

Ekim 2024

DİŞ HEKİMLİĞİ

ALANINDA ULUSLARARASI ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER

EDİTÖRLER

PROF. DR. HATİCE EBRU OLGUN

DOÇ. DR. MELTEM KARŞIYAKA HENDEK

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2024

ISBN • 978-625-6319-99-8

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

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

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.serüvenyayınevi.com

e-mail: serüvenyayınevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

DİŞ HEKİMLİĞİ ALANINDA ULUSLARARASI ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER

Ekim 2024

Editörler

PROF. DR. HATİCE EBRU OLGUN
DOÇ. DR. MELTEM KARŞIYAKA HENDEK

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

GÜNCEL PRE-MIX (ÖNCEDEN KARIŞTIRILMIŞ) KALSİYUM SİLİKAT
ESASLI BİYOSERAMİK KÖK KANAL PATLARININ İNCELENMESİ

Neslihan YILMAZ ÇIRAKOĞLU..... 1

Bölüm 2

İLACA İLİŞKİN ÇENE OSTEONEKROZUNUN (MRONJ) KLİNİK
ÖNCESİ RADYOGRAFİK DEĞERLENDİRİLMESİ, RİSK FAKTÖRLERİ,
TEDAVİ STRATEJİLERİNİN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ: BİR DERLEME

Nazan KOÇAK TOPBAŞ 17

Lütfiye BAYSAL 17

Bölüm 3

İRRİGASYON AKTİVASYON SİSTEMLERİ

Büşra FİDANOĞLU..... 35

Pelin TÜFENKÇİ..... 35

Merve SARI..... 35

Bölüm 4

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİNDE NANOMATERYALLERİN KULLANIMI

Behiç Selman Erdoğan 61

Meryem Erdoğan..... 61

Bölüm 5

LAZERİN ENDODONTİDEKİ YERİ

Cansu Onat..... 91

Mehmet Eskibağlar..... 91

Bölüm 6

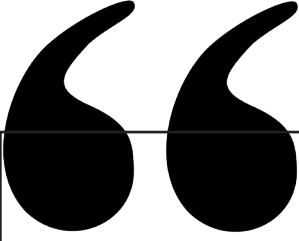
MELKERSSON-ROSENTHAL SENDROMU TANISI, ETİYOLOJİSİ VE
TEDAVİ YÖNTEMLERİ : BİR DERLEME

<i>Nazan KOÇAK TOPBAŞ</i>	115
<i>Lütfiye BAYSAL</i>	115

Bölüm 7

GÜNCEL İRRİGASYON AKTİVASYON YÖNTEMLERİ

<i>Neslihan YILMAZ ÇIRAKOĞLU</i>	125
--	-----



Bölüm 1

GÜNCEL PRE-MIX (ÖNCEDEN KARIŞTIRILMIŞ) KALSİYUM SİLİKAT ESASLI BİYOSERAMİK KÖK KANAL PATLARININ İNCELENMESİ

Neslihan YILMAZ ÇIRAKOĞLU¹

¹ Doç. Dr.; Karabük Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı,
neslihanyilmazcirakoglu@karabuk.edu.tr ORCID No: 0000-0002-8316-3133

Giriş

Kök ucu cerrahisinde dolgu malzemesi olarak ilk kullanılmalarından itibaren kalsiyum silikat esaslı malzemeler mükemmel sızdırmazlık kabiliyeti göstermiştir ve nem varlığında (kan, tükrük vb.) dahi sertleşebilmiştir (Torabinejad ve Chivian, 1999; Niu vd., 2014; Prati ve Gandolfi, 2015; Khalil vd., 2016; Primus vd., 2022).

Kalsiyum silikat bazlı materyaller (esas olarak CaSi parçacıkları içerenler) bir dizi in-vitro çalışma (hücre çalışmaları) (Matsumoto vd., 2013; Gandolfi vd., 2011) ve ex-vivo (hayvan modellerinde) (Reyes-Carmona vd., 2010; Reyes-Carmona vd., 2011; Gandolfi vd., 2017) gösterildiği üzere yüksek biyouyumluluk ve istenen biyolojik özellikler taşımaktadır. Biyolojik dokularla olan bu olumlu etkileşimler onların biyolojik etkileşimli iyonlar (Ca gibi) salmasına (Mizuno ve Banzai, 2008; Sun vd., 2009; Gandolfi vd., 2015; Gandolfi vd., 2015) ve hidrasyon reaksiyonundan hemen sonra başlayan (Taddei vd., 2009; Gandolfi vd., 2011) yüzeyde apatit tabakasının çekirdeklenmesine bağlanmaktadır (Gandolfi vd., 2010; Gandolfi vd., 2010). Bu özellikleri nedeniyle kalsiyum silikat esaslı materyaller açık apeksli dişlerde apikal tıkaç oluşturma ve perforasyon tamiri gibi karmaşık endodontik vakalara yaklaşımda önemli bir rol edinmişlerdir (Niu vd., 2014; Primus vd., 2022). İlk nesil kalsiyum silikat esaslı materyaller uzun sertleşme süreleri, düşük radyoopasite, uygulama zorlukları, gri renkleşme yapmaları gibi bazı olumsuz özellikleri nedeniyle kök kanal patı olarak kullanılamamışlardır (Parirokh ve Torabinejad, 2010; Camilleri ve Gandolfi, 2010). Bu olumsuzlukların üstesinden gelmek için bu endodontik materyallere bazı modifikasyonlar yapılmış ve kalsiyum silikat bazlı kök kanal patları 10-15 yıl önce toz-likit ya da pat-pat formülasyonlarında piyasaya sunulmuştur (Prati ve Gandolfi, 2015; Primus vd., 2022; Sfeir vd., 2021).

Özellikle son yıllarda kök kanal tedavileri için önceden karıştırılmış akıcı patlar piyasaya sürülmüştür ve bu patlar araştırmacılar ve klinisyenler arasında giderek daha popüler hale gelmektedir. Tek bir şırınga ya da kapsülde “pre-mixed” (önceden karıştırılmış) format; daha kolay kullanım ve uygulama rahatlığı sağlarken, aynı zamanda malzemenin olumlu biyolojik özelliklerini korumaktadır. Diğer formülasyonlardan farklı olarak bu malzemeler kullanıma hazırdır ve nem varlığında sertleştikleri için karıştırılmaya ihtiyaç duymazlar. Son zamanlarda CaSi esaslı malzemeler genel olarak “biyoseramikler” olarak adlandırılmıştır. Bu noktada “seramik” tanımının spesifik bir terim olmadığı; metalik ve metal olmayan elementlerin birleşiminden oluşan inorganik materyale atıfta bulunduğunu belirtmek gerekir. “Biyoseramik” terimi ise; seramik materyalin zarar görmüş kemik dokusunun yerini alma ya da tamiri gibi alanlarda kullanıldığında materyalin olumlu biyolojik özelliklerini vurgulamak amacıyla kullanılmıştır. Biyoseramikler direkt olarak çevreyen doku ile etkileşim içindedir. Ayrıca doku gelişimini destekleme ve

yeni doku rejenerasyonunu indüklemeye özelliğine sahiptirler (Roy vd., 2017). Bu nedenle “biyoseramik” teriminin anlamı daha geneldir ve spesifik olarak CaSi esaslı materyalleri ifade etmez. Kalsiyum silikat esaslı materyaller için çevrelediği periapikal dokularla inflamasyon ya da yabancı cisim reaksiyonu göstermeden pozitif bir etkileşimde olduğu rapor edilmiştir (Reyes-Carmona vd., 2010; Reyes-Carmona vd., 2011; Gandolfi vd., 2017). Bu yeni biyoseramikler; kompozisyonlarına farklı radyoopasite verici maddeler ve farklı oranlarda CaSi eklenmesi sonucu geliştirilmiştir.

