere göre anlık olarak uyarlanabilmesidir. Bu özellik, özellikle endodontik mikrocerrahi, posterior bölgeler veya sabit rehber kullanımının teknik olarak güç olduğu vakalarda önemli bir avantaj sağlayabilir. Ancak bu sistemlerin maliyetli olması, öğrenme eğrisi gerektirmesi, kalibrasyon hassasiyeti ve klinik ortamda

dikkatli ekipman kullanımı gerektirmesi önemli sınırlılıklar olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle statik ve dinamik rehberli endodonti yaklaşımları birbirinin alternatifi olmaktan çok, klinik endikasyona göre seçilmesi gereken tamamlayıcı dijital yöntemler olarak ele alınmalıdır (Ribeiro, Reis, Marques, Falacho, & Palma, 2022; Vasudevan, Santosh, Selvakumar, Sampath, & Natanasabapathy, 2022).

Klinik Kullanım Alanları, Endikasyonlar ve Sınırlılıklar

Rehberli endodonti, özellikle geleneksel serbest el yaklaşımıyla kök kanal sistemine ulaşmanın güç, zaman alıcı veya yüksek komplikasyon riski taşıdığı olgularda önemli bir klinik alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımın temel klinik değeri, önceden planlanmış bir giriş yolunun dijital rehberlik aracılığıyla ağız ortamına aktarılması ve böylece kanal lokalizasyonunun daha kontrollü, öngörülebilir ve minimal invaziv şekilde gerçekleştirilmesidir. Güncel literatürde dijital rehberli endodontik tedavinin pulpa kanal obliterasyonu, anatomik anomaliler, retreatment gerektiren olgular, posterior bölgede endodontik mikrocerrahi ve diş ototransplantasyonu gibi farklı klinik senaryolarda kullanılabileceği bildirilmektedir (Wei vd., 2023).

Rehberli endodontinin en temel endikasyonlarından biri pulpa kanal obliterasyonu veya klinik kullanımda daha sık ifade edildiği şekliyle kalsifiye kanal varlığıdır. Pulpa kanal obliterasyonu çoğunlukla travma sonrası gelişen geç dönem bir komplikasyon olmakla birlikte, yaşlanma, çürük, restoratif işlemler, oklüzal travma ve uzun süreli iritanlara bağlı sekonder veya tersiyer dentin birikimi sonucunda da ortaya çıkabilir. Bu olgularda pulpa odası ve kök kanal lümeni kısmen ya da tamamen daralabilir; bu durum kanal ağızlarının klinik olarak saptanmasını güçleştirir. Kalsifiye kanalların serbest el yöntemiyle aranması, tedavi süresini uzatmanın yanı sıra aşırı dentin uzaklaştırılması, kök perforasyonu ve kanalın

tamamen kaçırılması gibi iyatrojenik riskleri artırabilir. Connert ve arkadaşları (2022), pulpa kanal obliterasyonu bulunan dişlerde kök kanal tedavisinin hem genel diş hekimleri hem de uzmanlar için önemli bir klinik zorluk oluşturduğunu ve kalsifiye kanal arayışının perforasyon riskini artırabileceğini vurgulamaktadır.

Bu nedenle rehberli endodonti, özellikle travmaya bağlı kanal obliterasyonu bulunan anterior dişlerde sıklıkla tercih edilen bir yaklaşımdır. Travma sonrası gelişen pulpa kanal obliterasyonu olgularında diş uzun süre asemptomatik kalabilir; ancak apikal periodontitis geliştiğinde endodontik tedavi gerekliliği ortaya çıkar. Bu aşamada kanal lümeninin radyografik olarak izlenememesi, geleneksel giriş kavitesi hazırlığını güçleştirir. CBCT ve intraoral tarama verilerinin birleştirilmesiyle oluşturulan statik rehberler, kök kanalının tahmini konumuna daha güvenli bir hat üzerinden ulaşılmasını sağlayabilir. Krastl ve arkadaşlarının tanımladığı rehberli endodonti yaklaşımı, pulpa kanal kalsifikasyonu ve apikal patoloji bulunan dişlerde minimal invaziv kanal erişimi sağlamak amacıyla geliştirilmiş öncü klinik uygulamalardan biri olarak kabul edilmektedir (Connert, Walter, Benz, Schwendicke, & Leontiev, 2025).

Rehberli endodontinin bir diğer kullanım alanı atipik kanal anatomileri ve anatomik varyasyonlardır. Dilasasyonlu kökler, invaginasyon, evaginasyon, C-şekilli kanal sistemi, aşırı eğimli kökler veya kök kanal sisteminin geleneksel radyografilerle yeterince değerlendirilemediği olgular tedavi planlamasını güçleştirebilir. Bu gibi durumlarda CBCT ile elde edilen üç boyutlu veriler, kanalın olası seyrini ve çevre anatomik yapılarla ilişkisini ortaya koyar. Dijital planlama yazılımları ise bu verilerin klinik giriş yoluna dönüştürülmesini sağlar. Böylece yalnızca kanalın bulunması değil, aynı zamanda dentin dokusunun korunması ve komplikasyon riskinin azaltılması da hedeflenir.

Retreatment vakaları da rehberli endodontinin potansiyel kullanım alanları arasında yer almaktadır. Daha önce kanal tedavisi uygulanmış dişlerde kanal dolgusu, post varlığı, basamak oluşumu, transportasyon, perforasyon veya kanal yolunun kaybedilmesi gibi durumlar tedaviyi karmaşık hâle getirebilir. Özellikle fiber post ya da metal post bulunan dişlerde, postun uzaklaştırılması veya post çevresinden kanal sistemine ulaşılması sırasında kök duvarlarının zayıflatılması ve perforasyon riski söz konusu olabilir. Rehberli yaklaşım, bu tip vakalarda hedef yapıya daha kontrollü bir doğrultuda ilerlenmesine olanak sağlayarak tedavinin öngörülebilirliğini artırabilir. Bununla birlikte bu kullanım alanında her vakanın rehberli tedaviye uygun olmadığı, kök uzunluğu, mevcut restorasyon, post materyali, kalan dentin kalınlığı ve periodontal prognozun birlikte değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Rehberli endodonti, endodontik mikrocerrahide de giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Apikal rezeksiyon, kök ucu kavitesi hazırlığı ve anatomik risk taşıyan bölgelerde cerrahi erişim planlaması, üç boyutlu görüntüleme ve dijital rehberlikten fayda görebilir. Özellikle mandibular premolar-molar bölgede mental foramen ve mandibular kanal; maksiller posterior bölgede ise maksiller sinüs gibi anatomik yapılar cerrahi planlamada dikkate alınmalıdır. Dijital rehberlik, osteotomi alanının ve kök ucuna ulaşım yolunun önceden belirlenmesine katkı sağlayarak cerrahi travmanın azaltılmasına yardımcı olabilir. 2023 tarihli uzman konsensüsünde dijital rehberli tedavinin posterior dişlerde endodontik mikrocerrahi gibi zorlu klinik uygulamalarda da alternatif bir strateji sunabileceği belirtilmektedir (Wei vd., 2023).

Rehberli endodontinin önemli klinik avantajlarından biri, minimal invaziv tedavi felsefesiyle uyumlu olmasıdır. Geleneksel yaklaşımda tıkalı kanalın bulunması için genişletilmiş giriş kavitesi hazırlanması gerekebilirken, rehberli yaklaşımda giriş yolu önceden planlandığı için gereksiz dentin uzaklaştırılması

azaltılabilir. Bu durum özellikle periservikal dentin ve kök duvarlarının korunması açısından önemlidir. Statik ve dinamik bilgisayar destekli rehberli endodonti yaklaşımlarını değerlendiren derlemelerde, pulpa kanal obliterasyonu veya tkalı kanallara sahip dişlerin tedavisinde bu teknolojilerin daha kontrollü erişim sağlayabildiği vurgulanmaktadır (Ribeiro, Reis, Marques, Falacho, & Palma, 2022).

Bununla birlikte rehberli endodonti her olgu için uygun veya zorunlu bir yöntem değildir. En önemli sınırlılıklardan biri, yöntemin vaka seçimine yüksek düzeyde bağımlı olmasıdır. Kanalın tamamen izlenemediği, kök morfolojisinin ileri derecede eğimli olduğu, hedef kanal segmentinin çok apikalde konumlandığı veya kalan dentin kalınlığının son derece sınırlı olduğu vakalarda rehberli giriş yolu planlamak güçleşebilir. Ayrıca rehberli sistem, kanalın yalnızca belirli bir noktasına ulaşmayı kolaylaştırır; kanalın devamının müzakere edilmesi, irrigasyon, şekillendirme, dezenfeksiyon ve obturasyon hâlâ klasik endodontik prensiplere ve operatör deneyimine bağlıdır (Chaniotis & Ordinola-Zapata, 2022; Connert vd., 2022; Tavares vd., 2022).

Statik rehberli endodontide başlıca sınırlılıklar; ağız açıklığı yetersizliği, posterior bölgede erişim gücü, frez uzunluğu, rehberin ağız içi stabilitesi ve işlem sırasında planın değiştirilememesi olarak özetlenebilir. Özellikle posterior dişlerde, rehberin kalınlığı ve kullanılan frezin uzunluğu nedeniyle ağız içinde yeterli çalışma alanı sağlanamayabilir. Ayrıca statik rehberler önceden belirlenmiş tek bir giriş yolunu takip eder; klinik uygulama sırasında kanalın beklenenden farklı bir seyir göstermesi durumunda operatörün planı anlık olarak değiştirme olanağı sınırlıdır. Bu nedenle statik rehberli endodonti yüksek öngörülebilirlik sunsa da, işlem öncesi planlamanın doğruluğu ve rehber stabilitesi klinik başarı açısından belirleyicidir (Connert vd., 2022; Tavares vd., 2022; Ribeiro vd., 2022).

Dinamik rehberli endodonti, gerçek zamanlı navigasyon avantajı sayesinde statik rehberlere kıyasla daha esnek bir yaklaşım sunar. Operatör, işlem sırasında aletin konumunu, açısını ve ilerleme derinliğini monitör üzerinden takip ederek gerekli düzeltmeleri yapabilir. Bu özellik özellikle rehber yerleştirmenin zor olduğu posterior bölgelerde veya tedavi sırasında yön değişikliğinin gerekebileceği olgularda yararlı olabilir. Ancak dinamik navigasyon sistemlerinin de yüksek maliyet, cihaz bağımlılığı, kalibrasyon hassasiyeti, öğrenme eğrisi ve klinik ortamda sürekli ekran takibi gerektirmesi gibi sınırlılıkları bulunmaktadır. Dinamik navigasyon üzerine yapılan sistematik derlemeler, yöntemin pulpa kanal obliterasyonu, konservatif giriş kavitesi, endodontik retreatment ve endodontik mikrocerrahi gibi zorlu durumlarda kullanılabilirliğini; ancak klinik kanıt düzeyinin güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Vasudevan, Santosh, Selvakumar, Sampath, & Natanasabapathy, 2022).

Rehberli endodontide bir diğer önemli sınırlılık, dijital iş akışındaki her basamağın nihai klinik doğruluğu etkileyebilmesidir. CBCT görüntü kalitesi, hasta hareketi, artefaktlar, DICOM–STL veri eşleştirme hataları, yazılım üzerinde giriş yolunun hatalı belirlenmesi, 3D baskı hassasiyeti, rehberin tam oturmaması veya rehberin işlem sırasında hareket etmesi frez sapmasına ve hatta perforasyona yol açabilir. Tavares ve arkadaşları (2022), statik rehberli endodontinin daha güvenli ve hızlı bir yaklaşım olarak bildirilmesine rağmen, yöntemin sınırlılıkları bulunduğunu ve hatalı veri eşleştirme veya rehber stabilizasyonundaki yetersizlikler nedeniyle iyatrojenik komplikasyonların gelişebileceğini bildirmiştir.

Maliyet ve erişilebilirlik de klinik uygulamayı etkileyen önemli faktörlerdir. CBCT cihazı, intraoral tarayıcı, planlama yazılımı, 3D yazıcı, biyouyumlu baskı materyalleri veya dinamik navigasyon sistemleri her klinikte bulunmayabilir. Ayrıca bu

teknolojilerin etkin kullanımı yalnızca cihaz varlığıyla değil, operatörün dijital planlama, radyolojik yorumlama ve klinik uygulama deneyimiyle de ilişkilidir. Bu nedenle rehberli endodonti, geleneksel endodontik bilgi ve becerinin yerine geçen bir yöntem olarak değil; seçilmiş zorlu vakalarda tedavinin güvenliğini ve öngörülebilirliğini artıran yardımcı bir dijital yaklaşım olarak değerlendirilmelidir(Connert vd., 2022; Wei vd., 2023) .

Sonuç olarak rehberli endodonti; pulpa kanal obliterasyonu, travmaya bağlı kalsifik metamorfozis, atipik kanal anatomileri, post varlığı, retreatment vakaları ve endodontik mikrocerrahi gibi karmaşık klinik durumlarda önemli avantajlar sağlayabilir. Bununla birlikte yöntemin başarısı doğru endikasyon seçimi, yeterli görüntüleme kalitesi, hassas veri eşleştirme, uygun rehber tasarımı, klinik stabilite ve operatörün dijital iş akışına hâkimiyeti ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle klinik kullanımda temel hedef, rehberli endodontiyi her olguda standart bir yaklaşım olarak uygulamak değil; geleneksel yöntemlerin yüksek risk taşıdığı seçilmiş olgularda minimal invaziv, güvenli ve öngörülebilir bir tedavi seçeneği olarak konumlandırılmaktır.

Klinik Uygulama Protokolü ve Olası Komplikasyonlar

Rehberli endodontik tedavide klinik protokol, doğru hasta seçimi ve ayrıntılı ön değerlendirme ile başlar. Öncelikle ilgili dişin restoratif prognozu, periodontal durumu, kök morfolojisi, kanal obliterasyonunun derecesi ve periapikal dokuların durumu birlikte değerlendirilmelidir. Ardından CBCT görüntüleri ve intraoral tarama verileri elde edilerek dijital planlama yazılımında birleştirilir. Bu aşamada kanalın tahmini lokalizasyonu, giriş yolu, kullanılacak frez çapı, ilerleme açısı ve çalışma derinliği belirlenir. Statik rehberli uygulamalarda bu sanal plan, üç boyutlu olarak basılmış bir rehber aracılığıyla kliniğe aktarılır; dinamik navigasyon sistemlerinde ise

operatör işlem sırasında aletin konumunu gerçek zamanlı olarak takip eder (Connert vd., 2022; Wei vd., 2023) .

Klinik uygulama sırasında rehberin ağız içi uyumu ve stabilitesi mutlaka kontrol edilmelidir. Rehber tam olarak oturmuyorsa, frez yolu planlanan eksenden sapabilir ve bu durum perforasyon, aşırı dentin kaybı veya kanalın hedeflenen noktadan uzak bir bölgede aranması gibi komplikasyonlara neden olabilir. Ayrıca CBCT görüntülerindeki artefaktlar, DICOM–STL eşleştirme hataları, planlama yazılımında yapılan eksen belirleme hataları ve üç boyutlu baskıya bağlı boyutsal sapmalar da klinik doğruluğu etkileyebilir. Statik rehberli endodontinin güvenli ve öngörülebilir bir yaklaşım olduğu bildirilmekle birlikte, rehberin yeterince stabilize edilmemesi veya veri eşleştirme hataları gibi nedenlerle iyatrojenik komplikasyonların gelişebileceği unutulmamalıdır (Tavares vd., 2022).

Bu nedenle rehberli endodonti, klinik deneyimin yerine geçen otomatik bir sistem olarak değil; doğru planlandığında tedavinin güvenliğini artıran yardımcı bir dijital yöntem olarak değerlendirilmelidir. Kanal girişine ulaşıldıktan sonra tedavi, irrigasyon, şekillendirme, dezenfeksiyon ve obturasyon aşamalarında klasik endodontik prensiplere uygun şekilde sürdürülmelidir.