Yakın bir tarihte benzer kimyasal kompozisyona sahip üç adet önceden karıştırılmış kalsiyum silikat esaslı malzeme piyasaya sürülmüştür. Bunlar iRoot SP (Innovative Bioceramics, Vancouver, BC, Canada), EndoSequence BC sealer (Brasseler USA, Savannah, GA, USA) ve EndoSequence BC sealer HiFlow (Brasseler USA, Savannah, GA, USA)’dur (Kov d., 2020; Almeida vd., 2017). Kalsiyum silikatlar, kalsiyum fosfat monobazik, zirkonyum oksit, trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat ve kalsiyum hidroksit bu kök kanal patlarının ana bileşenleridir (Wang 2015). Ceraseal; bioaktif bileşenler olarak trikalsiyum silikat (%20-30) ve dikalsiyum silikat ((% 1-10), radyoopasite verici ajan olarak ise trikalsiyum alüminat (%1-10) ve zirkonyum dioksit (% 45-50) içeren önceden karıştırılmış bir biyoseramik kök kanal patıdır. Üretici firma tarafından eser miktarda kıvam artırıcı ajan olduğu da belirtilmektedir. NeoSealer Flo; bioaktif bileşenler olarak trikalsiyum silikat (<%25) ve dikalsiyum silikat (<% 10), radyoopasite verici ajan olarak ise kalsiyum alüminat (<%25), kalsiyum alüminyum oksit (grosit) (<%6), trikalsiyum alüminat (<%5) ve tantalit (%50) içeren önceden karıştırılmış bir bioseramik kök kanal patıdır. Ayrıca eser miktarda kalsiyum sülfat (% <1) olduğu rapor edilmiştir. AH Plus Biyoseramik büyük oranda (%50-70) radyoopasite verici ajan olarak zirkonyum dioksit ve bioaktif bileşenler olarak ise trikalsiyum silikat (%10-15) içeren önceden karıştırılmış bir bioseramik kök kanal patıdır. Dimetil sülfoksit ve eser miktarda lityum karbonat ve kıvam artırıcı ajan bulunduğu rapor edilmiştir.,

Bu bölümün amacı son yıllarda piyasaya sunulan önceden karıştırılmış biyoseramik kök kanal patlarının biyoaktivitesini, antimikrobiyal özelliklerini ve fiziksel-kimyasal özelliklerini ortaya koymaktır. Bu amaçla iyon salınımı, sertleşme zamanı, radyoopasite, açık gözenek hacmi, su emilimi, çözünürlük, akışkanlık ve film kalınlığı, apatit çekirdekleştirme gibi klinik olarak önemli bazı fiziksel ve kimyasal özellikler geleneksel epoksi rezin esaslı bir kök kanal patı olan Ah Plus ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilecektir.

Antimikrobiyal ve Antibiyofilm Özellikleri

Bu üç önceden karıştırılmış kök kanal patı biyoyumluluk, mükemmel sızdırmazlık yeteneği ve yüksek antimikrobiyal aktiviteye sahiptir (Zhang vd., 2019). Biyoseramik kök kanal patları uzun süreli antimikrobiyal aktivi-

te sağlama avantajına sahiptirler (Marashdeh vd., 2021). Diğer tip kök kanal patları (epoksi rezin esaslılar) sertleştikten sonra antimikrobiyal aktivitelerini kaybedebilirler (Wang vd., 2014). Yapılan bir çalışmada bir biyoseramik kök kanal patının pattan ve dentin minerallerinden gelen kalsiyum silikatlar/fosfatlar tarafından indüklenen biyomineralizasyon süreci sayesinde 30 güne kadar süren uzun süreli bir antimikrobiyal yeteneğe sahip olduğu rapor edilmiştir (Komabayashi vd., 2020). Dentinden gelen nem kök kanal ortamında yüksek pH'ı korumak için kalsiyum silikat hidrojeni ve kalsiyum hidroksit üretmek yoluyla hidrasyon reaksiyonunu teşvik eder (Marashdeh vd., 2021). Yüksek pH'lı bir ortamda çözünen silika bakteriyel canlılığı doğrudan engeller (Zehnder vd., 2006).

Fresh iRoot SP'nin; yapılan bir çalışmada yedi farklı kök kanal patı arasında deneysel periyotlarda en yüksek pH değerine sahip olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca iRoot SP; doğrudan yapılan bir kontakt testi yardımıyla *E. Faecalis*'i etkin bir şekilde öldürmüştür (Marashdeh vd., 2021). Konfokal lazer tarama mikroskobu da taze olarak karıştırılmış EndoSequence BC patının dentin tübüllerindeki *E. Faecalis*'i etkili bir şekilde öldürdüğünü göstermiştir (Du vd., 2015). Diğer bir çalışma Endosequence BC Sealer'ın dentin enfeksiyon modelinde 8 haftalık *E. faecalis* biyofilmine karşı oldukça yüksek antimikrobiyal aktivite sergilediğini göstermiştir (Bukhari ve Karabucak, 2019). Buna karşılık daha önceki bir çalışma taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında incelendiğinde Endosequence BC patının *E. faecalis* üzerinde herhangi bir antimikrobiyal etkisinin olmadığını bildirmiştir (Willershausen vd., 2011). Çalışmalardan elde edilen farklı sonuçlar uygulanan farklı metodolojilerden kaynaklanabilir. Taramalı elektron mikroskobu yüksek büyütmede substrat üzerinde tüm biyofilm üremesinin izlenmesi için sınırlı görüş alanına sahip olan ve daha çok niteliksel bir yöntemdir (Willershausen vd., 2011). Bakteri öldürme etkisinin değerlendirilebilmesi için SEM kullanılırken görüş alanı daha küçük bir alanla sınırlandırılabilir (Willershausen vd., 2011). Buna karşılık canlılık boyaması ile konfokal lazer tarama mikroskobu altında yapılan bir çalışma; düşük büyütmede her örneğin birden fazla alanında tarama yapılmasına izin vermiştir (Du vd., 2015). *E. faecalis* biyofilmini öldürme etkisi için daha genel bir değerlendirme uygulanabilir (Du vd., 2015). Ayrıca üç boyutlu yeniden yapılandırma yazılımı kullanılarak elde edilen konfokal verilerden nicel sonuçlar da elde edilebilir. Ayrıca başka bir çalışmada EndoSequence BC patının AH Plus patıyla karşılaştırıldığında dentin enfeksiyonu modelinde *E. faecalis*'e karşı benzer antibiyofilm etkisi gösterdiği rapor edilmiştir (Komabayashi vd., 2020). Ancak; AH Plus'un *C. Albicans*'a karşı antifungal aktivitesi iRoot SP'den daha yüksek bulunmuştur.