Minimal İnvaziv Endodonti ile İlişkisi ve Klinik Prognosa Etkisi

Rehberli endodontinin en önemli katkılarından biri, minimal invaziv endodonti anlayışıyla uyumlu olmasıdır. Özellikle kalsifiye kanallarda geleneksel serbest el yöntemiyle kanal aramak çoğu zaman geniş giriş kavitesi hazırlanmasına ve gereksiz dentin kaybına neden olabilir. Rehberli yaklaşımda ise kanal yolu tedavi öncesinde dijital olarak planlandığı için, hedeflenen bölgeye daha kontrollü ve sınırlı bir girişle ulaşmak mümkün hâle gelir. Bu durum, özellikle

periservikal dentinin ve kök duvarlarının korunması açısından klinik öneme sahiptir (Clark & Khademi, 2010; Connert vd., 2022; Krastl vd., 2016).

Diş dokusunun korunması yalnızca endodontik işlem güvenliği açısından değil, aynı zamanda dişin uzun dönem restoratif prognozu açısından da önemlidir. Daha kontrollü bir giriş kavitesi hazırlanması, kök perforasyonu riskini azaltabilir ve tedavi sonrası dişin yapısal bütünlüğünün korunmasına katkı sağlayabilir. Literatürde rehberli endodontik uygulamaların, özellikle pulpa kanal obliterasyonu bulunan dişlerde kanal lokalizasyonunu daha öngörülebilir hâle getirdiği, diş dokusu kaybını azaltabildiği ve iyatrojenik hasar riskini düşürebildiği bildirilmektedir (Connert vd., 2022; Ribeiro vd., 2022).

Bununla birlikte minimal invaziv yaklaşım, yalnızca küçük giriş kavitesi oluşturmak anlamına gelmemelidir. Gereğinden fazla dar girişler, kanal sisteminin yeterli temizlenmesini, irrigasyon etkinliğini ve şekillendirme kontrolünü olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle rehberli endodontide temel hedef, en küçük giriş kavitesini oluşturmak değil; biyolojik, mekanik ve restoratif gereklilikler arasında dengeli, güvenli ve doku koruyucu bir tedavi yaklaşımı sağlamaktır (Krishan vd., 2014; Shabbir vd., 2021; Silva vd., 2022).

Güncel Literatür, Klinik Kanıtlar ve Gelecek Perspektifleri

Güncel literatür, rehberli endodontinin özellikle pulpa kanal obliterasyonu ve kompleks anatomili dişlerde umut verici sonuçlar sunduğunu göstermektedir. Statik rehberli endodonti, yüksek doğruluk ve öngörülebilirlik sağlaması nedeniyle en sık bildirilen yöntemdir. Dinamik navigasyon ise gerçek zamanlı yönlendirme avantajı sayesinde klinik uygulama sırasında operatöre daha esnek bir kontrol olanağı sunmaktadır. Ancak mevcut kanıtların önemli bir kısmı in vitro çalışmalar, olgu raporları ve sınırlı sayıda klinik çalışma üzerine kuruludur; bu nedenle uzun dönem klinik başarıyı

değerlendiren daha geniş örneklemlili çalışmalara ihtiyaç vardır (Connert vd., 2022; Ribeiro vd., 2022).

Gelecek dönemde rehberli endodontinin; yapay zekâ destekli kanal yolu planlaması, otomatik segmentasyon sistemleri, gelişmiş navigasyon yazılımları, robotik destekli uygulamalar ve klinik içi hızlı rehber üretimi gibi teknolojilerle daha da gelişmesi beklenmektedir. Bu gelişmeler, özellikle zor kanal anatomisine sahip vakalarda daha hızlı, daha güvenli ve kişiselleştirilmiş tedavi planlamalarının yapılmasına katkı sağlayabilir. Bununla birlikte bu teknolojilerin yaygın klinik kullanıma girebilmesi için maliyet, öğrenme eğrisi, cihaz erişilebilirliği ve klinik doğruluk gibi konularda daha fazla bilimsel kanıtı ihtiyaç vardır (Wei vd., 2023).

Sonuç

Rehberli endodonti, dijital görüntüleme, bilgisayar destekli planlama ve üç boyutlu rehberleme teknolojilerinin endodontik tedavi süreçlerine entegre edilmesiyle gelişen güncel ve minimal invaziv bir yaklaşımdır. Bu yöntem, özellikle pulpa kanal obliterasyonu bulunan dişlerde kanal lokalizasyonunun sağlanması ve endodontik giriş kavitesinin daha kontrollü hazırlanması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte rehberli endodonti yalnızca kalsifiye kanallar veya zorlu kanal anatomileriyle sınırlı değildir; endodontik mikrocerrahi, osteotomi ve apikoektomi planlaması, retrograd dolgu uygulamaları, fiber postların uzaklaştırılması ve morfolojik anomalilere sahip dişlerin tedavisi gibi farklı klinik alanlarda da kullanılabilir.

Statik rehberli endodonti, önceden dijital olarak planlanan giriş yolunun üç boyutlu olarak üretilmiş sabit bir rehber aracılığıyla kliniğe aktarılmasını sağlar. Bu yaklaşım, operatör deneyimine olan bağımlılığı azaltması, tedavi süresini kısaltabilmesi ve konvansiyonel serbest el yöntemlerine kıyasla daha güvenli ve öngörülebilir bir giriş yolu sunması nedeniyle özellikle kompleks

olgular da değerli bir seçenek tir. Bununla birlikte rehber tasarımı ve üretim için ek zaman gerektirmesi, çoğunlukla lineer bir giriş yolu sağlaması ve ağız içi stabilitenin bazı klinik durumlarda sınırlanabilmesi yöntemin başlıca dezavantajları arasında yer almaktadır.

Dinamik rehberli endodonti ise gerçek zamanlı navigasyon prensibine dayanması nedeniyle işlem sırasında operatöre daha esnek bir kontrol olanağı sağlar. Enstrüman konumunun anlık olarak izlenebilmesi ve gerektiğinde yeniden yönlendirilebilmesi, özellikle çok köklü dişlerde, posterior bölgelerde ve klinik seyrin işlem sırasında değişebileceği vakalarda önemli bir avantaj oluşturur. Ancak bu yaklaşımın operatör deneyimine daha fazla bağımlı olması, belirgin bir öğrenme eğrisi gerektirmesi ve el-göz koordinasyonunun eş zamanlı kullanımını zorunlu kılması klinik uygulamadaki temel sınırlılıklarındandır.

Sonuç olarak rehberli endodonti, doğru endikasyon seçimi, uygun görüntüleme protokolü, hassas dijital planlama ve yeterli klinik deneyim ile uygulandığında, özellikle geleneksel yöntemlerle yüksek komplikasyon riski taşıyan olgularda tedavinin güvenliğini ve öngörülebilirliğini artıran etkili bir yardımcı teknolojidir. Ancak bu yöntem, konvansiyonel endodontik bilgi ve becerinin yerine geçen bağımsız bir tedavi modeli olarak değil; seçilmiş kompleks olgularda minimal invaziv yaklaşımı destekleyen dijital bir araç olarak değerlendirilmelidir. Gelecekte yapay zekâ destekli planlama sistemleri, gelişmiş navigasyon teknolojileri ve klinik içi üretim olanaklarının yaygınlaşmasıyla rehberli endodontinin endodontik tedavi protokollerindeki yerinin daha da güçlenmesi beklenmektedir.

Kaynakça

American Association of Endodontists. (2020). Glossary of Endodontic Terms (10th ed.). Chicago, IL: American Association of Endodontists.

Anderson, J., Wealleans, J., & Ray, J. (2018). Endodontic applications of 3D printing. *International Endodontic Journal*, 51(9), 1005-1018. <https://doi.org/10.1111/IEJ.12917>

Buchgreitz, J., Buchgreitz, M., Mortensen, D., & Bjørndal, L. (2016). Guided access cavity preparation using cone-beam computed tomography and optical surface scans – an ex vivo study. *International Endodontic Journal*, 49(8), 790-795. <https://doi.org/10.1111/IEJ.12516>

Chaniotis, A., & Ordinola-Zapata, R. (2022). Present status and future directions: Management of curved and calcified root canals. *International Endodontic Journal*, 55, 656-684. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13685>

Clark, D., & Khademi, J. (2010). Modern molar endodontic access and directed dentin conservation. *Dental Clinics of North America*, 54(2), 249-273. <https://doi.org/10.1016/J.CDEN.2010.01.001>

Connert, T., Zehnder, M. S., Amato, M., Weiger, R., Kühn, S., & Krastl, G. (2018). Microguided Endodontics: a method to achieve minimally invasive access cavity preparation and root canal location in mandibular incisors using a novel computer-

guided technique. *International Endodontic Journal*, 51(2), 247-255. <https://doi.org/10.1111/IEJ.12809>

Connert, T., Walter, E., Benz, L., Schwendicke, F., & Leontiev, W. (2025). Guided Endodontics—Potential and Limitations. *Australian Dental Journal*, 70(S1), S118-S128. <https://doi.org/10.1111/ADJ.70012>

Connert, T., Weiger, R., & Krastl, G. (2022). Present status and future directions – Guided endodontics. *International Endodontic Journal*, 55(S4), 995-1002. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13687>

Connert, T., Zehnder, M. S., Weiger, R., Köhl, S., & Krastl, G. (2017). Microguided Endodontics: Accuracy of a Miniaturized Technique for Apically Extended Access Cavity Preparation in Anterior Teeth. *Journal of Endodontics*, 43(5), 787-790. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.12.016>

Fonseca Tavares, W. L., de Oliveira Murta Pedrosa, N., Moreira, R. A., Braga, T., de Carvalho Machado, V., Ribeiro Sobrinho, A. P., & Amaral, R. R. (2022). Limitations and Management of Static-guided Endodontics Failure. *Journal of Endodontics*, 48(2), 273-279. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.11.004>

Garcia-Sanchez, A., Bakhsh, K., Sanchez, S. E., Tadinada, A., & Chen, I. P. (2020). The use of three-dimensional (3D)-printed guide for identifying root canals in endodontic treatment. *Journal of Dental Treatment and Oral Care*, 3(1), 104. https://www.researchgate.net/profile/Alvaro-Garcia-Sanchez-3/publication/343214785_The_Use_of_Three-Dimensional_3d-Printed_Guide_for_Identifying_Root_Canals_in_Endodontic_Treatment/links/5f1c9087299bf1720d657520/The-Use-of-Three-Dimensional-3d-Printed-Guide-for-Identifying-Root-Canals-in-Endodontic-Treatment.pdf?origin=publication_detail&_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcn

N0UGFnZSI6InB1YmXpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmXpY2F0aW9u
RG93bmXvYWQlLCJwcmV2aW91c1BhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbiJ9f
Q

Krastl, G., Zehnder, M. S., Connert, T., Weiger, R., & Kühl, S. (2016). Guided Endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology. *Dental Traumatology*, 32(3), 240-246. <https://doi.org/10.1111/EDT.12235>

McCabe, P. S., & Dummer, P. M. H. (2012). Pulp canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge. *International Endodontic Journal*, 45(2), 177-197. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2011.01963.X>

Patel, S., Brown, J., Semper, M., Abella, F., & Mannocci, F. (2019). European Society of Endodontology position statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics. *International Endodontic Journal*, 52(12), 1675-1678. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13187>

Ribeiro, D., Reis, E., Marques, J. A., Falacho, R. I., & Palma, P. J. (2022). Guided Endodontics: Static vs. Dynamic Computer-Aided Techniques-A Literature Review. *Journal of Personalized Medicine*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/JPM12091516>

Tian, Y., Chen, C. X., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., ... Jiang, H. B. (2021). A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*, 2021(1), 9950131. <https://doi.org/10.1155/2021/9950131>

Vasudevan, A., Santosh, S. S., Selvakumar, R. J., Sampath, D. T., & Natanasabapathy, V. (2022). Dynamic Navigation in Guided Endodontics - A Systematic Review. *European*

Endodontic Journal, 7(2), 81-91.
<https://doi.org/10.14744/EEJ.2022.96168>

Wei, X., Du, Y., Zhou, X., Yue, L., Yu, Q., Hou, B., ... Ling, J. (2023). Expert consensus on digital guided therapy for endodontic diseases. *International Journal of Oral Science*, 15, 54. <https://doi.org/10.1038/s41368-023-00261-0>

BÖLÜM 4

IRRIGATION SOLUTIONS AND IRRIGATION ACCIDENTS IN DENTISTRY: CURRENT APPROACHES AND CLINICAL MANAGEMENT

Hanife ALTUN¹

Hilal GÜLEN²

Introduction

The primary aim of endodontic treatment is the elimination of microorganisms present in the root canal system and the prevention of reinfection (Siqueira & Rôças, 2008). However, due to the complex anatomical structure of the root canal system, mechanical preparation alone is insufficient. The persistence of microorganisms in hard-to-reach areas such as lateral canals, isthmuses, apical deltas and dentinal tubules has made chemical disinfection an indispensable component of treatment.

Irrigation solutions disrupt the biofilm structure, thereby ensuring efficacy in hard-to-reach areas (Haapasalo et al., 2010). For this reason, irrigation is an indispensable component of modern endodontics.

Irrigation solutions are used in root canal treatment both to provide antimicrobial action and to remove organic and inorganic tissue debris. By penetrating areas inaccessible to mechanical instrumentation, these solutions disrupt biofilm structure and contribute to a more effective cleaning of the canal system. In particular, sodium hypochlorite (NaOCl) is regarded as the gold standard irrigation solution due to its strong tissue-dissolving capacity and broad-spectrum antimicrobial effect. However, chlorhexidine (CHX), ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) and new-

¹ Research Assistant

Necmettin Erbakan University, Faculty of Dentistry

Endodontics

ORCID: 0009-0009-0841-7963

² Research Assistant

Necmettin Erbakan University, Faculty of Dentistry

Endodontics

ORCID: 0009-0009-6591-400X

generation combined irrigation agents also find clinical application thanks to their distinct properties.

The effectiveness of irrigation depends not only on the chemical properties of the solution used, but also on the technique employed. Factors such as the type of irrigation needle, its position within the canal, the pressure applied, and the activation of the irrigation directly influence the success of disinfection. For this reason, in modern endodontics, irrigation is regarded not merely as an auxiliary procedure, but as one of the critical determinants of treatment.

However, the irrigation procedure is not entirely risk-free. In particular, complications arising from the migration of irrigation solutions into the apical tissues can lead to serious clinical conditions. One of the most common and most severe complications is a sodium hypochlorite accident, characterised by symptoms such as sudden pain, swelling, haematoma, ecchymosis and tissue necrosis. Such accidents can adversely affect not only the patient's comfort but also the prognosis of the treatment.

In this context, the correct application of irrigation protocols is of great importance in minimising the risk of complications. Safe irrigation is based on fundamental principles such as the selection of an appropriate solution, correct concentration, controlled pressure application and the prevention of apical overflow. In clinical practice, neglecting these principles can turn a simple irrigation procedure into a serious complication.

This section discusses the characteristics and principles of use of the main irrigation solutions employed in dentistry; furthermore, the aetiology, clinical manifestations, prevention and management of irrigation-related incidents are examined in detail in accordance with the current literature. The aim is to provide clinicians with a scientific guide to both effective and safe irrigation practices.

Irrigation and Irrigation Solutions

In endodontic treatment, irrigation refers to the process of applying various solutions into the root canal system for the purpose of chemically cleaning and disinfecting it. The rotary and hand instruments used during mechanical preparation can only reach a limited portion of the root canal system; they may prove ineffective, particularly in complex anatomical areas (lateral canals, isthmuses and apical deltas). For this reason, irrigation is not merely a complement to mechanical cleaning, but a critical factor determining its effectiveness.(Şimşek et al., 2026)

The primary objectives of irrigation are the elimination of microorganisms within the root canal system, the disruption of biofilm structure, the removal of organic and inorganic tissue debris, and the elimination of the smear layer. Furthermore, irrigation solutions prevent blockages that may occur during instrumentation by facilitating the removal of debris from within the canal(Zehnder, 2006).

In endodontics, an ideal irrigation solution is expected to possess broad-spectrum antimicrobial activity, be capable of dissolving organic tissues, have low toxicity, and not damage the dentine structure. However, no single solution currently in use can meet all these criteria on its own. For this reason, the sequential or combined use of different solutions is widely preferred in clinical practice.

The most commonly used irrigation solutions in dentistry are as follows:

- Sodium hypochlorite (NaOCl): It is the gold standard due to its powerful antimicrobial effect and ability to dissolve organic tissue.
- Chlorhexidine (CHX): It stands out for its broad antimicrobial spectrum and substantivity.
- Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA): It dissolves inorganic structures, facilitating the removal of the smear layer.
- Combined solutions (MTAD, QMix): These have been developed to be effective on both organic and inorganic structures.
- Other agents: Citric acid, ozonated water and certain plant-based irrigants are being investigated as alternatives.

The efficacy of these solutions depends not only on their chemical properties, but also on the method of application, concentration and duration of use. For this reason, irrigation should be regarded not merely as a matter of ‘solution selection’, but also as a management protocol.

Sodium Hypochlorite (NaOCl)

Sodium hypochlorite is the most commonly used and clinically most effective agent among endodontic irrigation solutions. Thanks to its powerful antimicrobial effect and its ability to dissolve organic tissue, it plays a fundamental role in the disinfection of the root canal system. Because of these properties, NaOCl has long been regarded as the ‘gold standard’ irrigation solution.

The mechanism of action of NaOCl is based on the penetration of hypochlorous acid (HOCl) and hypochlorite ions, formed in solution, into the cell walls of microorganisms, thereby denaturing proteins. At the same time, it reacts with amino acids to form chloramines, which inhibit bacterial enzyme systems. Its solvent effect on organic tissues occurs through saponification and amino acid neutralisation reactions (Mohammadi & Abbott, 2009).

One of the key advantages of NaOCl is its ability to dissolve both necrotic and vital pulp tissue. This property enables the removal of tissue debris from areas that cannot be reached by mechanical instrumentation. Furthermore, thanks to its broad-spectrum antimicrobial effect, it is effective against both Gram-positive and Gram-negative bacteria, fungi and certain viruses.

In clinical practice, sodium hypochlorite is used at various concentrations (0.5–6%). Whilst higher concentrations provide a stronger antimicrobial and tissue-dissolving effect, they also increase the risk of cytotoxicity. Therefore, selecting the ideal concentration requires striking a balance between efficacy and safety.

However, NaOCl also has certain disadvantages. Its unpleasant taste and odour, its oxidative effects on dentine, and the fact that it can lead to serious complications—particularly if it spreads to the periapical tissues—make careful use essential. In particular, the condition known as a ‘sodium hypochlorite accident’ is a significant complication characterised by sudden and severe clinical symptoms.

For this reason, the correct irrigation technique, appropriate needle selection, the application of controlled pressure and the prevention of apical overflow are of the utmost importance when using NaOCl.

Sodium Hypochlorite (NaOCl) Accidents

Although sodium hypochlorite is one of the most effective irrigation solutions in endodontic treatment, it is a highly cytotoxic agent that can lead to serious complications if used improperly. The clinical presentation resulting from the extrusion of NaOCl into periapical tissues is defined as a 'sodium hypochlorite accident' and is considered one of the most dramatic and urgent complications in endodontics.

Aetiology and Pathogenesis

The underlying cause of NaOCl-related incidents is the overflow of the irrigation solution from the root canal into the periapical tissues. This is generally associated with a loss of apical control and excessive irrigation pressure. Following extrusion, NaOCl rapidly causes protein denaturation, cell lysis and vascular damage in the surrounding tissues due to its high oxidative capacity.

The main factors causing the accident are as follows:

- Apical overflow (overinstrumentation): Exceeding the working length leads to loss of apical constriction and allows the solution to easily penetrate the periapical tissues.
- High irrigation pressure: Uncontrolled and forceful irrigation using a syringe facilitates the solution's overflow from the apical region.
- Incorrect needle use: Open-ended needles and needles with a wide gauge may cause the solution to be forced directly in the apical direction (Gulabivala et al., 2010).
- Needle binding: The needle coming into contact with the canal walls and obstructing backflow leads to an increase in pressure.
- Wide apical foramen: A wide apical opening, particularly in young patients or in the presence of resorption, increases the risk of extrusion.
- Perforations: Iatrogenic or pathological perforations may cause the solution to pass directly into the periodontal tissues.
- Anatomical variations: A thin cortical bone or proximity to the sinus in the maxillary posterior region may increase the risk.

Clinical Findings

NaOCl accidents typically present with a sudden and dramatic clinical picture. The most characteristic symptom is the sudden and severe pain experienced by the patient during irrigation.

The main clinical symptoms are as follows:

- Sudden, severe, burning pain
- Rapidly developing swelling (oedema)
- Bruising and haematoma formation (becoming particularly noticeable within a few hours)
- Colour changes and tissue necrosis in the soft tissues (Pashley et al., 1985)
- Limited ability to open the mouth (trismus)
- Paresthesia/anaesthesia in the lips, cheeks or infraorbital region
- Bleeding (from the canal or soft tissues)

In accidents involving the posterior maxillary teeth, sinusitis-like symptoms may also occur if the fluid reaches the maxillary sinus.

Complications

Accidents involving sodium hypochlorite can lead to local and, rarely, systemic complications. The severity of complications depends on the volume and concentration of the solution that has been extruded, as well as the anatomical area affected.

Local complications:

- Tissue necrosis: Irreversible damage to soft tissues may occur as a result of the protein-denaturing effect of NaOCl.
- Extensive haematoma and ecchymosis: These result from damage to vascular structures and may spread to the facial region.
- Nerve damage: Long-term paraesthesia may develop, particularly if the inferior alveolar or infraorbital nerve is affected.
- Secondary infection: Necrotic tissues may create a suitable environment for infection (Clarkson & Moule, 1998).
- Trismus: Develops due to involvement of the muscles and surrounding tissues.

Systemic complications (rare):

- Allergic reactions
- Breathing difficulties (particularly in cases of extensive involvement)
- Psychological trauma (development of dental anxiety in the patient)

Clinical Significance

NaOCl-related incidents are often among the complications that can be prevented. For this reason, preventing such incidents is of greater importance than treating them. Simple precautions, such as determining the correct working length, maintaining the irrigation needle at a specific distance from the apex, and performing irrigation at low pressure and in a controlled manner, can help prevent serious complications.

Management of Sodium Hypochlorite (NaOCl) Accidents

The management of sodium hypochlorite-related injuries relies on limiting tissue damage through early diagnosis and rapid intervention. The clinical approach should aim to control symptoms, reduce inflammation and prevent potential complications during the acute phase. The protocol to be followed during this process aims both to limit the local tissue reaction and to ensure the patient's comfort.

Acute Intervention

Treatment must be stopped immediately if a suspected NaOCl accident occurs. The first and most important step is to dilute and remove the solution from the canal as much as possible. To this end, the canal must be flushed with a generous amount of sterile saline solution.

The key steps in acute management are as follows:

- Immediate cessation of the procedure
- Thorough irrigation of the canal with saline solution (for dilution)
- Application of a cold compress (for the first 6–24 hours)
- Initiation of analgesics for pain control
- Providing the patient with detailed information

Cold therapy is effective in limiting the formation of oedema and haematomas by causing vasoconstriction. After the first 24 hours, switching to warm compresses can support healing by improving circulation.

Medical Treatment

In cases of sodium hypochlorite (NaOCl) burns, a pharmacological approach is important for controlling inflammation and preventing secondary infections.

- **Analgesics:** Non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) are the first-line treatment for pain management. (UÇAŞ-YILDIZ et al., 2025)
- **Corticosteroids:** In the early stages, the use of systemic corticosteroids may limit tissue damage in cases of severe oedema and inflammation.
- **Antibiotics:** Although not routinely required, they may be used prophylactically in cases where there is widespread tissue damage or a risk of infection.
- **Antihistamines:** These may be used in cases where an allergic reaction is suspected.

Follow-up and Clinical Monitoring

Although NaOCl-related incidents generally tend to resolve within a few days, the patient must be monitored regularly. During clinical follow-up, the following conditions should be assessed:

- The spread and resolution of oedema
- The progression of bruising and haematoma
- Level of pain
- Presence of neurological symptoms (paresthesia, etc.)

In severe cases or where symptoms worsen, the patient should be referred to the relevant specialist departments (e.g. oral and maxillofacial surgery).

Advanced Interventions

In rare cases, particularly where extensive tissue necrosis or the development of a severe haematoma is involved, surgical intervention may be required. Furthermore, a multidisciplinary approach becomes essential if the solution spreads into anatomical cavities (such as the maxillary sinus).

Forecasts

The prognosis for NaOCl-related injuries is generally good, and most cases resolve without causing permanent damage when managed appropriately. However, if high-concentration solutions

spread over large areas, tissue necrosis, scar formation and, rarely, permanent nerve damage may occur.

Therefore, early intervention, the correct treatment approach and regular follow-up are the most important factors determining the prognosis.

Chlorhexidine (CHX)

Chlorhexidine (CHX) is a broad-spectrum antimicrobial agent widely used in endodontic treatment. Whilst it is particularly effective against Gram-positive bacteria, it is also effective against Gram-negative bacteria and certain fungal species. One of the key properties of CHX is its substantivity, which allows it to bind to the dentine surface and provide long-lasting antimicrobial activity (Kandaswamy & Venkateshbabu, 2010). This property helps to delay bacterial colonisation within the canal even after irrigation.

In clinical practice, chlorhexidine is generally used in solution or gel form at concentrations of 0.2–2%. Its low toxicity profile and lack of unpleasant taste or odour offer advantages in terms of patient comfort. Furthermore, CHX is preferred due to its efficacy against resistant microorganisms, particularly *Enterococcus faecalis*.

However, a significant disadvantage of chlorhexidine is its inability to dissolve organic tissues. Consequently, its use on its own is insufficient for the removal of necrotic tissue debris from the root canal system. This situation leads to CHX generally being used as an alternative or complementary irrigation agent alongside sodium hypochlorite.

Interaction with NaOCl and Clinical Significance

One of the most important points to bear in mind when using chlorhexidine and sodium hypochlorite sequentially is the chemical reaction that occurs between these two solutions. Direct contact between NaOCl and CHX results in the formation of a brown-coloured precipitate (a para-chloroaniline-like compound). This precipitate:

- It can accumulate on the canal walls and block the dentinal tubules
- It may adversely affect the penetration of adhesive materials
- It may have potential cytotoxic and irritant effects

For this reason, if chlorhexidine is to be used following sodium hypochlorite in clinical practice, it is recommended that an intermediate rinse (with saline solution or distilled water) be carried out between the two solutions.

Clinical Applications

CHX is particularly recommended in the following situations:

- Hypersensitivity or intolerance to NaOCl
- Persistent infections and resistant microorganisms
- Re-endodontic treatments
- Use as a final irrigation solution

Furthermore, the gel formulation can also be used as a lubricant during mechanical preparation.

Advantages and Disadvantages

Advantages:

- Broad-spectrum antimicrobial activity
- Substantive properties (long-lasting effect)
- Low toxicity
- Free from unpleasant odours or tastes

Disadvantages:

- Lack of the ability to dissolve organic tissue
- Forms a precipitate when reacting with NaOCl (Basrani et al., 2007)
- Has no effect on the smear layer

Adverse Events and Complications Associated with Chlorhexidine (CHX)

Chlorhexidine is generally considered a safer irrigation solution than sodium hypochlorite due to its lower cytotoxicity. However, if used incorrectly, in inappropriate combinations, or at high concentrations, it can lead to various local and, rarely, systemic complications.

Aetiology

The main factors contributing to the development of complications associated with CHX are as follows:

- Apical extrusion: Although not as aggressive as NaOCl, the migration of CHX into periapical tissues can cause irritation.
- Use of high concentrations: In particular, the uncontrolled use of 2% solutions can increase tissue irritation.
- Direct contact with NaOCl: Formation of toxic precipitates resulting from use without intermediate rinsing
- Allergic reactions: Although rare, hypersensitivity may develop

Clinical Findings

Although accidents involving CHX are generally less severe than those involving NaOCl, the following symptoms may be observed:

- Mild to moderate pain
- Local inflammation and tenderness
- Mild swelling
- Tissue irritation

In the presence of a precipitate formed as a result of interaction with NaOCl:

- A change in colour within the canal
- Blockage of the dentinal tubules

- Surface changes that may affect the success of the restoration

Allergic and Systemic Reactions

Chlorhexidine may, albeit rarely, cause allergic reactions. Cases of urticaria, angioedema and, very rarely, anaphylactic reactions have been reported in the literature. Particular caution is advised in patients with a history of reactions to mouthwashes containing CHX.

Complications

Complications associated with the use of CHX are generally localised:

- Tissue irritation and inflammation
- Delayed healing
- Canal obstruction due to chemical precipitation
- Adhesion issues with restorative materials

Compared to NaOCl, the risk of necrosis and severe tissue damage is considerably lower; however, inappropriate combinations may adversely affect clinical outcomes.

Management and Prevention

The management of complications associated with CHX is generally symptomatic:

- Irrigation of the canal with saline solution
- Use of mild analgesics if necessary
- Antihistamine treatment in the event of an allergic reaction

The most critical points regarding prevention:

- If chlorhexidine (CHX) is to be used following sodium hypochlorite (NaOCl), an intermediate rinse must be performed
- Selection of the appropriate concentration
- Avoiding apical overflux

Ethylenediaminetetraacetic Acid (EDTA)

Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) is a chelating agent used in endodontic treatment, particularly for the removal of inorganic tissue components (Violich & Chandler, 2010). The smear layer, which forms during mechanical preparation and consists of dentine debris, organic residues and microorganisms, coats the root canal walls, blocking the entrances to the dentine tubules and limiting the penetration of irrigation solutions. For this reason, the removal of the smear layer is of great importance for effective disinfection and successful obturation.

EDTA binds to calcium ions, dissolving the inorganic structure of dentine and thereby facilitating the removal of the smear layer. As a result of this action, the dentine tubules are exposed, allowing irrigation solutions to penetrate deeper into the tissue. Typically used at a concentration of 17%, EDTA produces effective results in short-term applications (approximately 1–5 minutes).

Mechanism of Action

The primary mechanism of action of EDTA is based on its ability to promote the demineralisation of the dentine structure by forming complexes with divalent metal ions (particularly calcium). Thanks to this chelating effect:

- The smear layer is dissolved
- The dentinal tubules are opened
- The canal surface becomes cleaner and more permeable

However, as the duration of this effect increases, there is a risk of excessive demineralisation and erosion of the dentine structure.

Clinical Use and Combinations

EDTA is generally not used on its own, but in combination with other irrigation solutions. The most common clinical protocol is:

- NaOCl → EDTA → NaOCl

. In this protocol:

1. NaOCl dissolves organic tissues
2. EDTA removes the smear layer
3. The final NaOCl irrigation cleans organic residues from the opened tubules

This combination ensures the effective removal of both organic and inorganic components.

Advantages and Disadvantages

Advantages:

- Effectively removes the smear layer
- Opens the dentinal tubules, thereby enhancing the effectiveness of irrigation
- Prepares the canal surface for obturation

Disadvantages:

- Limited antimicrobial efficacy
- Lack of organic tissue-dissolving capacity
- Causes dentine erosion with prolonged use

Complications Associated with EDTA

Although EDTA is generally considered a safe irrigation solution, it can lead to certain complications if used improperly:

- Excessive demineralisation: Prolonged contact may cause weakening of the dentine structure.
- Dentin erosion: This increases particularly with sequential and prolonged use in combination with NaOCl
- Periapical irritation: A mild inflammatory reaction may develop in cases of apical extrusion

For this reason, it is of great importance that EDTA is used for a controlled duration and at the correct concentration.

Combined Irrigation Solutions

The fact that traditional irrigation solutions cannot, on their own, meet all the ideal criteria has led to the development of combined irrigation solutions that integrate multiple mechanisms of action into a single formulation. These agents aim to provide properties such as antimicrobial activity, removal of the smear layer and reduction of surface tension simultaneously. However, this multifaceted structure may also carry certain biological and clinical risks.