Diğer bir önceden karıştırılmış kalsiyum silikat esaslı kök kanal patı olan TotalFill BC (FKG Swiss Endo, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) dentinde bulunan *E. faecalis* biyofilminin %40'ından fazlasını öldürmektedir (Alsubait

vd., 2019). Ayrıca yapılan çalışmalarda direkt kontakt testi ve konfokal lazer tarama mikroskobu (Bose vd., 2020) kullanılarak yapılan analizlerde tek türlü (Kapralos vd., 2018) ve çoklu türlü (Colombo vd., 2018) endodontik biyofilm karşı etkili antimikrobiyal aktivite göstermiştir. (Zordan-Bronzel vd., 2019). Yapılan son bir çalışmada modifiye doğrudan temas testi kullanılarak TotalFill BC'nin Ah Plus kök kanal patından daha yüksek antimikrobiyal etkinliğe sahip olduğu gösterilmiştir (Zordan-Bronzel vd., 2019).

Başlangıç-Final Sertleşme Süreleri ve Radyoopasite

Zamparini ve ark'nın yaptıkları çalışmada buldukları sertleşme sürelerine göre; Ceraseal en kısa başlangıç sertleşme süresine sahipken; NeoSealer Flo en uzun sertleşme zamanına sahiptir. Ceraseal ve Ah Plus Bioseramik benzer final sertleşme süresine sahipken; NeoSealer Flo ve Ah Plus belirgin olarak daha uzun final sertleşme süresine sahiptir ($p < 0.05$). Tüm kök kanal patları ISO 6876/12 ile uyumludur ve farklı radyoopasite değerlerine sahiptir; genellikle 3.0 mmAl'den fazladır. Özellikle NeoSealer Flo en düşük değeri ve Ah Plus en yüksek değeri göstermiştir. Ah Plus Bioseramik ve Ceraseal ise orta değerler göstermiştir (Zamparini vd., 2022).

Pat Akışkanlığı ve Film Kalınlığı

Zamparini ve ark.'larının yaptıkları çalışma sonucunda elde ettikleri akışkanlık ve film kalınlığı değerlerine göre; CeraSeal en yüksek akışkanlık ve en düşük film kalınlığı değerlerini gösterirken; NeoSealer Flo en düşük akışkanlık ve en yüksek film kalınlığı değerlerini göstermiştir. Ah Plus Biyoseramik ise orta değerler göstermiştir. Tüm patlar ISO 6876/2012 değerleriyle uyumludur (Zamparini vd., 2022).

Açık Por Hacmi, Su Emilimi ve Çözünürlük

Zamparini ve ark.'larının yaptıkları çalışma sonucunda elde ettikleri açık por hacmi, su Emilimi ve çözünürlük değerlerine göre; NeoSealer Flo ve Ah Plus Biyoseramik, CeraSeal ile karşılaştırıldığında daha yüksek açık por hacmi göstermiştir. Ah Plus CeraSeal ile karşılaştırıldığında benzer çözünürlük gösterirken; daha düşük pörözite ve su Emilimi değerleri göstermiştir (Zamparini vd., 2022).

Alkalizasyon Aktivitesi ve Kalsiyum Salınımı

Zamparini ve ark.'larının yaptıkları çalışma sonucunda tüm kalsiyum silikat esaslı materyaller ıslak ortamın alkalizasyonunu sağlamıştır ve kalsiyum salınımı gerçekleştirmiştir. 14 güne kadar en yüksek ph değerlerini CeraSeal sağlarken, NeoSealer Flo ve Ah Plus Biyoseramik daha düşük alkalizasyon aktivitesi göstermiştir. 28 günde her üç pat da benzer ph değerleri göstermiştir. Ah Plus ortamı alkalileştirmezken; bir günlük suya batırma sonunda ıslatılan suda hafif asitlenme gözlenmiştir. Daha yüksek miktarda

CaSi içeren patlar daha yüksek kümülatif Ca salınımına sahiptir. Bu anlamda CeraSeal en yüksek Ca salınımı göstermiştir. NeoSealer Flo en düşük Ca salınım değeri gösterirken, 14 gün boyunca bu oran önemli oranda azalma göstermiştir. Ah Plus Biyoseramik patın ise 3. ve 7. günün sonundaki değerleri yüksek Ca salınımı yaptığını kanıtlamıştır, sonraki uç noktalarda ise değer azalmıştır. Ah Plus ise Ca iyon salınımı gerçekleştirmemiştir.

Zamparini ve arkadaşları bu üç yeni önceden karıştırılmış biyoseramik kök kanal patının bir dizi fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında şu sonuçları elde etmişlerdir. Bu malzemeler geleneksel bir kök kanal patınınin sabit bir sızdırmazlık sağlayamayacağı kompleks endodontik vakaları (örn; geniş ve kapanmamış kök uçları olduğunda) tedavi etmek için kullanılabilir (Zamparini vd., 2022). Elde edilen veriler ayrıca çalışmada kullanılan önceden karıştırılmış biyoseramik esaslı kök kanal patlarının sertleşme sürelerinin üretici firmaları tarafından belirtilenden daha uzun olduğunu; Ah Plus'ın ise literatürde bildirilenlere benzer olduğunu göstermiştir (Siboni vd., 2017; Baldi vd., 2012). Ayrıca araştırmacılar patların sertleşme reaksiyonu için kullanılan çevresel nemin üreticilerin bildirdiğinden daha uzun sertleşme sürelerine neden olduğunu belirtmişlerdir. Benzer davranış (artan nem içeriğiyle birlikte daha uzun sertleşme süresi görülmesi) daha önce üretilen önceden karıştırılmış biyoseramik esaslı pat olan IRoot hakkında yazılan bir makalede de vurgulanmıştır (Loushine vd., 2011). Bu nedenle araştırmacılar klinisyenlere dişin üst restorasyonunu tamamlamadan önce patın tamamen sertleştiğinden emin olmak için daha uzun süre bekleme önerisinde bulunmuşlardır. Bununla birlikte kök kanalının uygun nem oranını klinik olarak değerlendirmenin zor olduğunu ve patların stabil ve tekrarlanabilir şekilde sertleşmesini sağlayan bir protokolün literatürde henüz olmadığını da belirtmişlerdir.

Dentin tübüllerine iyi penetre olmak ve isthmuslar, sekonder kanallar ve apikal deltalar gibi karmaşık anatomileri sızdırmaz bir şekilde örtmek için, kök kanal patının yüksek akışkanlığa ve yeterli kalınlığa sahip olması gerekir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada tüm önceden karıştırılmış biyoseramik esaslı patların ISO standartlarını karşıladığını ve sonuçların üretici beyanlarında bildirilenlere yakın olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle Ceraseal, AH Plus ile kıyaslanabilir derecede yüksek bir akışkanlık göstermiştir (Zamparini vd., 2022). Bu sonuç; yüksek akışkanlığa sahip patların kullanımının sıklıkla önerildiği soğuk obturasyon tekniklerinde büyük bir avantaj sağlayabilir. AH Plus'ın akışkanlığı ve film kalınlığı daha önce yapılan çalışmalarda bildirilen sonuçlara benzer bulunmuştur (Marciano vd., 2011).

Çalışmanın radyoopasite sonuçlarına bakıldığında; çalışmadaki tüm önceden karıştırılmış biyoseramik kök kanal patlarının AH Plus ile karşılaştırıldığında daha düşük değerler gösterdiği ortaya konulmuştur. Ayrıca materyallerin radyoopasite değerlerinin (NeoSealer Flo'nun 5.5 mm AI, Ah

Plus biyoseramiğin ise 8.6 mm Al) aynı prosedürlerin kullanıldığı daha önceki çalışmalarda bildirilenlerden (BioRoot (Siboni vd., 2017) ve Tech Biosealer Endo (Prati vd., 2015) gibi toz likit biyoaktif patlardan ya da MTA Fiilapex (4.6 mm AL (Demirci vd., 2021) gibi pat-pat olarak karıştırılan biyoseramik patlardan) daha yüksek olduğu görülmüştür. İçlerinde NeoSealer Flo; büyük olasılıkla içeriğinde zirkonyum oksit yerine tantalit bulunması nedeniyle daha düşük radyoopasite değerleri göstermiştir. Olası diş renklenmesi sorunları ve periapikal dokulara yakın yerleştirildiğinde toksisite gösterebilmesi nedeniyle bizmut oksit içeriğe eklenmemiştir (Gandolfi vd., 2017; Gandolfi vd., 2010; Demirci vd., 2021). Üretici firmaya göre AH Plus Biyoseramik yaklaşık %70 zirkonyum oksit içerirken; Cereseal yaklaşık %50 zirkonyum oksit içerir. NeoSealer Flo ise yaklaşık %40-50 tantal pentoksit içerir. AH Plus'ın önemli ölçüde daha yüksek radyoopasite değerleri (11,9 mmAl) göstermesi bu materyalin belirgin olarak farklı bileşimiyle (radyoopaklaştırıcı ajan olarak daha yüksek oranda kalsiyum tungstat ve zirkonyum oksit içermesi) açıklanabilir (Siboni vd., 2017).

Zamparini ve ark'larının yaptıkları çalışmada; araştırılan tüm biyoseramik patların kalsiyum iyonlarını sızdırabilen ve emdirilmiş suyu alkalize edebilen biyoetkileşimli materyaller olduğu gösterilmiştir. Kalsiyum iyonlarının, osteoblastlar gibi mineralize hücreler için güçlü hücre dışı sinyaller olduğu bilinmektedir (Matsumoto vd., 2013; Jung vd., 2010). Bu özellik, kemik defektlerinin varlığında periapikal boşluğu kapatması istenen malzemeler için önemli bir özelliktir. İlginçtir ki, bileşimindeki düşük CaSi miktarına (%5-15) rağmen, AH Plus Biyoseramik yüksek kümülatif kalsiyum salınımı göstermiştir (Zamparini vd., 2022). Ayrıca Cereseal, hem NeoSealer Flo hem de AH Plus Bioseramik ile karşılaştırıldığında en yüksek kalsiyum salınımı ve alkalileştirme aktivitesi değerlerini göstermiştir. Bu değerler; Totalfill BC Sealer (Zamparini vd., 2019), BioRoot RCS (Siboni vd., 2017) ve Neo MTA Plus (Siboni vd., 2017) gibi benzer deneysel koşullar altında test edilen diğer malzemeler için bildirilenlerden önemli ölçüde daha düşüktür. Bu sonuç, analiz edilen malzemelerdeki farklı kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat yüzdelerine bağlanabilir (Zamparini vd., 2022). Cereseal ve NeoSealer Flo, trikalsiyum ve dikalsiyum silikatlara ek olarak kalsiyum alüminat da içerir; AH Plus Bioseramik daha düşük yüzdelerde trikalsiyum silikat içerir.

İçeriklerindeki biyoaktif CaSi parçacıklarının yüzdesi, kök kanal patlarının biyoetkileşimli özelliklerini etkilemiştir. Bu doğrultuda, periapikal kemik defektlerine uygulamak (Forni vd., 2020; Gandolfi vd., 2020) veya pulpal revaskülarizasyon elde etmek için (Ho vd., 2018; Chiu vd., 2017) bu malzemelerin CaSi tozu içeriği artırılarak çok sayıda yeni biyomalzeme geliştirilmiştir. Benzer şekilde kalsiyum alüminatlar sertleşme süresini azaltmak amacıyla CaSi bazlı simanlara eklenmiştir (Oliveira vd., 2013).

Biyointeraktivite (biyolojik olarak ilgili iyonların salınımı), sızdırmada yer alan ve büyük bir yüzey alanı sağlayan suyla dolu gözeneklerin içsel ağını oluşturan yüksek açık gözenek hacmiyle ilişkilidir. İyon salınımı ve su emilimi; kök kanal patının ağ yapısının doğasına ve ayrıca malzemenin su difüzyonuna geçirgenliğine bağlıdır (Gandolfi vd., 2015, Gandolfi vd., 2011). Bu nedenle, yüksek miktarda açık gözenek hacmine sahip kök kanal patları daha fazla su emebilir ve sonuç olarak daha yüksek çözünürlük ve (reaktif CaSi parçacıklarının içeriğiyle uyumlu olarak) daha fazla iyon salınımı gösterebilir. Bu nedenle yapılan çalışmada NeoSealer Flo ve AH Plus Bioseramik daha yüksek çözünürlük, daha fazla açık gözenek hacmi ve daha fazla su emilimi gösterdi (Zamparini vd., 2022). Ancak, in vitro suda test edilen malzemenin daha yüksek çözünürlüğü, in vivo olarak doğrudan negatif bir sonucu göstermez; çünkü apatit ve karbonatın çekirdeklenmesi patın bu çözünme davranışını telafi ederek azaltabilir. MTA benzeri malzemelerin çözünürlüğünün, serum proteini içeren bir ortama daldırıldığında çözünürlüklerinin daha düşük olduğu gösterilmiştir (Gandolfi vd., 2009).

Yapılan ESEM-EDX analizleri HBSS'ye daldırıldıktan sonra malzeme yüzeyinde sınırlı P tepe noktaları olan ve Ca ve C açısından zengin bir tabaka olduğunu kanıtladı. Apatit çekirdeklenme yeteneği ise düşüktü. Bazı durumlarda, örneğin Ceraseal örneklerinde, P iyonu EDX mikroanalizi ile tespit edilemedi. Bu sonuca olası bir açıklama, Zr ve P tepe noktalarının üst üste gelmesi ve bu durumun yüzeylerindeki P varlığını maskeleyebilmesidir (Newbury 2009). Bu üst üste gelme, materyal bileşiminde Zr varlığı nedeniyle P varlığının az görüldüğü tahmin edilen AH Plus Bioseramik'de de bulundu (Zamparini vd., 2022).