MTAD

Structure and Mechanism of Action

MTAD is an irrigation solution containing doxycycline (a tetracycline-derived antibiotic), citric acid and a surfactant (Tween 80)(Torabinejad et al., 2003). When these components are considered together:

- Doxycycline: Provides antimicrobial activity and forms a limited degree of substantivity by binding to dentine
- Citric acid: Removes the smear layer by dissolving inorganic components
- Surfactant: Increases the solution's penetration into the dentine tubules by reducing surface tension

Thanks to this combination, the MTAD is able to perform both disinfection and smear layer removal simultaneously.

Clinical Use

MTAD is typically administered using the following protocol:

- Initial irrigation: NaOCl
- Final irrigation: MTAD

This method aims to dissolve organic tissues using NaOCl and then remove the smear layer using MTAD.

Advantages:

- Broad-spectrum antimicrobial activity
- Effective removal of the smear layer
- High penetration due to low surface tension
- Versatile action with a single solution

Complications and Limitations

The use of MTAD carries certain significant clinical risks:

- Risk of antibiotic resistance: Due to its doxycycline content, there is a potential for resistance to develop with repeated use
- Allergic reactions: Caution is advised in patients with sensitivity to tetracycline-class antibiotics

- Dentin discolouration: May cause colour changes, particularly in young patients and in aesthetic areas
- Cytotoxicity: May cause irritation in periapical tissues in cases of apical extrusion
- Photosensitivity-related reactions (theoretical): Potential risk associated with doxycycline

For this reason, the use of MTAD should be planned taking into account the patient's medical history and clinical condition.

QMix

Structure and Mechanism of Action

QMix is an irrigation solution containing a chlorhexidine-like bisbiguanide antimicrobial agent, EDTA and surfactants. Thanks to this formulation:

- Antimicrobial effect (CHX-like agent): Broad-spectrum bacterial elimination
- Chelation (EDTA): Removal of the smear layer
- Detergent effect: Increased penetration into the dentine

Thanks to these features, QMix has been developed as a solution suitable for the 'single-stage irrigation' approach.

Clinical Use

It is generally used as the final step following NaOCl irrigation. However: Direct contact with NaOCl must be strictly avoided. Using it without rinsing first may cause chemical reactions.

Advantages:

- Both antimicrobial and smear-reducing effects
- Ease of use
- High penetration capacity
- Long-lasting effect similar to that of a substantive agent

Complications and Limitations

Although QMix is generally considered safe, it carries the following risks:

- Chemical interactions: Risk of precipitate formation upon contact with NaOCl
- Tissue irritation: Inflammation in cases of apical extrusion
- Allergic reactions: Rare reactions to the antiseptic components in its formulation
- Changes in dentine structure: Alterations in surface properties with prolonged use

Furthermore, as data on the long-term clinical outcomes of QMix are limited, careful and controlled use is recommended.

Other Combined and Experimental Solutions

Research is currently ongoing into various irrigation agents designed to combine different biological and chemical properties.

Citrate-based solutions

- Effective at removing the smear layer
- Can be used as an alternative to EDTA

Ozonated water

- Has antimicrobial properties
- Offers the advantage of low toxicity
- There are conflicting results regarding its clinical efficacy

Plant-derived irrigants

- Aim for low cytotoxicity
- Their antimicrobial activity may be limited

Solutions containing nanoparticles

- High penetration potential
- Currently at the experimental stage

Complications and Limitations

For most of these agents:

- Lack of long-term clinical data
- Absence of standard protocols
- Uncertainty regarding efficacy and safety

are significant limiting factors.

General Principles of Management in Irrigation Accidents

Although accidents occurring during endodontic irrigation can lead to clinical presentations of varying severity depending on the chemical properties of the solution used, management approaches are based on certain fundamental principles. The aim of these principles is to minimise the effects of extruded irrigant, limit tissue damage, control inflammation and prevent the development of potential complications. Effective management is directly linked to early diagnosis and rapid intervention (Hülsmann & Hahn, 2000).

Early Diagnosis and Intervention

The most critical step in the management of irrigation accidents is the early detection of the incident. Sudden and severe pain, rapidly developing oedema, bleeding or unexpected tissue reactions should be regarded as early indicators of irrigant extrusion. In the presence of such findings, the clinical procedure must be terminated immediately and intervention initiated without delay. Early intervention plays a decisive role in limiting the spread of tissue damage, particularly when caused by highly cytotoxic agents such as sodium hypochlorite.

Dilution and Removal

The first step to be taken upon detection of the accident is to dilute the irrigation solution within the root canal system and remove as much of it as possible. To this end, the canal should be flushed with a generous amount of sterile saline solution or distilled water. The dilution process helps to limit the destructive effect on surrounding tissues by reducing the chemical activity of the irrigant.

Control of Inflammation

The inflammatory response that develops following irrigation injuries is one of the key factors determining the extent of tissue damage. It is therefore important to bring the inflammation under control at an early stage. Applying a cold compress within the first 24 hours can reduce oedema and haematoma formation through its vasoconstrictive effect. Subsequently, the application of a warm compress can support the resorption and healing process by increasing local blood flow.

Pharmacologically, non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) are the preferred first-line treatment for managing pain and inflammation. In cases where a severe inflammatory response is observed, the use of systemic corticosteroids may be effective in limiting tissue damage.

Prevention of Infection

Tissue damage resulting from irrigation accidents may create a suitable environment for the development of secondary infections. Although the use of antibiotics is not routinely recommended, prophylactic or therapeutic antibiotic treatment may be considered in cases involving extensive tissue damage, widespread oedema, or a risk of infection. This decision should be made taking into account clinical findings and the patient's general condition.

Pain Management and Patient Comfort

Pain is one of the earliest and most prominent symptoms of irrigation complications. The implementation of an effective analgesic protocol not only enhances patient comfort but also has a positive impact on compliance with the treatment process. To this end, non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) are generally preferred, and these may be supplemented with stronger analgesics where necessary.(Çatak et al., 2026)

Patient Information and Follow-up

Effective communication with the patient is of great importance in the management of irrigation-related complications. The patient should be provided with clear and understandable information regarding the nature of the condition, expected symptoms and the recovery process. This approach helps to reduce the patient's anxiety and increase their confidence in the treatment.

The clinical follow-up process is of critical importance for the early detection of complications. Patients should be assessed regularly for the spread of oedema, changes in skin colour, pain levels and neurological symptoms. Where necessary, patients should be referred to the relevant specialist departments.

Personalised Treatment Approach

Every irrigation accident may present a different clinical course depending on the type and concentration of the solution used, the volume extruded, and the patient's individual characteristics. Therefore, whilst the treatment approach is based on a standard protocol, it must be tailored to each individual patient. In particular, accidents involving irrigants with high toxicity require a more aggressive and careful management approach.

Overall Assessment

Whilst the fundamental principles of managing irrigation injuries are similar for all irrigation solutions, the scope of the treatment approach varies depending on the chemical properties of the agent used and its effects on the tissue. Therefore, the clinician must be familiar with the general management protocol and determine the appropriate intervention strategy, taking into account the biological effects of the irrigant used.

Management Protocols for Irrigation Accidents by Solution Type

Whilst the fundamental principles of managing irrigation accidents are common to all cases, the scope and intensity of the clinical approach vary depending on the chemical composition, toxicity level and effects on tissues of the irrigation solution used. Therefore, the clinician must correctly identify the irrigant responsible for the accident and develop an appropriate management strategy.

Management of Sodium Hypochlorite (NaOCl) Accidents

Sodium hypochlorite is the most aggressive irrigation agent due to its high oxidative capacity and cytotoxic effect. For this reason, management of NaOCl incidents must be swift, careful and comprehensive.

Emergency procedure:

- The procedure is terminated immediately
- The canal is flushed with a generous amount of saline solution
- Efforts are made to limit the spread of extrusion

Local management:

- Cold compresses for the first 24 hours, followed by warm compresses
- Swelling and bruising are closely monitored

Medical treatment:

- Pain management with NSAIDs
- Systemic corticosteroids in severe cases
- Antibiotics where necessary

Monitoring and referral:

- Daily clinical monitoring is recommended
- In the event of nerve damage, widespread necrosis or severe oedema, the patient should be referred to the relevant specialist

Management of Adverse Events Associated with Chlorhexidine (CHX)

Chlorhexidine generally results in milder clinical presentations due to its lower cytotoxicity.

Emergency management:

- The canal is cleaned by irrigation with saline solution

Symptomatic treatment:

- Pain control with NSAIDs
- Local irritation usually subsides within a short time

Special considerations:

- If an allergic reaction develops, antihistamine treatment is administered
- If a precipitate forms as a result of interaction with NaOCl, the canal must be cleaned carefully

Follow-up:

- As the condition is usually short-lived and mild, minimal follow-up is sufficient

Management of Accidents Involving EDTA

Although EDTA has a low toxicity profile, it can cause irritation, particularly in the event of prolonged contact or extrusion.

Emergency management:

- The canal is irrigated with a generous amount of saline solution

Clinical management:

- Symptomatic treatment is usually sufficient
- Analgesics are used in the event of pain

Points to note:

- Changes in the dentine structure following prolonged contact should be assessed
- The patient should be monitored in cases of apical irritation

Management of Adverse Events Associated with Combined Irrigation Solutions (MTAD, QMix)

The management of combination solutions varies depending on the active ingredients they contain.

General approach:

- The canal is cleaned by irrigation with saline solution
- Symptomatic treatment is administered

Special considerations for MTAD:

- Allergic reactions must be taken into account due to the antibiotic content
- In the event of a reaction, antihistamines and the necessary medical treatment are administered

Special considerations for QMix:

- Irritation is generally mild due to the CHX-like content
- Chemical interactions that may occur following contact with NaOCl should be taken into account

Follow-up:

- Assessment is carried out based on clinical findings
- The risk of serious complications developing is generally low

General Clinical Approach

Although there are differences in the management of irrigation accidents depending on the type of solution, the fundamental approach in all cases is to reduce the effects of the irritant, control inflammation and prevent the development of complications. Whilst sodium hypochlorite injuries require a more aggressive and comprehensive management approach, other irrigation solutions can generally be managed using more conservative and symptomatic approaches.

Therefore, the clinician must be familiar not only with general management principles but also with the biological behaviour of the irrigant used.

Irrigation Techniques: A Clinical Practice Guide

The efficacy of irrigation solutions depends not only on their chemical properties but also directly on the techniques used to administer them (Boutsioukis et al., 2010). The literature reports that the vast majority of irrigation-related incidents are caused by incorrect technical practices. Therefore, the application of standardised clinical principles is of paramount importance for safe and effective irrigation.

Selection of Irrigation Needles

The type of needle used during irrigation is one of the most important factors determining both the effective distribution of the solution and the risk of apical extrusion.

Recommended:

- Side-vented needles
- Closed-tip systems

To be avoided:

- Open-ended needles
- Wide-bore and rigid needles

Clinical recommendation:

- 27–30 gauge fine needles should be preferred
- The needle must be able to move freely within the canal (without binding)

The Position of the Needle Within the Canal

The depth of needle insertion is of critical importance in terms of the effectiveness and safety of irrigation.

Golden rule:

- The tip of the needle should be positioned 1–2 mm shorter than the working length

Points to note:

- The needle must never be advanced as far as the apical constriction
- If resistance is felt within the canal, the needle should be withdrawn

Irrigation Pressure and Flow Control

High pressure is one of the main causes of irrigation accidents.

Clinical practice:

- Irrigation should be performed at a low and controlled pressure
- The solution should be administered slowly and continuously

Things to avoid:

- Sudden and forceful injection
- “Forced irrigation”

Practical tip:

- If piston resistance is felt during irrigation, stop immediately

Irrigation Volume and Duration

A sufficient irrigation volume is essential for effective disinfection.

Recommendations:

- A generous amount of irrigation for each canal (minimum 5–10 mL)
- Irrigation should be performed with every file change
- The solution must be allowed to remain in the canal for a sufficient duration.

Activation of Irrigation

Passive irrigation may prove inadequate in complex root canal anatomy. Activation techniques are therefore recommended (van der Sluis et al., 2007).

Ultrasonic activation

- Generates an acoustic current and cavitation effect
- Enhances solution penetration

Sonic systems

- Operates at a lower frequency
- Safe and easy to use

Manual dynamic activation

- Piston movement with gutta-percha
- A simple yet effective method

Negative Pressure Systems

It has been developed as an alternative to positive-pressure irrigation systems.

Advantages:

- Minimises the risk of apical extrusion
- Ensures safe delivery of the solution to the apical region

Clinical significance:

- It should be preferred, particularly in high-risk cases

Clinical Checklist for Safe Irrigation

Adhering to the following principles during irrigation significantly reduces the risk of complications:

- Use a fine needle with a side hole
- Position the needle 1–2 mm shorter than the working length
- Ensure the needle is not stuck in the canal
- Irrigate slowly at low pressure
- Ensure there is a constant backflow
- Repeat the irrigation at each stage
- Perform an intermediate rinse between NaOCl and CHX
- Stop irrigation immediately if there is any suspicion

Clinical Summary

Safe irrigation depends not only on the correct choice of solution but also on the correct application of technique. Appropriate needle selection, controlled pressure, correct depth and effective activation of the irrigation system play a critical role in both enhancing treatment success and preventing irrigation-related complications.

The application of irrigation techniques in accordance with standards ensures predictable and safe outcomes in endodontic treatment.

Conclusion

The success of endodontic treatment depends not only on mechanical preparation but also on the effective chemical disinfection of the root canal system. In this context, irrigation solutions constitute an indispensable component of treatment in terms of the elimination of microorganisms, the disruption of biofilm structure and the removal of tissue debris (Zehnder, 2006).

However, as no single irrigation solution currently in use meets all ideal criteria on its own, clinical success depends not only on the correct choice of solution but also on the appropriate sequence, concentration and technique used to apply these solutions.

Sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA and combined irrigation agents have different mechanisms of action, and optimal results are achieved when they are used in a complementary manner. However, the inappropriate use of agents with high cytotoxicity, such as sodium hypochlorite, can lead to serious complications. Irrigation-related incidents often arise from technical errors and can be largely prevented with the correct clinical approach.

For this reason, irrigation should be regarded not merely as an auxiliary procedure, but as a critical clinical procedure requiring knowledge, experience and attention. Safe irrigation necessitates the integrated application of appropriate needle selection, controlled pressure, correct working length and effective activation techniques. Furthermore, the early recognition and correct management of irrigation-related complications directly influence the treatment prognosis.

In conclusion, success in endodontic treatment is achievable through the selection of appropriate irrigation solutions, their use in accordance with scientific principles, and the effective management of potential complications. Addressing these elements through a holistic approach in clinical practice both enhances treatment success and maximises patient safety.

KAYNAKÇA

- Basrani, B. R., Manek, S., Sodhi, R. N., Fillery, E., & Manzur, A. (2007). Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endod*, 33(8), 966-969. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.04.001>
- Boutsioukis, C., Gogos, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., & Van der Sluis, L. W. (2010). The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J*, 43(10), 874-881. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01761.x>
- Clarkson, R. M., & Moule, A. J. (1998). Sodium hypochlorite and its use as an endodontic irrigant. *Aust Dent J*, 43(4), 250-256. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.1998.tb00173.x>
- Çatak, T., Üstün, M., Demiray, M. D., & Yıldız, F. S. U. (2026). Would you perform this procedure under general anesthesia? A scenario-based comparison of dentist and anesthesiologist approaches. *BMC Anesthesiol*. <https://doi.org/10.1186/s12871-026-03916-7>
- Gulabivala, K., Ng, Y. L., Gilbertson, M., & Eames, I. (2010). The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiol Meas*, 31(12), R49-84. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/31/12/r01>
- Haapasalo, M., Shen, Y., Qian, W., & Gao, Y. (2010). Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am*, 54(2), 291-312. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2009.12.001>
- Hülsmann, M., & Hahn, W. (2000). Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int Endod J*, 33(3), 186-193. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2000.00303.x>
- Kandaswamy, D., & Venkateshbabu, N. (2010). Root canal irrigants. *J Conserv Dent*, 13(4), 256-264. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.73378>
- Mohammadi, Z., & Abbott, P. V. (2009). The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *Int Endod J*, 42(4), 288-302. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01540.x>
- Pashley, E. L., Birdsong, N. L., Bowman, K., & Pashley, D. H. (1985). Cytotoxic effects of NaOCl on vital tissue. *Journal of Endodontics*, 11(12), 525-528. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(85\)80197-7](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(85)80197-7)
- Siqueira, J. F., Jr., & Rôças, I. N. (2008). Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod*, 34(11), 1291-1301.e1293. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.07.028>
- Şimşek, E., Satar, S., Özdemir, S. G., Uçaş Yıldız, F. S., Kurt, Ö., & Akbulut, M. B. (2026). Do irrigation activation techniques and setting time affect the dentin bond strength of bioceramic-based root canal sealers? *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 149, 104367. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2026.104367>
- Torabinejad, M., Shabahang, S., Apereo, R. M., & Kettering, J. D. (2003). The antimicrobial effect of MTAD: an in vitro investigation. *J Endod*, 29(6), 400-403. <https://doi.org/10.1097/00004770-200306000-00005>
- Uçaş-Yıldız, F. S., Yıldız, K. K. J. O., Dental Health: Clinical Case Reports, S. I., & Strategies, P. (2025). Pain And Its Management In Endodontics. 67.

- van der Sluis, L. W., Versluis, M., Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (2007). Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J*, 40(6), 415-426.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01243.x>
- Violich, D. R., & Chandler, N. P. (2010). The smear layer in endodontics - a review. *Int Endod J*, 43(1), 2-15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01627.x>
- Zehnder, M. (2006). Root canal irrigants. *J Endod*, 32(5), 389-398.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.09.014>

BÖLÜM 5

ENDODONTİDE FOTODİNAMİK TERAPİ: ETKİ MEKANİZMASI VE KLİNİK KULLANIM

MÜNEVVER KAYA¹

Giriş

Endodontik tedavinin temel amacı, kök kanal sistemi içerisindeki enfeksiyonun ortadan kaldırılması veya önlenmesi yoluyla periapikal iyileşmenin sağlanması ve dişin uzun dönem fonksiyonel olarak ağızda tutulmasıdır. Bununla birlikte, enstrümantasyon teknikleri ve irrigasyon protokollerinde kaydedilen önemli gelişmelere rağmen, tam anlamıyla etkili bir dezenfeksiyonun sağlanması hâlâ önemli bir klinik zorluk olarak varlığını sürdürmektedir. Bu durum büyük ölçüde kök kanal sisteminin lateral kanallar, isthmuslar, apikal deltalar ve dentin tübülleri gibi mikroorganizmaların yerleşebileceği karmaşık anatomik yapılara sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu alanlar, konvansiyonel mekanik ve kimyasal prosedürlerin erişebilecekleri alanların ötesinde kalabilmektedir (Sedgley, 2004).

Kök kanal sistemi içerisindeki mikroorganizmalar çoğunlukla organize biyofilm yapıları halinde bulunur ve bu yapı, planktonik bakterilere kıyasla antimikrobiyal ajanlara karşı daha yüksek direnç gösterir. Bu mikroorganizmalar arasında *Enterococcus faecalis*, özellikle persistan enfeksiyonlar ve başarısız endodontik tedaviler ile sıklıkla ilişkilendirilmektedir. Söz konusu bakteriler dentin tübüllerinin derinliklerine penetre olabilmekte ve olumsuz çevresel koşullarda dahi yaşamlarını sürdürebilmektedir; bu da eradikasyonlarını daha da güçleştirmektedir (Gaeta et al., 2023).

Konvansiyonel irrigasyon protokolleri, özellikle sodyum hipoklorit kullanımı, geniş spektrumlu antimikrobiyal etkisi ve organik dokuları çözebilme kapasitesi nedeniyle kök kanal dezenfeksiyonunun temelini oluşturmaktadır (Haroon et al., 2021). Bununla birlikte, bu ajanların etkinliği, kompleks anatomik bölgelere sınırlı penetrasyon göstermeleri ve olgun biyofilmlere karşı etkinliklerinin azalması nedeniyle kısıtlanmaktadır. Bu nedenle, gelişmiş

¹ Uzman Dt., Karadeniz Teknik Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Ana Bilim Dalı, Orcid: 0000-0002-3554-4492

irrigasyon aktivasyon teknikleri kullanılsa dahi, tam mikrobiyal eliminasyon çoğu zaman mümkün olmamaktadır.

Bu sınırlılıkların üstesinden gelebilmek amacıyla, konvansiyonel protokollerin etkinliğini artırmaya yönelik yardımcı dezenfeksiyon yöntemleri araştırılmıştır. Bu yaklaşımlar arasında Fotodinamik terapi son yıllarda dikkat çeken bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Fotodinamik terapi; bir fotosensitizer ajanın belirli dalga boyundaki ışık ile aktive edilmesi ve moleküler oksijen varlığında reaktif oksijen türlerinin oluşması prensibine dayanır. Oluşan bu reaktif türler, mikrobiyal hücrelerde oksidatif hasara yol açarak hücre ölümünü tetikler.

Geleneksel antimikrobiyal yöntemlerden farklı olarak fotodinamik terapi, belirli moleküler hedeflere bağımlı değildir ve bu nedenle mikroorganizmalarda direnç gelişme olasılığını azaltmaktadır. Ayrıca irrigasyon solüsyonlarının ulaşamadığı alanlarda dezenfeksiyonu artırma potansiyeli, bu yöntemi endodontik tedavide tamamlayıcı bir seçenek haline getirmektedir.

Bu bölümün amacı, fotodinamik terapinin endodontideki yerini eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirmek ve özellikle konvansiyonel irrigasyon yöntemleri ile karşılaştırmalı etkinliğini incelemektir.

Endodontik Enfeksiyonların Mikrobiyolojisi

Ağız boşluğunda 700'den fazla mikrobiyal tür bulunabilmekte olup, bir bireyde herhangi bir anda yaklaşık 100–200 farklı türün varlığı söz konusudur (Paster & Dewhirst, 2000). Primer kök kanal enfeksiyonları genellikle polimikrobiyal karakterde olup, çoğunlukla anaerob bakterilerin baskın olduğu bir mikrobiyal profile sahiptir. Bu tür enfeksiyonlarda sıklıkla izole edilen mikroorganizmalar arasında Gram-negatif anaerob çomaklar, Gram-pozitif anaerob koklar, Gram-pozitif anaerob ve fakültatif çomaklar ile *Lactobacillus* ve *Streptococcus* türleri yer almaktadır (Sundqvist, 1994). Anaerob bakterilerin büyük bir kısmı kök kanal tedavisi sırasında elimine edilebilirken, fakültatif bakteriler dezenfeksiyon işlemlerine rağmen canlılığını sürdürebilmektedir (Sundqvist, 1994).

Enterococcus faecalis, başarısız kök kanal tedavisi vakalarının önemli bir bölümünde izole edilmiş olup, literatürde başlıca etiyolojik ajanlardan biri olarak kabul edilmektedir (Radcliffe et al., 2004). Bunun yanı sıra, tedavi sonrası hastalık görülen kök kanal dolgulu dişlerden *Staphylococcus*, *Enterococcus*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Sphingomonas*, *Candida* ve *Actinomyces* türleri de izole edilmiştir (Friedman, 2017; Nakamura et al., 2018; Ricucci et al., 2018; Ricucci & Siqueira, 2010; Sainudeen et al., 2020; Sunde et al., 2003).

Enterococcus faecalis ve *Candida albicans* gibi maya türleri, başarısız endodontik tedavi görmüş dişlerde, kanal tedavisinin yenilenmesi gerektiren vakalarda ve persistan enfeksiyon içeren kök kanallarında en sık izole edilen mikroorganizmalar arasında yer almaktadır (Aravind et al., 2006; Love, 2001).

Enterococcus faecalis, gram pozitif kok yapısında ve fakültatif anaerob özellik gösteren bir bakteridir. Normalde bağırsak florasının bir üyesi olmakla birlikte, ağız boşluğu ve dişeti oluğunda da bulunabilir. Düşük sayılarda bulunduğu elimine edilmesi görece kolaydır; ancak yoğun olarak varlık gösterdiğinde eradikasyonu oldukça güçleşir.

Enterococcus faecalis, besin açısından yetersiz ortamlarda dahi varlığını sürdürebilen, kalsiyum hidroksit ve sodyum hipoklorit gibi yaygın kullanılan medikament ve irrigasyon solüsyonlarına karşı direnç gösterebilen bir mikroorganizmadır. Medikasyon uygulanmış kanallarda bile biyofilm oluşturabilmesi, dentin tübüllerine penetre olarak kollajene bağlanması ve mevcut sıvıları metabolize edebilmesi, eliminasyonunu güçleştirir. Ayrıca kültürde çoğalmayan ancak canlılığını koruyan formlara dönüşebilmesi, antibiyotik direnci geliştirebilmesi ve düşük pH, yüksek tuzluluk ile sıcaklık gibi zorlu koşullara uyum sağlayabilmesi sayesinde uzun süre hayatta kalabilir; açlık durumlarında ise periodontal ligament kaynaklı doku sıvılarından yararlanabilir. Bu özellikler, *E. faecalis*'in özellikle persistan endodontik enfeksiyonlarda neden bu kadar önemli bir rol oynadığını açıklamaktadır (Narayanan & Vaishnavi, 2010).

Endodontide Geleneksel İrrigasyon Protokolleri

Apikal periodontitisin tedavisinde temel hedef, kök kanal sistemindeki enfeksiyon yükünü ortadan kaldırmak ya da klinik olarak anlamlı düzeyde azaltmaktır. Bu doğrultuda konvansiyonel yaklaşım; kanalın mekanik olarak şekillendirilmesi, irrigasyon solüsyonları ile hem fiziksel temizlik hem de kimyasal dezenfeksiyon sağlanması ve bazı durumlarda seanslar arasında antibakteriyel etkili medikamentlerin kullanılması basamaklarını içerir (Athanasiadis et al., 2007; Sjögren et al., 1991)

Endodontik dezenfeksiyonda sodyum hipoklorit, sahip olduğu doku çözme kapasitesi ve geniş spektrumlu antimikrobiyal aktivitesi sayesinde günümüzde hâlâ birincil tercih olma özelliğini korumaktadır. Özellikle nekrotik pulpa vakalarında ve endodontik enfeksiyonların yönetiminde yaygın biçimde başvuru olan bu solüsyon, klinik etkinliği açısından altın standart konumundadır (Gulabivala et al., 2010; Mazzoni et al., 2020; Wang et al., 2012).

Ne var ki sitotoksik potansiyeli, alerji oluşturabilme riski ve koku ve tat açısından olumsuz özellikleri klinik kullanımını kısıtlayan başlıca faktörler arasında yer almaktadır.

Etilendiamin Tetra Asetik Asit (EDTA), endodontide kök kanal sisteminde oluşan inorganik artıkların ve smear tabakasının uzaklaştırılması amacıyla yaygın olarak kullanılan bir şelatlayıcı ajandır (Dutner et al., 2012; Willershausen et al., 2015). Genellikle %15–17 konsantrasyonda, nötr ya da hafif alkali pH'da uygulanır ve özellikle enstrümantasyon sonrasında dentin yüzeyinin temizlenmesinde etkilidir (Çalt & Serper, 2002; De-Deus et al., 2008; Hülsmann et al., 2003; Ordinola-Zapata et al., 2012).

Antimikrobiyal etkisi sınırlı olmakla birlikte, biyofilm matriksini zayıflatarak mikroorganizmaların ortandan uzaklaştırılmasını kolaylaştırabilir ve bu yönüyle diğer irrigasyon solüsyonlarının etkinliğini destekleyebilir (Arias-Moliz et al., 2008, 2009). Bununla

birlikte, tek başına bir irrigant olarak kullanımı önerilmemekte; daha çok tamamlayıcı bir ajan olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca biyouyumluluğunun görece iyi olması, düşük maliyeti ve kolay erişilebilirliği klinik kullanımını yaygınlaştıran avantajlar arasında yer almaktadır (Vouzara et al., 2016).

Klorheksidin başta olmak üzere çeşitli alternatif irrigasyon ajanları biyouyumluluk profilleri bakımından daha elverişli bir görünüm sergilese de bu solüsyonların doku çözücü etkiden yoksun olması ve organik madde varlığında antimikrobiyal etkinliklerinin belirgin ölçüde azalması, klinik uygulamadaki kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır (McDonnell & Russell, 1999).

Mevcut literatür bulguları da diğer irrigantların bakterisidal etki düzeyinin sodyum hipoklorite kıyasla ya benzer ya da daha düşük düzeyde seyrettiğine işaret etmektedir (Spratt et al., 2001).

Bununla birlikte, kök kanal sisteminin istmuslar, lateral kanallar, apikal deltalar ve dentin tübülleri gibi karmaşık anatomik yapılar içermesi, mikroorganizmaların bu alanlarda korunmasına ve konvansiyonel yöntemlerden kaçmasına olanak tanır (Versiani et al., 2012; Vertucci, 1984). Ek olarak, mikroorganizmaların biyofilm formunda bulunması, tedaviyi daha da güçleştiren önemli bir faktördür. Biyofilm içerisindeki bakteriler, ekstraselüler bir matriks içinde organize olmuş şekilde bulunur ve bu yapı, antimikrobiyal ajanların penetrasyonunu sınırlandırarak ve çeşitli koruyucu mekanizmalar sağlayarak mikroorganizmaların direnç kazanmasına katkıda bulunur (Bjarnsholt, 2013; Van Acker et al., 2014). Ayrıca biyofilmin kanal sistemindeki düzensiz anatomik alanlar boyunca süreklilik göstermesi, etkin bir dezenfeksiyonun sağlanmasını daha da zorlaştırmaktadır (Nair et al., 2005).

Geleneksel kimyasal ve kemoterapötik antimikrobiyal yöntemlerin sınırlılıkları ve dirençli mikroorganizmaların giderek artan varlığı, bu patojenlerin etkin şekilde elimine edilmesine yönelik yeni tedavi stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda, özellikle kök kanal sistemindeki mikrobiyal yapıları hedefleyen ışık tabanlı dezenfeksiyon teknolojileri, dirençli türlerin kontrolünde potansiyel bir alternatif yaklaşım olarak ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda, fotodinamik terapi gibi alternatif yöntemler son yıllarda dikkat çekmektedir (Haroon et al., 2021).

Fotodinamik Terapi: Temel Prensipler

Fotodinamik terapi (PDT), “ışık aracılığıyla hücrelerin, mikroorganizmaların veya moleküllerin inaktive edilmesi” şeklinde tanımlanmaktadır (Gursoy et al., 2013). PDT’nin temel prensibi, ışığın hedef bölgede bulunan toksik olmayan bir boyayı (fotosensitizer) uyararak, çevre dokular üzerinde minimal fotokimyasal etki oluşturacak şekilde seçici bir etki meydana getirmesidir (Wainwright, 1998). Fotosensitizer (PS), bir ışık kaynağından aldığı enerjiyi absorbe edebilen ve bu enerjiyi başka moleküllere aktarabilen boyar maddelerdir (Plaetzer et al., 2009). Günümüzde klinik çalışmalarda en yaygın kullanılan fotosensitizerler, 600–660 nm dalga boyu aralığında absorpsiyon gösteren fenotiyazin türevleri olup, bunlar

arasında toluidin mavisi O (TBO) ve metilen mavisi (MB) öne çıkmaktadır (Calzavara-Pinton et al., 2012).

Kimyasal maddeler ile ışığın birlikte kullanımına dayanan bu yaklaşımın temelleri 1900 yılında Oscar Raab tarafından atılmıştır (Ackroyd et al., 2001; Baltazar et al., 2015; Moan & Peng, 2003). Bununla birlikte, 1928 yılında antibiyotiklerin keşfi sonrasında “fotodinamik terapi” olarak adlandırılan bu yöntemin antimikrobiyal etkinliğine yönelik çalışmaların sayısında belirgin bir azalma gözlenmiştir (Santezi et al., 2018a). Ancak son yıllarda antibiyotik direncinin artması, PDT’nin klinik potansiyeline olan ilgiyi yeniden artırmıştır (Bliss et al., 2004; Dobson & Wilson, 1992; Okamoto et al., 1992; M. Wilson & Pratten, 1995).