Daha önce yapılan bazı çalışmalar, portlanditin hızlı çözünmesi ve siman matrisinden gelen kalsiyum iyonlarının, kalsiyum karbonat içerikli yüzeysel bir tabaka oluşturmak için çevresel karbonat iyonlarıyla reaksiyona girebileceğini bildirmiştir (Gandolfi vd., 2011; Taddei vd., 2011, Gallego vd., 2008). Fosfat çözeltisine ve karbondioksit maruz kalan Portland simanında kalsit kristalleri ve karbonatlı substratlar üzerinde apatit benzeri faz oluşumu bulunmuştur (Tadei vd., 2009; Gandolfi vd., 2011; Gallego vd., 2008). Önceki çalışmalarda, kalsiyum karbonatın kalsit kristal formu olumlu biyolojik aktivite göstermiştir (Tadei vd., 2009, Gandolfi vd., 2011; Zhao vd., 2005; Fujita vd., 1991). Çözünebilir portlandit kristalleri, suda kolayca kararlı kalsit fazına dönüşen kalsiyum karbonat polimorflarının ve/veya yarı-kararlı kalsiyum tuzu kristallerinin çekirdeklenmesine izin verir (Tadei vd., 2009; Zhao vd., 2005). Kalsiyum karbonat yüzeyde ve patın gözenekli yapısında çökebilir ve enfekte periapikal alanlarda faydalı olabilecek koruyucu bir kalsiyum karbonat tabakası oluşturabilir (Gandolfi vd., 2015; Coleman vd., 2007). Koruyucu kalsiyum karbonat tabakası patın bozunmasını/çözünürlüğünü azaltarak hacminden iyonik difüzyonu kısıtlar (Gandolfi vd., 2015, Coleman vd., 2007,

Gandolfi vd., 2010) ve böylece endodontik sızdırmazlığı iyileştirir. Zamparini ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada IR ve mikro-raman spektroskopisi, tüm kök kanal patlarının yüzeyinde kalsiyum karbonat (kalsit ve bazı durumlarda aragonit olarak) oluşumunu tespit etmeyi sağlamıştır (Zamparini vd., 2022). Bu oluşum, malzemelerin yaşlanma testlerindeki davranışını, yani HBSS'ye daldırıldığında çekirdeklenen fazın doğasını güçlü bir şekilde etkilemektedir. İnce bir kalsiyum fosfat fazı tabakası oluşumu yalnızca AH Plus Bioseramik ve NeoSealer Flo'da tespit edilmiştir. Ceraseal, test edilen kök kanal patları arasında en yüksek kalsiyum salınımına sahip olmasına rağmen herhangi bir kalsiyum fosfat birikimi göstermemiştir. Bu durum HBSS'deki materyal davranışının önceden ayarlanan ortam koşullarından güçlü bir şekilde etkilendiği hipoteziyle açıklanmıştır. Bununla birlikte, bu veriler sözü edilen kök kanal patlarının yüzeyinde düşük/hiç apatit nükleasyonu olmadığını ortaya koymaktadır. Düşük apatit nükleasyon yeteneğinin olası nedeni; test edilen kök kanal patlarının bileşimindeki düşük CaSi miktarıyla ilişkili olabilir (%15 AH Plus Bioceramik, %35 Neosealer Flo, %20-40 Ceraseal). Kök kanal dolgu materyali formülasyonunda bulunan düşük miktarda CaSi; apatit nükleasyonu için gerekli olan daha düşük silanol (Si-OH) grubu anlamına gelmektedir. Alkali pH'da Si-OH'nin deprotonasyonunun SiO negatif grupların oluşumuyla sonuçlandığı gösterilmiştir (Gandolfi vd., 2011; Sanchez ve Zhang, 2008; Gandolfi vd., 2016). Bu durum silikadan zengin mineral parçacıklarından kalsiyum iyonlarının bağlanmasını sağlayarak; kalsiyum fosfatların/apatitin heterojen nükleasyonunu indükleyebilmektedir (Gandolfi vd., 2013; Gandolfi vd., 2011; Sanchez ve Zhang, 2008; Gandolfi vd., 2016).

Gandolfi ve arkadaşları tarafından bildirildiği üzere (Gandolfi vd., 2013) CaP apatitik öncüllerinin oluşumu; malzemenin hem mineralize edici iyonları serbest bırakma yeteneği hem de iyonları bağlayıp apatitin nükleasyonunu tetikleyebilen fonksiyonel grupların varlığıyla bağlantılıdır. Test edilen kök kanal dolgu maddelerinde tespit edilen düşük apatit nükleasyonunun nedeni ek olarak, materyallerin sertleşmesi sırasında meydana gelen karbonatlaşma süreçlerine atfedilebilir (Zamparini vd., 2022). İlginçtir ki, Totalfill BC Sealer gibi diğer daha önceden karıştırılmış biyoseramikler, benzer bir deneysel araştırmada belirgin şekilde daha yüksek nükleasyon aktivitesi ortaya koymuştur (Forni vd., 2020). Yapılan farklı çalışmalarda da; Totalfill BC Sealer daha yüksek kalsiyum salınımı, daha yüksek alkalileştirme aktivitesi, daha yüksek in vitro çözünürlük ve belirgin gözeneklilik göstermiştir (Jung vd., 2010; Candeiro vd., 2012). Bu farklılığın nedeni; Totalfill BC Sealer'in formülasyonunda monobazik kalsiyum fosfat ve daha yüksek oranda trikalsiyum ve dikalsiyum silikatlar (formülasyonun yaklaşık % 50'si) içermesi olabilir. Çünkü kalsiyum fosfatın hidrolik kalsiyum silikatlarla ilişkisinin; malzemelerin apatit nükleasyonunu önemli ölçüde iyileştirdiği diğer yapılan çalışmalarda da gösterilmiştir (Gandolfi vd., 2015; Gandolfi vd., 2011; Gandolfi vd., 2011).

Ayrıca araştırmacılar çalışmanın sonucunda AH Plus'ın, düşük/ihmal edilebilir miktarda kalsiyum iyonu salınımına rağmen ince bir CaP birikimi gösterdiğini bulmuşlardır (Zamparini vd., 2022). Bu sonuç, AH Plus'ta HBSS'ye daldırıldıktan sonra seyrek kalsiyum fosfat birikimlerinin tespit edildiği önceki çalışmalarla (Gandolfi vd., 2013, Siboni vd., 2017) tutarlıdır. Zamparini ve ark.'larının yaptıkları çalışmanın sınırlaması, incelenen kök kanal dolgu maddelerinin osteoindüktif ve proanjiyojenik özellikleriyle ilgili ex vivo deneylerin eksikliği olabilir (Zamparini vd., 2022).

İnsan periodontal ligament kök hücreleri üzerinde AH Plus Bioseramik kök kanal patıyla ilgili yakın zamanda yapılan bir in vitro çalışma, başka bir önceden karıştırılmış bioseramik kök kanal dolgu malzemesi olan Endosequence BC Sealer ile karışlaştırıldığında benzer bir sitokompatibilite ancak daha düşük mineralizasyon potansiyeli bildirmiştir (Sanz vd., 2022). Ayrıca başka bir çalışmada önceden karıştırılmış biyoseramik esaslı AH plus bioseramik ve Bio-C kök kanal patları ile rezin esaslı olan ADSeal kök kanal patlarının fizikokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda hem AH Plus Bioseramik Sealer hem de Bio-C Sealer'ın; znrlk, alkalinite, kalsiyum iyon salınımı ve film kalınlığı açısından geleneksel rezin esaslı kök kanal dolgularından daha üstün özelliklere sahip olduğu rapor edilmiştir (Hamdy vd., 2024). İlerde yapılacak olan bir hayvan modeli çalışması; test edilen kök kanal patları için bulunan biyoetkileşim özelliklerini doğrulayabilir. Literatürde henüz böyle bir çalışma bulunmamaktadır.

Sonuçlar

- Önceden karıştırılmış biyoseramik kök kanal patlarının klinik kullanımlarının uygun olduğu yapılan çalışmalarla desteklenmiştir.

- Önceden karıştırılmış biyoseramik kök kanal patları istenen kimyasal ve fiziksel standartları karışlamıştır. Ancak açık gözenek hacmi, su emilimi ve znrlk geleneksel epoksi rezin bazlı kök kanal patı ile karışlaştırıldığında daha yüksektir.