Fotodinamik terapi, 1960’lı yıllardan itibaren farklı tıp disiplinlerinde hızla gelişim gösteren bir tedavi yaklaşımıdır (Dougherty et al., 1998; Soukos & Goodson, 2011). Bunun temel nedeni, çeşitli hastalıkların tedavisinde seçici, non-invaziv ya da en azından minimal invaziv bir yöntem olarak uygulanabilmesidir. İlk olarak tümörler ve premalign lezyonların tedavisi amacıyla geliştirilen PDT, zamanla bakterilere, mantarlara ve virüslere karşı etkili bir alternatif olarak da dikkat çekmiştir (Wainwright, 1998). Bu özelliği sayesinde özellikle lokalize mikrobiyal enfeksiyonların tedavisinde umut vadeden bir seçenek haline gelmiştir (Rossoni et al., 2010; Wainwright, 1998).

Son yıllarda PDT’nin kullanım alanı daha da genişlemiş ve antibiyotiklere karşı gelişen direnç sorununa potansiyel bir çözüm olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. PDT’ye karşı direnç gelişme olasılığının düşük olması, bu yöntemin önemli avantajlarından biridir. Bunun nedeni, singlet oksijen ve serbest radikallerin mikrobiyal hücrelerde birden fazla hücresel yapı ve metabolik yolak üzerinde eş zamanlı etki göstermesidir (Wainwright & Crossley, 2004).

Bakteri, mantar, virüs ve protozoonlar gibi çeşitli mikroorganizmalar, singlet oksijen türlerinin etkisiyle inaktive edilebilmektedir. Antimikrobiyal fotodinamik terapinin, özellikle herpes simpleks enfeksiyonları gibi bazı viral hastalıkların tedavisinde de etkili olduğu bildirilmiştir (Takasaki et al., 2009)

Fotodinamik Terapinin Etki Mekanizması

Fotosensitizer ajanlar, kullanılan maddenin özelliklerine bağlı olarak intravenöz yolla uygulanabilir, oral olarak alınabilir ya da topikal olarak kullanılabilir (Gluckman, 1991). Üçlü (triplet) uyarılmış durumdaki fotosensitizerin biyomoleküllerle etkileşime girmesi iki temel mekanizma üzerinden gerçekleşmektedir. Tip I mekanizmada, fotosensitizerden doğrudan elektron veya hidrojen transferi meydana gelir ya da bir substrat molekülünden elektron/hidrojen uzaklaştırılması söz konusu olur. Bu süreç sonucunda oluşan serbest radikaller, oksijenle hızla reaksiyona girerek yüksek derecede reaktif oksijen türlerinin oluşmasına yol açar (Foote, 1991).

Tip II mekanizmada ise, enerjik olarak uyarılmış ve oldukça reaktif bir oksijen formu olan singlet oksijen açığa çıkar. Bu mekanizma singlet oksijen aracılığıyla gerçekleştiğinden, mikrobiyal hücrelerin yıkımında başlıca yol olarak kabul edilmektedir. Her iki mekanizmanın

etkisiyle ortaya çıkan hüresel hasar, ortamın oksijen düzeyi ile fotosensitizer konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Konopka & Goslinski, 2007; Thomas B et al., n.d.).

Bakteriyel membrana bağlanma ve bakterilere nüfuz etme ışığa duyarlılaştırıcı kapasitesinin yanı sıra, fotosensitizerin etkili olması için hücelere nüfuz etmesi ve hatta hücelere temas etmesi gerekmediği açık olan bakterilerin inaktivasyonu raporları vardır. Bazı yazarlara göre, bakterilerin dış zarının yakınında yeterli miktarda singlet oksijen üretilebilirse, hayati yapılara zarar verebilecektir (Dahl et al., 1987).

Bu nedenle, PS hedef bakterilerle etkileşime giremezse, ancak singlet oksijen hücreye yakın bir yerde üretilirse, canlılığı bakterilere olan mesafeye bağlı olacaktır. Bu nedenle, beklenen terapötik etkiye ulaşmak mutlaka bakteri duvarı ile PS arasındaki toplam afiniteyi içermez. Tedavinin reaktif ürünlerinin (singlet oksijen gibi) üretilmesi de önemlidir, çünkü PS ve bakteriler arasında doğrudan temas olmadan bile başarı sağlanabilir. Fotodinamik reaksiyon tarafından üretilen singlet oksijen miktarı her boya için değişir. Bu miktar, singlet oksijen kuantum verimi ile ölçülür. Literatür, ftalosiyanın türevleri (0,56), metilen mavisi (0,59), toluidin mavisi (0,60), eritrosin (0,63), gül bengal (0,76) ve Photofrin™ (0,83) gibi hematorporfirin türevleri için oksijen üretimini ve kuantum verim değerlerini en düşükten en yükseğe doğru rapor eder (DeRosa, 2002). Kuantum verimi ne kadar yüksek olursa, singlet oksijen üretimi o kadar yüksek olur ve sonuç olarak fotodinamik etkinlik o kadar yüksek olur.

PDT, hedef dokularda uygulanan bir ışığa duyarlı ajanın uygulanmasını ve tutulmasını içeren tümörler, periodontitis, diğer oral lezyonlar ve premalign hastalıklar gibi çeşitli hastalıklar için bir tedavi olarak geliştirilmiştir (Sharwani et al., 2006).

Fotosensitizer Ajanlar

Antimikrobiyal etkinliğin sağlanabilmesi için fotodinamik tedavide (PDT), kullanılan ışık kaynağının dalga boyu ile uyumlu şekilde yüksek absorpsiyon gösterebilen, aynı zamanda biyouyumlu ve toksik olmayan bir fotosensitizerin (PS) tercih edilmesi kritik öneme sahiptir (Meisel & Kocher, 2005). PDT uygulamalarında kullanılan fotosensitizerler genel olarak; hematorporfirin türevleri (620–650 nm), fenotiyazinler (620–700 nm), siyaninler (600–805 nm), fitoterapötik ajanlar (550–700 nm), ftalosiyaninler (660–700 nm) ve klorinler olarak sınıflandırılmaktadır (Lyon et al., 2011; Meisel & Kocher, 2005; Pinheiro et al., 2009; Sigusch et al., 2005). Bu gruplar arasında, fenotiyazin türevi sentetik nonporfirin bileşikler olan metilen mavisi (MB) ve toluidin mavisi O (TBO, tolonium klorür), farklı konsantrasyonlarda kullanımlarıyla literatürde en yaygın şekilde araştırılan ve klinikte en sık tercih edilen ajanlar olarak öne çıkmaktadır (Nagata et al., 2012). Ayrıca, zerdeçalın temel bileşeni olan ve uzun yıllardır tıbbi ve gıda amaçlı kullanılan kurkuminin de son dönemde diş hekimliğinde PDT kapsamında alternatif bir fotosensitizer olarak değerlendirildiği bildirilmektedir (Gomes-Filho et al., 2016; Neelakantan et al., 2015; Santezi et al., 2018b).

Spektral özellikler açısından değerlendirildiğinde, metilen mavisinin maksimum absorpsiyonunun yaklaşık 660 nm'de, toluidin mavisi O'nun ise yaklaşık 630 nm'de gerçekleştiği gösterilmiştir (Ball et al., 1998; Severino et al., 2003; Usacheva et al., 2003)

Her iki ajan da benzer bakterisidal özellikler sergileyerek hem Gram-pozitif hem de Gram-negatif mikroorganizmalar üzerinde etkili olabilmekte; özellikle *Enterococcus faecalis* gibi dirençli türlerin inaktivasyonunda etkinlik göstermektedir (Bago et al., 2013; Bergmans et al., 2008; Fonseca et al., 2008; Foschi et al., 2007; Nagata et al., 2012; Nagayoshi et al., 2011; Pagonis et al., 2010; Poggio et al., 2011; Vaziri et al., 2012). Literatürde fotosensitizerlerin hidrofilik, hidrofobik veya amfifilik özellikler gösterebildiği belirtilmekte olup, endodontik enfeksiyonların polimikrobiyal doğası dikkate alındığında hem hidrofilik hem de hidrofobik karakter taşıyan amfifilik ajanların (örneğin MB ve TBO) daha uygun bir seçenek olabileceği ifade edilmektedir (Giusti et al., 2008; Usacheva et al., 2001; Wainwright et al., 1997; M. Wilson et al., 1993). Fotosensitizer seçimi, yalnızca kimyasal özelliklerle sınırlı olmayıp aynı zamanda kullanılan ışık kaynağının özellikleriyle de doğrudan ilişkilidir. PDT’de etkili bir ışık kaynağının, fotosensitizerin aktivasyon spektrumu ile uyumlu olması (çoğunlukla en uzun dalga boyu pikine karşılık gelen bölge) ve bu dalga boyunda yeterli enerji yoğunluğunu sağlayabilmesi temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir (B. C. Wilson & Patterson, 2008)

Işık Kaynakları (Lazer, Floresan Lamba ve LED Sistemleri)

Diş hekimliğinde tercih edilen fotosensitizerlerin (PS) seçimi, kullanılan ışık kaynağı ile doğrudan ilişkilidir. PDT’de etkili bir sonuç elde edebilmek için ışık kaynağının, PS’nin absorpsiyon (aktivasyon) spektrumu ile uyum göstermesi ve özellikle en uzun dalga boyundaki absorpsiyon pikinde yeterli enerji sağlayabilmesi gerekmektedir (B. C. Wilson & Patterson, 2008).

Güncel uygulamalarda, PDT için genellikle 630–800 nm aralığında ışık yayan sistemler kullanılmaktadır. Bu kapsamda en sık tercih edilen kaynaklar arasında helyum-neon lazerler (633 nm), galyum-alüminyum-arsenid (GaAlAs) diyot lazerler (630–690, 830 veya 906 nm) ve argon lazerler (488–514 nm) yer almaktadır. Bu cihazlar, görünür spektrumun mavi bölgesinden başlayarak kırmızı ve bazı durumlarda kızılötesi dalga boylarına kadar uzanan geniş bir aralıkta ışık üretmektedir (Klotz et al., 1999).

Klinik açıdan değerlendirildiğinde, PDT’de kullanılan ışık kaynakları genel olarak üç ana grupta incelenmektedir: lazer sistemleri, ışık yayan diyotlar (LED) ve halojen lambalar (Kübler, 2005; Nagata et al., 2012). Bu seçenekler arasında diyot lazerler; pratik kullanım kolaylığı, taşınabilirlikleri ve görece düşük maliyetleri nedeniyle öne çıkmakta ve sıklıkla tercih edilmektedir (Jerjes et al., 2007). Lazer sistemleri; ışığın fiber optik aracılığıyla hassas bir şekilde yönlendirilebilmesi, monokromatik özellik göstermesi, yüksek enerji verimliliği ve hedef dokuya kontrollü ışık iletimi gibi önemli avantajlar sunar. Bununla birlikte, bu sistemlerin maliyetleri dezavantaj oluşturmaktadır (Nagata et al., 2012).

Lazer dışı ışık kaynakları arasında yer alan LED sistemler ise özellikle yüzeysel ve kolay ulaşılabilir dokuların tedavisinde son dönemde daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Gursoy et al., 2013; Juzeniene & Moan, 2007).

Halojen lambalar, farklı fotosensitizerlerle uyum sağlayabilecek şekilde spektral olarak filtrelenebilme avantajına sahiptir. Ancak bu sistemler, optik fiberler veya sıvı ışık kılavuzları ile etkin biçimde kullanılamamakta ve aynı zamanda ısı oluşumuna neden olabilmektedir. Ayrıca geniş spektrumlu olmaları nedeniyle etkin ışık yoğunlukları da sınırlı kalmaktadır (Nagata et al., 2012).

Endodontide Fotodinamik Terapinin Klinik Kullanımı

PDT, diş hekimliğinde özellikle periodontoloji ve endodonti alanlarında kullanılan önemli bir yardımcı tedavi yöntemidir (Cieplik et al., 2018). Endodontide ise başlıca kullanım amacı, kök kanal sisteminin etkin bir şekilde dezenfekte edilmesidir; bu da kök kanal tedavisinin başarısını belirleyen temel unsurlardan biridir.

Kök kanal sisteminin kompleks ve düzensiz anatomik yapısı, geleneksel enjektörle irrigasyon tekniklerinin etkinliğini sınırlayabilmektedir. Bu nedenle, irrigantların daha etkili hale getirilmesi ve kanal içi dezenfeksiyonun artırılması amacıyla, PDT gibi aktivasyon temelli yeni yöntemler geliştirilmiştir (Do & Gaudin, 2020).

PDT, bakteriyel yükü anlamlı düzeyde azaltabilmesi, postoperatif ağrıyı hafifletmesi (Coelho et al., 2019) ve periapikal lezyonların iyileşmesine katkıda bulunması (Lopes et al., 2019) gibi avantajları sayesinde güncel diş hekimliği pratiğinde giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra, C-şekilli kanal sistemleri gibi karmaşık anatomilerde (Mustafa et al., 2021) ve daha önce başarısız endodontik tedavi uygulanmış dişlerin yeniden tedavisinde (Asnaashari et al., 2016), kemomekanik preparasyonun etkinliğini artırdığı da bildirilmektedir.

PDT'nin Avantajları

PDT'nin klinik açıdan belirgin bir avantajı, etki mekanizmasının termal değil fotokimyasal temele dayanmasıdır. Bu özellik sayesinde çevre dokularda ısıya bağlı hasar meydana gelmemekte ve aynı zamanda bakteri, mantar ile virüsler üzerinde etkili bir antimikrobiyal aktivite sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, metilen mavisi içeren uygulamalarda diş yüzeyinde renk değişikliği olası bir komplikasyon olarak karşımıza çıkmakta; ancak NaOCl ve/veya Endo-PTC ile birlikte yürütülen protokollerin bu olumsuzluğu giderebildiği gösterilmiştir. PDT'nin sitotoksik profili incelendiğinde, uygun doz koşullarında memeli hücreleri üzerindeki etkinin oldukça sınırlı kaldığı ve NaOCl ile kıyaslandığında belirgin biçimde daha düşük sitotoksikite sergilediği görülmektedir. İntravenöz fotosensitizer kullanımına bağlı sistemik fotosensitizasyon vakaları literatürde yer almış olsa da, oral kavitede gerçekleştirilen uygulamalarda bu riskin klinik açıdan anlamlı bir düzeye ulaşmadığı değerlendirilmektedir (Chrepa et al., 2014).

Endodontik tedavi bağlamında PDT'nin antimikrobiyal etkinliği, farklı fotosensitizer-ışık kaynağı kombinasyonları aracılığıyla araştırılmış ve başta *E. faecalis* olmak üzere çeşitli mikroorganizmalar üzerinde umut verici bulgular elde edilmiştir. Öte yandan bu etkinliğin; hedef mikroorganizmanın türüne, biyofilm ya da planktonik büyüme formuna ve uygulanan ışık ile fotosensitizer dozuna göre önemli farklılıklar gösterdiği bilinmektedir. Bunun yanı sıra

dentin yapısının ve çevresindeki biyolojik ortamın varlığının fotodinamik aktiviteyi olumsuz yönde etkileyebildiği belirtilmektedir. Söz konusu kısıtların üstesinden gelmek amacıyla çeşitli optimizasyon yaklaşımları gündeme gelmiş olup fotosensitizerlerin nanopartikül sistemlerine yüklenmesi, efluks pompası inhibitörlerinin tedavi protokollerine eklenmesi ve fotoaktif kitosan bazlı formülasyonların geliştirilmesi bu stratejilerin başında gelmektedir (Chrepa et al., 2014).

PDT'nin Sınırlılıkları ve Dezavantajları

PDT'nin etkin biçimde uygulanabilmesi için ışığın hedef bölgeye doğru şekilde yönlendirilmesi ve yeterli doku penetrasyonunun sağlanması zorunludur. Lazer aracılığıyla optimum ışık iletiminin gerçekleştirilmesi, klinisyenler arasında ileri düzeyde koordinasyon ve iş birliği gerektirmekte; gerekli ekipmana erişim ise tarihsel süreç içinde önemli bir engel oluşturmuştur. Günümüzde ise taşınabilir ve düşük maliyetli ışık kaynaklarının yaygınlaşmasıyla bu sorun büyük ölçüde aşılmış durumdadır.

Fotodinamik terapi (PDT) çeşitli klinik üstünlükler sunmakla birlikte, bazı sınırlılıklar ve olası istenmeyen etkiler de barındırmaktadır. Özellikle metilen mavisi kullanımına bağlı diş renklenmesi bu etkiler arasında yer almakta olup söz konusu durumun uygulama süresi ve fotosensitizerin dentine difüzyonuyla doğrudan ilişkili olduğu düşünülmektedir; NaOCl ve belirli yardımcı ajanların protokole dahil edilmesiyle bu etkinin hafifletilebileceği rapor edilmiştir (Carvalho et al., 2011; Figueiredo et al., 2014; Ramalho et al., 2017). Öte yandan fotosensitizer moleküllerinin dentin yüzeyine adsorbe olarak tübüleri oklüde edebilmesi, mikrosızıntı artışı ve bağlanma dayanımında düşüş gibi olumsuz klinik sonuçlara zemin hazırlayabilmekte; bu nedenle işlem sonrasında uygun irrigasyon protokollerinin uygulanması önerilmektedir (Shahravan et al., 2007; Souza et al., 2017).

PDT'nin antimikrobiyal kapasitesi; hedef mikroorganizmanın türüne, biyofilm organizasyon düzeyine ve çevresel koşullara bağlı olarak belirgin farklılıklar sergileyebilmekte, dentin matriksinin ve ortamdaki biyolojik bileşenlerin varlığı ise fotodinamik aktiviteyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Upadya & Kishen 2010; Shrestha & Kishen 2012). Bu kısıtların giderilmesine yönelik çeşitli yaklaşımlar araştırılmakta olup nanopartikül bazlı taşıyıcı sistemlerin kullanımı, efluks pompası inhibitörlerinin tedaviye entegrasyonu ve modifiye fotosensitizer formülasyonlarının geliştirilmesi bu stratejilerin en çok ilgi gören örnekleri arasında yer almaktadır (Pagonis ve ark. 2010; Shrestha ve ark. 2014).

Sitotoksikite profili açısından ele alındığında, PDT'nin terapötik doz aralığında güvenli bir uygulama sunduğu ve NaOCl ile karşılaştırıldığında daha sınırlı bir toksik etki ortaya koyduğu görülmektedir (George & Kishen 2007a; Xu ve ark. 2009; Gomes-Filho ve ark. 2016). Etki mekanizmasının fotokimyasal reaksiyonlara dayanması, termal doku hasarı oluşturmaksızın mikroorganizmalar üzerinde etkili olunabilmesini mümkün kılmakta ve bu durum yöntemin önemli biyolojik avantajlarından birini oluşturmaktadır (Soukos ve ark. 2006). Bununla birlikte, enerji dozu, fotosensitizer konsantrasyonu ve ışınlama süresi gibi temel uygulama parametrelerinin henüz standart bir çerçeveye kavuşturulamamış olması ve klinik

etkinliğe ilişkin in vivo kanıtların yetersizliği, PDT'nin rutin klinik pratiğe entegrasyonunu güçleştiren başlıca etkenler olarak öne çıkmaktadır (Gursoy ve ark. 2013; Pourhajibagher & Bahador 2018b).

Sonuç

Endodontik tedavinin başarısı, kök kanal sistemindeki mikroorganizmaların etkin şekilde elimine edilmesine bağlıdır. Ancak kanal sisteminin kompleks anatomik yapısı ve biyofilm varlığı, konvansiyonel dezenfeksiyon yöntemlerinin etkinliğini sınırlamaktadır. Bu bağlamda fotodinamik terapi, sahip olduğu fotokimyasal etki mekanizması ve geniş spektrumlu antimikrobiyal aktivitesi ile endodontik dezenfeksiyonu destekleyen önemli bir yardımcı yöntem olarak öne çıkmaktadır.

PDT'nin özellikle dirençli mikroorganizmalar üzerinde etkili olması, düşük sitotoksisite profili ve mikroorganizmalarda direnç gelişimini sınırlayan yapısı, bu yöntemi klinik açıdan avantajlı kılmaktadır. Bununla birlikte, uygulama parametrelerinin standardize edilmemiş olması, doku penetrasyonu ile ilgili sınırlılıklar ve klinik etkinliğe dair uzun dönem verilerin yetersizliği, yöntemin rutin kullanımını kısıtlayan başlıca faktörlerdir.

Güncel literatür, PDT'nin tek başına bir alternatiften ziyade, konvansiyonel endodontik tedavi protokollerine adjuvan bir yaklaşım olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Gelecekte yapılacak iyi tasarlanmış klinik çalışmaların, PDT'nin etkinliğini daha net ortaya koyarak klinik uygulamadaki yerini belirlemesi beklenmektedir.

Kaynakça

- Ackroyd, R., Kelty, C., Brown, N., & Reed, M. (2001). The history of photodetection and photodynamic therapy. *Photochemistry and Photobiology*, 74(5), 656–669. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2001\)074<0656:thopap>2.0.co;2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2001)074<0656:thopap>2.0.co;2)
- Aravind, Gopikrishna, V., Kandaswamy, D., & Jeyavel, R. (2006). Comparative evaluation of the antimicrobial efficacy of five endodontic root canal sealers against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. *Journal of Conservative Dentistry*, 9(1), 2. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.41303>
- Arias-Moliz, M. T., Ferrer-Luque, C. M., Espigares-García, M., & Baca, P. (2009). Enterococcus faecalis Biofilms Eradication by Root Canal Irrigants. *Journal of Endodontics*, 35(5), 711–714. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.01.018>
- Arias-Moliz, M. T., Ferrer-Luque, C. M., Espigares-Rodríguez, E., Liébana-Ureña, J., & Espigares-García, M. (2008). Bactericidal activity of phosphoric acid, citric acid, and EDTA solutions against Enterococcus faecalis. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 106(2), e84–e89. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2008.04.002>
- Asnaashari, M., Homayuni, H., & Paymanpour, P. (2016). The Antibacterial Effect of Additional Photodynamic Therapy in Failed Endodontically Treated Teeth: A Pilot Study. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 7(4), 238–242. <https://doi.org/10.15171/jlms.2016.42>
- Athanassiadis, B., Abbott, P., & Walsh, L. (2007). The use of calcium hydroxide, antibiotics and biocides as antimicrobial medicaments in endodontics. *Australian Dental Journal*, 52(s1). <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2007.tb00527.x>
- Bago, I., Plečko, V., Gabrić Pandurić, D., Schauerl, Z., Baraba, A., & Anić, I. (2013). Antimicrobial efficacy of a high-power diode laser, photo-activated disinfection, conventional and sonic activated irrigation during root canal treatment. *International Endodontic Journal*, 46(4), 339–347. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02120.x>
- Ball, D. J., Luo, Y., Kessel, D., Griffiths, J., Brown, S. B., & Vernon, D. I. (1998). The induction of apoptosis by a positively charged methylene blue derivative. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 42(2), 159–163. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(98\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(98)00061-X)
- Baltazar, L. M., Ray, A., Santos, D. A., Cisalpino, P. S., Friedman, A. J., & Nosanchuk, J. D. (2015). Antimicrobial photodynamic therapy: an effective alternative approach to control fungal infections. *Frontiers in Microbiology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00202>
- Bergmans, L., Moisiadis, P., Huybrechts, B., Van Meerbeek, B., Quirynen, M., & Lambrechts, P. (2008). Effect of photo-activated disinfection on endodontic pathogens *ex vivo*. *International Endodontic Journal*, 41(3), 227–239. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01344.x>
- Bjarnsholt, T. (2013). The role of bacterial biofilms in chronic infections. *APMIS*, 121(s136), 1–58. <https://doi.org/10.1111/apm.12099>
- Bliss, J. M., Bigelow, C. E., Foster, T. H., & Haidaris, C. G. (2004). Susceptibility of Candida species to photodynamic effects of photofrin. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 48(6), 2000–2006. <https://doi.org/10.1128/AAC.48.6.2000-2006.2004>
- Çalt, S., & Serper, A. (2002). Time-Dependent Effects of EDTA on Dentin Structures. *Journal of Endodontics*, 28(1), 17–19. <https://doi.org/10.1097/00004770-200201000-00004>
- Calzavara-Pinton, P., Rossi, M. T., Sala, R., & Venturini, M. (2012). Photodynamic Antifungal Chemotherapy. *Photochemistry and Photobiology*, 88(3), 512–522. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2012.01107.x>
- Carvalho, E. dos S., Mello, I., Albergaria, S. J., Habitante, S. M., Lage-Marques, J. L., & Raldi, D. P. (2011). Effect of Chemical Substances in Removing Methylene Blue After Photodynamic Therapy in Root Canal Treatment. *Photomedicine and Laser Surgery*, 29(8), 559–563. <https://doi.org/10.1089/pho.2010.2922>

- Chrepa, V., Kotsakis, G. A., Pagonis, T. C., & Hargreaves, K. M. (2014). The effect of photodynamic therapy in root canal disinfection: a systematic review. *Journal of Endodontics*, *40*(7), 891–898. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.03.005>
- Cieplik, F., Deng, D., Crielaard, W., Buchalla, W., Hellwig, E., Al-Ahmad, A., & Maisch, T. (2018). Antimicrobial photodynamic therapy – what we know and what we don't. *Critical Reviews in Microbiology*, *44*(5), 571–589. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2018.1467876>
- Coelho, M. S., Vilas-Boas, L., & Tawil, P. Z. (2019). The effects of photodynamic therapy on postoperative pain in teeth with necrotic pulps. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, *27*, 396–401. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2019.07.002>
- Dahl, Thomas A., Robert Middenand, W., & Hartman, Philip E. (1987). PURE SINGLET OXYGEN CYTOTOXICITY FOR BACTERIA. *Photochemistry and Photobiology*, *46*(3), 345–352. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1987.tb04779.x>
- De-Deus, G., Zehnder, M., Reis, C., Fidel, S., Fidel, R. A. S., Galan, J., & Paciornik, S. (2008). Longitudinal Co-site Optical Microscopy Study on the Chelating Ability of Etidronate and EDTA Using a Comparative Single-tooth Model. *Journal of Endodontics*, *34*(1), 71–75. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.09.020>
- DeRosa, M. (2002). Photosensitized singlet oxygen and its applications. *Coordination Chemistry Reviews*, *233–234*, 351–371. [https://doi.org/10.1016/S0010-8545\(02\)00034-6](https://doi.org/10.1016/S0010-8545(02)00034-6)
- Do, Q. L., & Gaudin, A. (2020). The Efficiency of the Er: YAG Laser and Photon Induced Photoacoustic Streaming (PIPS) as an Activation Method in Endodontic Irrigation: A Literature Review. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, *11*(3), 316–334. <https://doi.org/10.34172/jlms.2020.53>
- Dobson, J., & Wilson, M. (1992). Sensitization of oral bacteria in biofilms to killing by light from a low-power laser. *Archives of Oral Biology*, *37*(11), 883–887. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(92\)90058-G](https://doi.org/10.1016/0003-9969(92)90058-G)
- Dougherty, T. J., Gomer, C. J., Henderson, B. W., Jori, G., Kessel, D., Korbek, M., Moan, J., & Peng, Q. (1998). Photodynamic Therapy. *JNCI Journal of the National Cancer Institute*, *90*(12), 889–905. <https://doi.org/10.1093/jnci/90.12.889>
- Dutner, J., Mines, P., & Anderson, A. (2012). Irrigation Trends among American Association of Endodontists Members: A Web-based Survey. *Journal of Endodontics*, *38*(1), 37–40. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.08.013>
- Figueiredo, R. A., Anami, L. C., Mello, I., Carvalho, E. dos S., Habitante, S. M., & Raldi, D. P. (2014). Tooth Discoloration Induced by Endodontic Phenothiazine Dyes in Photodynamic Therapy. *Photomedicine and Laser Surgery*, *32*(8), 458–462. <https://doi.org/10.1089/pho.2014.3722>
- Fonseca, M. B., Júnior, P. O. T., Pallota, R. C., Filho, H. F., Denardin, O. V. P., Rapoport, A., Dedivitis, R. A., Veronezi, J. F., Genovese, W. J., & Ricardo, A. L. F. (2008). Photodynamic Therapy for Root Canals Infected with *Enterococcus faecalis*. *Photomedicine and Laser Surgery*, *26*(3), 209–213. <https://doi.org/10.1089/pho.2007.2124>
- Foote, C. S. (1991). DEFINITION OF TYPE I and TYPE II PHOTSENSITIZED OXIDATION. *Photochemistry and Photobiology*, *54*(5), 659–659. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1991.tb02071.x>
- Foschi, F., Fontana, C. R., Ruggiero, K., Riahi, R., Vera, A., Doukas, A. G., Pagonis, T. C., Kent, R., Stashenko, P. P., & Soukos, N. S. (2007). Photodynamic inactivation of *Enterococcus faecalis* in dental root canals in vitro. *Lasers in Surgery and Medicine*, *39*(10), 782–787. <https://doi.org/10.1002/lsm.20579>
- Friedman, S. (2017). Prognosis of Healing in Treated Teeth with Endodontic Infections. In *Endodontic Microbiology* (pp. 341–384). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119080343.ch15>
- Gaeta, C., Marruganti, C., Ali, I. A. A., Fabbro, A., Pinzauti, D., Santoro, F., Neelakantan, P., Pozzi, G., & Grandini, S. (2023). The presence of *Enterococcus faecalis* in saliva as a risk factor for endodontic infection. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1061645>

- Giusti, J. S. M., Santos-Pinto, L., Pizzolito, A. C., Helmersson, K., Carvalho-Filho, E., Kurachi, C., & Bagnato, V. S. (2008). Antimicrobial Photodynamic Action on Dentin Using a Light-Emitting Diode Light Source. *Photomedicine and Laser Surgery*, 26(4), 281–287. <https://doi.org/10.1089/pho.2007.2149>
- Gluckman, J. L. (1991). Hematoporphyrin photodynamic therapy: Is there truly a future in head and neck oncology? Reflections on a 5-year experience. *The Laryngoscope*, 101(1), 36–42. <https://doi.org/10.1288/00005537-199101000-00007>
- Gomes-Filho, J. E., Sivieri-Araujo, G., Sipert, C. R., da Silva Santos, L. M., de Azevedo Queiroz, Í. O., Men Martins, C., do Carmo Maia, N. K., Cintra, L. T. A., Dezan-Junior, E., Bagnato, V. S., Chaves-Neto, A. H., & de Oliveira, S. H. P. (2016). Evaluation of photodynamic therapy on fibroblast viability and cytokine production. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 13, 97–100. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2016.01.007>
- Gulabivala, K., Ng, Y.-L., Gilbertson, M., & Eames, I. (2010). The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiological Measurement*, 31(12), R49–R84. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/31/12/R01>
- Gursoy, H., Ozcakir-Tomruk, C., Tanalp, J., & Yılmaz, S. (2013). Photodynamic therapy in dentistry: a literature review. *Clinical Oral Investigations*, 17(4), 1113–1125. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0845-7>
- Haron, S., Khabeer, A., & Faridi, M. (2021). Light-activated disinfection in endodontics: A comprehensive review. *Dental and Medical Problems*, 58(3), 411–418. <https://doi.org/10.17219/dmp/133892>
- Hülsmann, M., Heckendorff, M., & Lennon, Á. (2003). Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *International Endodontic Journal*, 36(12), 810–830. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2003.00754.x>
- Jerjes, W., Upile, T., Betz, C. S., El Maaytah, M., Abbas, S., Wright, A., & Hopper, C. (2007). The Application of Photodynamic Therapy in the Head and Neck. *Dental Update*, 34(8), 478–486. <https://doi.org/10.12968/denu.2007.34.8.478>
- Juzeniene, A., & Moan, J. (2007). The history of PDT in Norway. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 4(2), 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2006.11.001>
- Klotz, L., Pellieux, C., Briviba, K., Pierlot, C., Aubry, J., & Sies, H. (1999). Mitogen-activated protein kinase (p38-, JNK-, ERK-) activation pattern induced by extracellular and intracellular singlet oxygen and UVA. *European Journal of Biochemistry*, 260(3), 917–922. <https://doi.org/10.1046/j.1432-1327.1999.00255.x>
- Konopka, K., & Goslinski, T. (2007). Photodynamic Therapy in Dentistry. *Journal of Dental Research*, 86(8), 694–707. <https://doi.org/10.1177/154405910708600803>
- Kübler, A. C. (2005). Photodynamic therapy. *Medical Laser Application*, 20(1), 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.mla.2005.02.001>
- Lopes, C. S., de Azevedo Moreira, S., Nicoli, G. A., Ramirez, I., & Viola, N. V. (2019). Endodontical treatment of periapical tooth injury with photodynamic therapy: Case report. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 28, 253–255. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2019.09.002>
- Love, R. M. (2001). *Enterococcus faecalis* – a mechanism for its role in endodontic failure. *International Endodontic Journal*, 34(5), 399–405. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2001.00437.x>
- Lyon, J. P., Moreira, L. M., de Moraes, P. C. G., dos Santos, F. V., & de Resende, M. A. (2011). Photodynamic therapy for pathogenic fungi. *Mycoses*, 54(5). <https://doi.org/10.1111/j.1439-0507.2010.01966.x>
- Mazzoni, A., Pacifici, A., Zanza, A., Giudice, A. Del, Reda, R., Testarelli, L., Gambarini, G., & Pacifici, L. (2020). Assessment of Real-Time Operative Torque during Nickel–Titanium Instrumentation with Different Lubricants. *Applied Sciences*, 10(18), 6201. <https://doi.org/10.3390/app10186201>
- McDonnell, G., & Russell, A. D. (1999). Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action, and Resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(1), 147–179. <https://doi.org/10.1128/CMR.12.1.147>