- Klinisyenler bu malzemelerin daha uzun bir sertleşme süresine sahip olabileceğinin farkında olmalıdır.

- Önceden karıştırılmış biyoseramik kök kanal patları biyolojik olarak ilişkili iyonları serbest bırakma yeteneğine sahiptir. Bu sonuç bize; bu materyallerin periapikal kemik defektlerine yerleştirildiğinde veya kök apeksinden taşırıldığında potansiyel faydalar sağlayabileceğini düşündürmektedir.

Kaynaklar

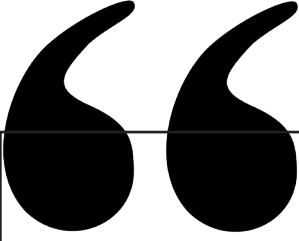
- Almeida, L.H.S., Moraes, R.R., Morgental R., Pappen, F.G. (2017). Are premixed calcium silicate-based endodontic sealers comparable to conventional materials? A systematic review of in vitro studies. *J. Endod*, 43, 527–535.
- Alsubait, S., Albader, S., Alajlan, N., Alkhunaini, N., Niazy, A., Almahdy, A. (2019). Comparison of the antibacterial activity of calcium silicate- and epoxy resin-based endodontic sealers against *Enterococcus faecalis* biofilms: A confocal laser-scanning microscopy analysis. *Odontology*, 107, 513–520.
- Baldi, J.V., Bernardes, R.A., Duarte, M.A., Ordinola-Zapata, R., Cavenago, B.C., Moraes, J.C., de Moraes, I.G. (2012). Variability of physicochemical properties of an epoxy resin sealer taken from different parts of the same tube. *Int. Endod. J.*, 45, 915–920.
- Bose, R., Ioannidis, K., Foschi, F., Bakhsh, A., Kelly, R.D., Deb, S., Mannocci, F., Niazi, S.A. (2020). Antimicrobial effectiveness of calcium silicate sealers against a nutrient-stressed multispecies biofilm. *J. Clin. Med.*, 9, 2722.
- Bukhari, S. ve Karabucak, B. (2019). The antimicrobial effect of bioceramic sealer on an 8-week matured *Enterococcus faecalis* biofilm attached to root canal dentinal surface. *J. Endod*, 45, 1047–1052.
- Camilleri, J. ve Gandolfi, M.G. (2010). Evaluation of the radiopacity of calcium silicate cements containing different radiopacifiers. *Int. Endod. J.*, 43, 21–30.
- Candeiro, G.T., Correia, F.C., Duarte, M.A., Ribeiro-Siqueira, D.C., Gavini, G. (2012). Evaluation of radiopacity, pH, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *J. Endod*, 38, 842–845.
- Coleman, N.J., Nicholson, J.W., Awosanya, K. (2007). A preliminary investigation of the in vitro bioactivity of white Portland cement. *Cem. Concr. Res*, 37, 1518–1523.
- Colombo, M., Poggio, C., Dagna, A., Meravini, M.V., Riva, P., Trovati, F., Pietrocola, G. (2018) Biological and physico-chemical properties of new root canal sealers. *J. Clin. Exp. Dent*, 10, 120-126.
- Chiu, Y.C., Fang, H.Y., Hsu, T.T., Lin, C.Y., Shie, M.Y. (2017). The Characteristics of Mineral Trioxide Aggregate/Polycaprolactone 3-dimensional Scaffold with Osteogenesis Properties for Tissue Regeneration. *J. Endod*, 43, 923–929.
- Du, T., Wang, Z., Shen, Y., Ma, J., Cao, Y., Haapasalo, M. (2015). Combined antibacterial effect of sodium hypochlorite and root canal sealers against *Enterococcus faecalis* biofilms in dentin canals. *J. Endod*, 41, 1294–1298.
- Forni, M., Bernardini, C., Zamparini, F., Zannoni, A., Salaroli, R., Ventrella, D., Parchi, G., Degli Esposti, M., Polimeni, A., Fabbri, P. vd. (2020). VascularWall-Mesenchymal Stem Cells Differentiation on 3D Biodegradable Highly Porous Ca-Si-DCPD Doped Poly(alfa-hydroxy) Acids Scaffolds for Bone Regeneration. *Nanomaterials*, 29, 243.

- Fujita, Y., Yamamuro, T., Nakamura, T., Kotani, S., Ohtsuki, C., Kokubo, T. (1991). The bonding behavior of calcite to bone. *J. Biomed. Mater. Res*, 25, 991–1003.
- Gallego, D., Higueta, N., Garcia, F., Ferrel, N., Hansford, D.J. (2008). Bioactive coatings on Portland cement substrates: Surface precipitation of apatite-like crystals. *Mater. Sci. Eng*, 28, 347–352.
- Gandolfi, M.G., Iacono, F., Agee, K., Siboni, F., Tay, F., Pashley, D.H., Prati, C. (2009). Setting time and expansion in different soaking media of experimental accelerated calcium-silicate cements and ProRoot MTA. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod*, 108, 39–45.
- Gandolfi, M.G., Ciapetti, G., Taddei, P., Perut, F., Tinti, A., Cardoso, M.V., Meerbeek, B., Prati, C. (2010). Apatite formation on bioactive calcium-silicate cements for dentistry affects surface topography and human marrow stromal cells proliferation. *Dent. Mater*, 26, 974–992.
- Gandolfi, M.G., Shah, S.N., Feng, R., Prati, C., Akintoye, S.O. (2011). Biomimetic calcium-silicate cements support differentiation of human orofacial mesenchymal stem cells. *J. Endod*, 37, 1102–1108.
- Gandolfi, M.G., Taddei, P., Modena, E., Siboni, F., Prati, C. (2013). Biointeractivity-related versus chemi/physisorption-related apatite precursor-forming ability of current root end filling materials. *J. Biomed. Mater. Res*, 101, 1107–1123.
- Gandolfi, M.G., Spagnuolo, G., Siboni, F., Procino, A., Riviaccio, V., Pelliccioni, G.A., Prati, C., Rengo, S. (2015). Calcium silicate/calcium phosphate biphasic cements for vital pulp therapy: Chemical-physical properties and human pulp cells response. *Clin. Oral Investig*, 19, 2075–2089.
- Gandolfi, M.G., Siboni, F., Prati, C. (2016) Properties of a novel polysiloxane-gutta-percha calcium silicate-bioglass-containing root canal sealer. *Dent. Mater*, 32, 113–126.
- Gandolfi, M.G., Iezzi, G., Piattelli, A., Prati, C., Scarano, A. (2017). Osteoinductive potential and bone-bonding ability of ProRoot MTA, MTA Plus and Biodentine in rabbit intramedullary model: Microchemical characterization and histological analysis. *Dent. Mater*, 33, 221–238.
- Gandolfi, M.G.; Gardin, C.; Zamparini, F.; Ferroni, L.; Esposti, M.D.; Parchi, G.; Ercan, B.; Manzoli, L.; Fava, F.; Fabbri, P.; et al. (2020). Mineral-Doped Poly(L-lactide) Acid Scaffolds Enriched with Exosomes Improve Osteogenic Commitment of Human Adipose-Derived Mesenchymal Stem Cells. *Nanomaterials*, 29, 432.
- Hamdy, T. M., Galal, M. M., Ismail, A. G., Saber, S. (2024). Physicochemical properties of AH plus bioceramic sealer, Bio-C Sealer, and ADseal root canal sealer. *Head & Face Medicine*, 20(1), 2.
- Ho, C.C., Fang, H.Y., Wang, B., Huang, T.H., Shie, M.Y. (2018) The effects of Biodentine/polycaprolactone three-dimensional-scaffold with odontogenesis properties on human dental pulp cells. *Int. Endod. J*, 51, 291–300.
- Jung, G.Y., Park, Y.J., Han, J.S. (2010). Effects of HA released calcium ion on osteoblast

- differentiation. *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, 21,1649–1654.
- Kapralos, V., Koutroulis, A., Ørstavik, D., Sunde, P.T., Rukke, H.V. (2018). Antibacterial activity of endodontic sealers against planktonic bacteria and bacteria in biofilms. *J. Endod.*, 44, 149–154.
- Khalil, I., Naaman, A., Camilleri, J. (2016). Properties of Tricalcium Silicate Sealers. *J. Endod.*, 42, 1529–1535.
- Ko S.Y., Choi H.W., Jeong E.-D., Rosa V., Hwang Y.-C., Yu M.-K., Min K.-S. (2020). Main and accessory canal filling quality of a premixed calcium silicate endodontic sealer according to different obturation techniques. *Materials*, 13, 4389.
- Komabayashi, T., Colmenar, D., Cvach, N., Bhat, A., Primus, C., Imai, Y. (2020). Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dent. Mater. J.*, 39, 703–720.
- Loushine, B.A., Bryan, T.E., Looney, S.W., Gillen, B.M., Loushine, R.J., Weller, R.N., Pashley, D.H., Tay, F.R. (2011). Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *J. Endod.*, 37, 673–677.
- Marashdeh M., Stewart C., Kishen A., Levesque C., Finer Y. (2021). Drug-silica co-assembled particles improve antimicrobial properties of endodontic sealers. *J. Endod.*, 47, 793–799.
- Marciano, M.A., Guimarães, B.M., Ordinola-Zapata, R., Bramante, C.M., Cavenago, B.C., Garcia, R.B., Bernardineli, N., Andrade, F.B., Moraes, I.G., Duarte, M.A. (2011). Physical properties and interfacial adaptation of three epoxy resin-based sealers. *J. Endod.*, 37, 1417–1421.
- Matsumoto, S., Hayashi, M., Suzuki, Y., Suzuki, N., Maeno, M., Ogiso, B. (2013). Calcium ions released from mineral trioxide aggregate convert the differentiation pathway of C2C12 Cells into osteoblast lineage. *J. Endod.*, 39, 68–75.
- Mizuno, M. ve Banzai, Y. (2008). Calcium ion release from calcium hydroxide stimulated fibronectin gene expression in dental pulp cells and the differentiation of dental pulp cells to mineralized tissue forming cells by fibronectin. *Int. Endod. J.*, 41, 933–988.
- Newbury, D.E. (2009). Mistakes encountered during automatic peak identification of minor and trace constituents in electron-excited energy dispersive X-ray microanalysis. *Scanning*, 31, 91–101.
- Niu, L.N., Jiao, K., Wang, T.D., Zhang, W., Camilleri, J., Bergeron, B.E., Feng, H.L., Mao, J., Chen, J.H., Pashley, D.H. et al. (2014). A review of the bioactivity of hydraulic calcium silicate cements. *J. Dent. Res.*, 42, 517–533.
- Parirokh, M., Torabinejad, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: A comprehensive literature review—Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J. Endod.*, 36, 400–413.
- Prati, C.; Gandolfi, M.G. (2015). Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent. Mater.*, 31, 351–370.
- Primus, C., Gutmann, J.L., Tay, F.R., Fuks, A.B. (2022). Calcium silicate and calcium aluminate cements for dentistry reviewed. *J. Am. Ceram. Soc.*, 105, 1841–1863.

- Reyes-Carmona, J.F., Felipe, M.S., Felipe, W.T. (2010). The biom mineralization ability of mineral trioxide aggregate and Portland cement on dentin enhances the push-out strength. *J. Endod*, 36, 286–291.
- Reyes-Carmona, J.F., Santos, A.R., Figueiredo, C.P., Felipe, M.S., Felipe W.T., Cordeiro, M.M. (2011). In vivo host interactions with mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide: Inflammatory molecular signaling assessment. *J. Endod* 37, 1225–1235.
- Roy, M.; Bandyopadhyay, A.; Bose, S. (2017). Chapter 6—Ceramics in Bone Grafts and Coated Implants. In *Materials for Bone Disorders*; Bose, S., Bandyopadhyay, A., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 265–314.
- Oliveira, I.R., Andrade, T.L., Jacobovitz, M., Pandolfelli, V.C. (2013). Bioactivity of calcium aluminate endodontic cement. *J. Endod*, 39, 774–778.
- Sanchez, F. ve Zhang, L. (2008). Molecular dynamics modeling of the interface between surface functionalized graphitic structures and calcium–silicate–hydrate: Interaction energies, structure, and dynamics. *J. Colloid Interface Sci*, 323, 349–358.
- Sanz, J.L., López-García, S., Rodríguez-Lozano, F.J., Melo, M., Lozano, A., Llena, C., Forner, L. (2022). Cytocompatibility and bioactive potential of AH Plus Bioceramic Sealer: An in vitro study. *Int. Endod. J*, 55, 1066–1080.
- Sfeir, G., Zogheib, C., Patel, S., Giraud, T., Nagendrababu, V., Bukiet, F. (2021). Calcium Silicate-Based Root Canal Sealers: A Narrative Review and Clinical Perspectives. *Materials*, 14, 3965.
- Siboni, F., Taddei, P., Prati, C., Gandolfi, M.G. (2017). Properties of NeoMTA Plus and MTA Plus cements for endodontics. *Int. Endod. J*, 50, 83–94.
- Siboni, F., Taddei, P., Zamparini, F., Prati, C., Gandolfi, M.G. (2017). Properties of Bio-Root RCS, a tricalcium silicate endodontic sealer modified with povidone and polycarboxylate. *Int. Endod. J*, 50, 120–136.
- Sun, J., Wei, L., Liu, X., Li, J.B., Wang, G., Meng, F. (2009). Influences of ionic dissolution products of dicalcium silicate coating on osteoblastic proliferation, differentiation and gene expression. *Acta Biomater.*, 5, 1284–1293.
- Taddei, P., Modena, E., Tinti, A., Siboni, F., Prati, C., Gandolfi, M.G. (2011). Vibrational investigation of calcium silicate cements for endodontics in simulated body fluids. *J. Mol. Struct*, 993, 367–375.
- Taddei, P., Tinti, A., Gandolfi, M.G., Rossi, P.L., Prati, C. (2009). Vibrational study on the bioactivity of Portland cement-based materials for endodontic use. *J. Mol. Struct*, 924, 548–554.
- Torabiinejad, M., Chivian, N. (1999). Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J. Endod*, 25, 197–205.
- Wang Z. (2015). Bioceramic materials in endodontics. *Endod. Top*, 32, 3–30.
- Wang Z., Shen Y., Haapasalo M. (2014). Dentin extends the antibacterial effect of endodontic sealers against *Enterococcus faecalis* biofilms. *J. Endod*, 40, 505–508.