- Meisel, P., & Kocher, T. (2005). Photodynamic therapy for periodontal diseases: State of the art. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 79(2), 159–170. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2004.11.023>
- Moan, J., & Peng, Q. (2003). An outline of the hundred-year history of PDT. *Anticancer Research*, 23(5A), 3591–3600.
- Mustafa, M., Almnea, R., Ajmal, M., Alamri, H. M., Abdulwahed, A., & Divakar, D. D. (2021). Efficacy of root canal treatment in c-shaped canals with adjunctive photodynamic therapy using micro-CT. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 34, 102257. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2021.102257>
- Nagata, J. Y., Hioka, N., Kimura, E., Batistela, V. R., Terada, R. S. S., Graciano, A. X., Baesso, M. L., & Hayacibara, M. F. (2012). Antibacterial photodynamic therapy for dental caries: Evaluation of the photosensitizers used and light source properties. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 9(2), 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2011.11.006>
- Nagayoshi, M., Nishihara, T., Nakashima, K., Iwaki, S., Chen, K.-K., Terashita, M., & Kitamura, C. (2011). Bactericidal Effects of Diode Laser Irradiation on *Enterococcus faecalis* Using Periapical Lesion Defect Model. *ISRN Dentistry*, 2011, 1–6. <https://doi.org/10.5402/2011/870364>
- Nair, P. N. R., Henry, S., Cano, V., & Vera, J. (2005). Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after “one-visit” endodontic treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 99(2), 231–252. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2004.10.005>
- Nakamura, V. C., Pinheiro, E. T., Prado, L. C., Silveira, A. C., Carvalho, A. P. L., Mayer, M. P. A., & Gavini, G. (2018). Effect of ultrasonic activation on the reduction of bacteria and endotoxins in root canals: a randomized clinical trial. *International Endodontic Journal*, 51(S1). <https://doi.org/10.1111/iej.12783>
- Narayanan, L., & Vaishnavi, C. (2010). Endodontic microbiology. *Journal of Conservative Dentistry*, 13(4), 233. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.73386>
- Neelakantan, P., Cheng, C. Q., Ravichandran, V., Mao, T., Sriraman, P., Sridharan, S., Subbarao, C., Sharma, S., & Kishen, A. (2015). Photoactivation of curcumin and sodium hypochlorite to enhance antibiofilm efficacy in root canal dentin. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 12(1), 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2014.10.011>
- Okamoto, H., Iwase, T., & Morioka, T. (1992). Dye-mediated bactericidal effect of He-Ne laser irradiation on oral microorganisms. *Lasers in Surgery and Medicine*, 12(4), 450–458. <https://doi.org/10.1002/lsm.1900120415>
- Ordinola-Zapata, R., Bramante, C. M., Cavenago, B., Graeff, M. S. Z., Gomes de Moraes, I., Marciano, M., & Duarte, M. A. H. (2012). Antimicrobial effect of endodontic solutions used as final irrigants on a dentine biofilm model. *International Endodontic Journal*, 45(2), 162–168. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01959.x>
- Pagonis, T. C., Chen, J., Fontana, C. R., Devalapally, H., Ruggiero, K., Song, X., Foschi, F., Dunham, J., Skobe, Z., & Yamazaki, H. (2010). Nanoparticle-based Endodontic Antimicrobial Photodynamic Therapy. *Journal of Endodontics*, 36(2), 322–328. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.10.011>
- Paster, B. J., & Dewhirst, F. E. (2000). Phylogenetic foundation of spirochetes. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 2(4), 341–344.
- Pinheiro, S. L., Schenka, A. A., Neto, A. A., de Souza, C. P., Rodriguez, H. M. H., & Ribeiro, M. C. (2009). Photodynamic therapy in endodontic treatment of deciduous teeth. *Lasers in Medical Science*, 24(4), 521–526. <https://doi.org/10.1007/s10103-008-0562-2>
- Plaetzer, K., Krammer, B., Berlanda, J., Berr, F., & Kiesslich, T. (2009). Photophysics and photochemistry of photodynamic therapy: fundamental aspects. *Lasers in Medical Science*, 24(2), 259–268. <https://doi.org/10.1007/s10103-008-0539-1>

- Poggio, C., Arciola, C. R., Dagna, A., Florindi, F., Chiesa, M., Saino, E., Imbriani, M., & Visai, L. (2011). Photoactivated Disinfection (PAD) in Endodontics: an *in vitro* Microbiological Evaluation. *The International Journal of Artificial Organs*, *34*(9), 889–897. <https://doi.org/10.5301/ijao.5000056>
- Radcliffe, C. E., Potouridou, L., Qureshi, R., Hababbeh, N., Qualtrough, A., Worthington, H., & Drucker, D. B. (2004). Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*, *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis*. *International Endodontic Journal*, *37*(7), 438–446. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2004.00752.x>
- Ramalho, K. M., Cunha, S. R., Mayer-Santos, E., Eduardo, C. de P., Freitas, P. M. de, Aranha, A. C. C., & Moura-Netto, C. (2017). In vitro evaluation of methylene blue removal from root canal after Photodynamic Therapy. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, *20*, 248–252. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2017.10.024>
- Ricucci, D., Lopes, W. S. P., Loghin, S., Rôças, I. N., & Siqueira, J. F. (2018). Large Bacterial Floc Causing an Independent Extraradicular Infection and Posttreatment Apical Periodontitis: A Case Report. *Journal of Endodontics*, *44*(8), 1308–1316. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.05.009>
- Ricucci, D., & Siqueira, J. F. (2010). Biofilms and Apical Periodontitis: Study of Prevalence and Association with Clinical and Histopathologic Findings. *Journal of Endodontics*, *36*(8), 1277–1288. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.04.007>
- Rossoni, R. D., Junqueira, J. C., Santos, E. L. S., Costa, A. C. B., & Jorge, A. O. C. (2010). Comparison of the efficacy of Rose Bengal and erythrosin in photodynamic therapy against Enterobacteriaceae. *Lasers in Medical Science*, *25*(4), 581–586. <https://doi.org/10.1007/s10103-010-0765-1>
- Sainudeen, S., Nair, V., ZARBah, M., Abdulla, A., Najeeb, C., & Ganapathy, S. (2020). Can herbal extracts serve as antibacterial root canal irrigating solutions? Antimicrobial efficacy of *Tylophora indica*, *Curcumin longa*, *Phyllanthus amarus*, and sodium hypochlorite on *Enterococcus faecalis* biofilms formed on tooth substrate: In vitro study. *Journal of Pharmacy And Bioallied Sciences*, *12*(5), 423. https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_127_20
- Santezi, C., Reina, B. D., & Dovigo, L. N. (2018a). Curcumin-mediated Photodynamic Therapy for the treatment of oral infections—A review. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, *21*, 409–415. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2018.01.016>
- Santezi, C., Reina, B. D., & Dovigo, L. N. (2018b). Curcumin-mediated Photodynamic Therapy for the treatment of oral infections—A review. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, *21*, 409–415. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2018.01.016>
- Sedgley, C. (2004). Root canal irrigation—a historical perspective. *Journal of the History of Dentistry*, *52*(2), 61–65.
- Severino, D., Junqueira, H. C., Gugliotti, M., Gabrielli, D. S., & Baptista, M. S. (2003). Influence of Negatively Charged Interfaces on the Ground and Excited State Properties of Methylene Blue. *Photochemistry and Photobiology*, *77*(5), 459. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2003\)077<0459:IONCIO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2003)077<0459:IONCIO>2.0.CO;2)
- Shahravan, A., Haghdoost, A., Adl, A., Rahimi, H., & Shadifar, F. (2007). Effect of Smear Layer on Sealing Ability of Canal Obturation: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Endodontics*, *33*(2), 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.10.007>
- Sharwani, A., Jerjes, W., Salih, V., MacRobert, A. J., El-Maaytah, M., Khalil, H. S. M., & Hopper, C. (2006). Fluorescence spectroscopy combined with 5-aminolevulinic acid-induced protoporphyrin IX fluorescence in detecting oral premalignancy. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *83*(1), 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2005.11.007>
- Sigusch, B. W., Pfitzner, A., Albrecht, V., & Glockmann, E. (2005). Efficacy of Photodynamic Therapy on Inflammatory Signs and Two Selected Periodontopathogenic Species in a Beagle Dog Model. *Journal of Periodontology*, *76*(7), 1100–1105. <https://doi.org/10.1902/jop.2005.76.7.1100>

- Sjögren, U., Figdor, D., Spangberg, L., & Sundqvist, G. (1991). The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *International Endodontic Journal*, 24(3), 119–125. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1991.tb00117.x>
- Soukos, N. S., & Goodson, J. M. (2011). Photodynamic therapy in the control of oral biofilms. *Periodontology 2000*, 55(1), 143–166. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.2010.00346.x>
- Souza, M. A., Pazinato, B., Bischoff, K. F., Palhano, H. S., Cecchin, D., & de Figueiredo, J. A. P. (2017). Influence of ultrasonic activation over final irrigants in the removal of photosensitizer from root canal walls after photodynamic therapy. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 17, 216–220. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2016.12.011>
- Spratt, D. A., Pratten, J., Wilson, M., & Gulabivala, K. (2001). An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilms of root canal isolates. *International Endodontic Journal*, 34(4), 300–307. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2001.00392.x>
- Sunde, P. T., Olsen, I., Göbel, U. B., Theegarten, D., Winter, S., Debelian, G. J., Tronstad, L., & Moter, A. (2003). Fluorescence in situ hybridization (FISH) for direct visualization of bacteria in periapical lesions of asymptomatic root-filled teeth. *Microbiology*, 149(5), 1095–1102. <https://doi.org/10.1099/mic.0.26077-0>
- Sundqvist, G. (1994). Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 78(4), 522–530. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(94\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0030-4220(94)90047-7)
- Takasaki, A. A., Aoki, A., Mizutani, K., Schwarz, F., Sculean, A., Wang, C., Koshy, G., Romanos, G., Ishikawa, I., & Izumi, Y. (2009). Application of antimicrobial photodynamic therapy in periodontal and peri-implant diseases. *Periodontology 2000*, 51(1), 109–140. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.2009.00302.x>
- Thomas B, Saatian S, Saecidi R, & et al. (n.d.). *Photodynamic therapy: is it more effective than the current standard of care? An evidence- based study of the literature.*
- Usacheva, M. N., Teichert, M. C., & Biel, M. A. (2001). Comparison of the methylene blue and toluidine blue photobactericidal efficacy against gram-positive and gram-negative microorganisms. *Lasers in Surgery and Medicine*, 29(2), 165–173. <https://doi.org/10.1002/lsm.1105>
- Usacheva, M. N., Teichert, M. C., & Biel, M. A. (2003). The role of the methylene blue and toluidine blue monomers and dimers in the photoinactivation of bacteria. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 71(1–3), 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2003.06.002>
- Van Acker, H., Van Dijck, P., & Coenye, T. (2014). Molecular mechanisms of antimicrobial tolerance and resistance in bacterial and fungal biofilms. *Trends in Microbiology*, 22(6), 326–333. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2014.02.001>
- Vaziri, S., Kangarlou, A., Shahbazi, R., Nazari Nasab, A., & Naseri, M. (2012). Comparison of the bactericidal efficacy of photodynamic therapy, 2.5% sodium hypochlorite, and 2% chlorhexidine against *Enterococcus faecalis* in root canals; an in vitro study. *Dental Research Journal*, 9(5), 613. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.104882>
- Versiani, M. A., Pécora, J. D., & de Sousa-Neto, M. D. (2012). Root and Root Canal Morphology of Four-rooted Maxillary Second Molars: A Micro-Computed Tomography Study. *Journal of Endodontics*, 38(7), 977–982. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.03.026>
- Vertucci, F. J. (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 58(5), 589–599. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(84\)90085-9](https://doi.org/10.1016/0030-4220(84)90085-9)
- Vouzara, T., Koulaouzidou, E., Ziouti, F., & Economides, N. (2016). Combined and independent cytotoxicity of sodium hypochlorite, ethylenediaminetetraacetic acid and chlorhexidine. *International Endodontic Journal*, 49(8), 764–773. <https://doi.org/10.1111/iej.12517>
- Wainwright, M. (1998). Photodynamic antimicrobial chemotherapy (PACT). *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 42(1), 13–28. <https://doi.org/10.1093/jac/42.1.13>

- Wainwright, M., & Crossley, K. B. (2004). Photosensitising agents—circumventing resistance and breaking down biofilms: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53(2), 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2003.11.006>
- Wainwright, M., Phoenix, D. A., Marland, J., Wareing, D. R. A., & Bolton, F. J. (1997). A study of photobactericidal activity in the phenothiazinium series. *FEMS Immunology & Medical Microbiology*, 19(1), 75–80. <https://doi.org/10.1111/j.1574-695X.1997.tb01074.x>
- Wang, Z., Shen, Y., & Haapasalo, M. (2012). Effectiveness of Endodontic Disinfecting Solutions against Young and Old *Enterococcus faecalis* Biofilms in Dentin Canals. *Journal of Endodontics*, 38(10), 1376–1379. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.06.035>
- Willershausen, I., Wolf, T. G., 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), 654–660. <https://doi.org/10.1111/iej.12360>
- Wilson, B. C., & Patterson, M. S. (2008). The physics, biophysics and technology of photodynamic therapy. *Physics in Medicine and Biology*, 53(9), R61–R109. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/53/9/R01>
- Wilson, M., Dobson, J., & Sarkar, S. (1993). Sensitization of periodontopathogenic bacteria to killing by light from a low-power laser. *Oral Microbiology and Immunology*, 8(3), 182–187. <https://doi.org/10.1111/j.1399-302X.1993.tb00663.x>
- Wilson, M., & Pratten, J. (1995). Lethal photosensitisation of *Staphylococcus aureus* in vitro: Effect of growth phase, serum, and pre-irradiation time. *Lasers in Surgery and Medicine*, 16(3), 272–276. <https://doi.org/10.1002/lsm.1900160309>