- Willershhausen, I., Callaway, A., Briseño, B., Willershhausen, B. (2011). In vitro analysis of the cytotoxicity and the antimicrobial effect of four endodontic sealers. *Head Face Med*, 7, 15.
- Zamparini, F., Siboni, F., Prati, C., Taddei, P., Gandolfi, M.G. (2019). Properties of calcium silicate-monobasic calcium phosphate materials for endodontics containing tantalum pentoxide and zirconium oxide. *Clin. Oral Investig.* 23, 445–457.
- Zamparini, F., Prati, C., Taddei, P., Spinelli, A., Di Foggia, M., & Gandolfi, M. G. (2022). Chemical-physical properties and bioactivity of new premixed calcium silicate-bioceramic root canal sealers. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 13914.
- Zehnder, M., Waltimo, T., Sener, B., Söderling, E. (2006). Dentin enhances the effectiveness of bioactive glass S53P4 against a strain of *Enterococcus faecalis*. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 101, 530–535.
- Zhang H., Shen Y., Ruse N.D., Haapasalo M. (2009). Antibacterial activity of endodontic sealers by modified direct contact test against *Enterococcus faecalis*. *J. Endod.* 35, 1051–1055.
- Zhao,W., Wang, J., Zhai,W., Wang, Z., Chang, J. (2005). The selfsetting properties and in vitro bioactivity of tricalcium silicate. *Biomaterials*, 26, 6113–6121.
- Zordan-Bronzel, C.L., Tanomaru-Filho, M., Rodrigues, E.M., Chavez-Andrade, G.M., Faria, G., Guerreiro-Tanomaru, J.M. (2019). Cytocompatibility, bioactive potential and antimicrobial activity of an experimental calcium silicate-based endodontic sealer. *Int. Endod. J.* 52, 979–986.



Bölüm 2

İLACA İLİŞKİN ÇENE OSTEONEKROZUNUN (MRONJ) KLİNİK ÖNCESİ RADYOGRAFİK DEĞERLENDİRİLMESİ, RİSK FAKTÖRLERİ, TEDAVİ STRATEJİLERİNİN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ: BİR DERLEME

Nazan KOÇAK TOPBAŞ¹

Lütfiye BAYSAL²

1 Doç. Dr. Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Radyolojisi,
0000-0002-3717-2098, nazannkocak@gmail.com

2 Dt. Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Radyolojisi,
0009-0007-8509-3523, lutfiyero10@gmail.com

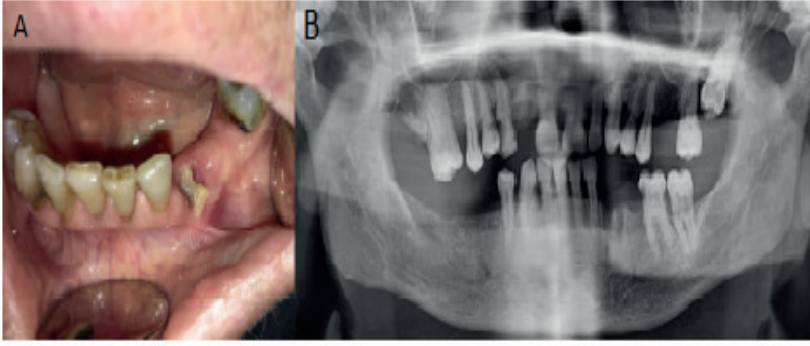
GİRİŞ

Bifosfonatlar osteoporoz, metabolik kemik hastalıkları, metastatik kemik hastalıkları, Paget hastalığı ve multipl myeloma gibi hastalıkların tedavisinde kullanılan antirezorptif ilaçlardır. Çeşitli tümörlere bağlı gelişen hiperkalsemi, kanser hastalarının kemik metastazı ile kombine olduğu durumlarda hastaların yaşam konforunu arttırmak için kullanılmaktadır (1,2). Fakat bifosfonatların kullanımının önemli yan etkileri bulunmaktadır. Bu etkilerden en önemlisi osteonekroz olarak literatürde yer almaktadır. Çenelerde bifosfonat nedenli gelişen osteonekroz terimi (BRONJ) ilk olarak 2002'de Marx ve Stern tarafından tanımlanmıştır (3). Bununla birlikte RANKL inhibitörü olan denosumab, bevasizumab ve sunitinib gibi antianjiyojenik ilaçlar da çenelerde osteonekroza neden olabilmektedir. Amerikan Oral ve Maksillofasiyal Cerrahi Derneği (AAOMS) 2014 yılında BRONJ terimini ilaçla ilgili çene kemiklerinde osteonekroz oluşumu anlamına gelen MRONJ terimi olarak değiştirmiştir (4). İlaçla ilişkili çene osteonekrozu (MRONJ), antirezorptifler (ARD) veya anjiyogenez inhibitörleri (AgI'ler) ile tedavi edilen kanserli hastaları ve osteoporozlu hastaları etkileyen potansiyel ciddi bir komplikasyondur. Azot içeren bisfosfonatlar (N-BP'ler; örneğin zoledronik asit, alendronat) ve anti-RANKL antikorumları (örneğin denosumab) dahil olmak üzere ARD'ler, kanserli hastalarda kemik metastazlarını engellemek veya osteoporozlu hastalarda kemiğin kırılmasını önlemek için kullanılır (5-9). Tedavide kullanılan ARD'ler, farklı yollardan osteoklastik aktiviteyi engelleyerek kemik döngüsüne müdahale eder (10,11). Örneğin nitrojen içeren bisfosfonatlar kemik yüzeyindeki kalsiyum iyonlarına bağlanır ve osteoklastların emilmesiyle içselleştirilir ve osteoklast fonksiyonu için gerekli olan protein farnesil pirofosfat (FPP) sentazını inhibe eder (12,13). Öte yandan denosumab gibi monoklonal antikorumlar RANK-ligand yolunu inhibe ederek osteoklast oluşumunu bozar. Her iki strateji de kemik emiliminin ve yıkımının azalmasıyla sonuçlanır (11). ARD alan hastalar, ilaca bağlı çene osteonekrozu (MRONJ) gelişme riskinin yüksek olması nedeniyle diş hekimliği uygulamalarında özel dikkat gerektirir (14). MRONJ'un patofizyolojisi hala bilinmemekle birlikte bu durumun çene kemiklerinde bu kadar sık meydana geldiğini açıklayan birkaç hipotez vardır. Önerilen hipotezler arasında bozulmuş kemik onarımı, osteoklast aktivitesinin baskılanması, enfeksiyon ve inflamasyon ve bozulmuş anjiyogenez veya vasküler onarım yer alır (15-17). MRONJ, klinik olarak, antirezorptif veya antianjiyojenik ajanlarla tedavi edilen, radyoterapi veya metastatik hastalık öyküsü olmayan hastalarda, maksillofasiyal bölgede intraoral veya ekstraoral fistül aracılığıyla 8 haftadan uzun süre devam eden, açığa çıkan kemik olarak tanımlanır (18). İlaç kullanımına bağlı çenelerde görülen osteonekrozun mandibulada %65 oranında, maksillada %26 oranında, hem maksilla hem mandibulada bulunma olasılığının ise %9 olduğu bildirilmiştir. Bununla beraber hastalığın üçte birinin ağrısız olduğu ve üçte ikisinin kadın-

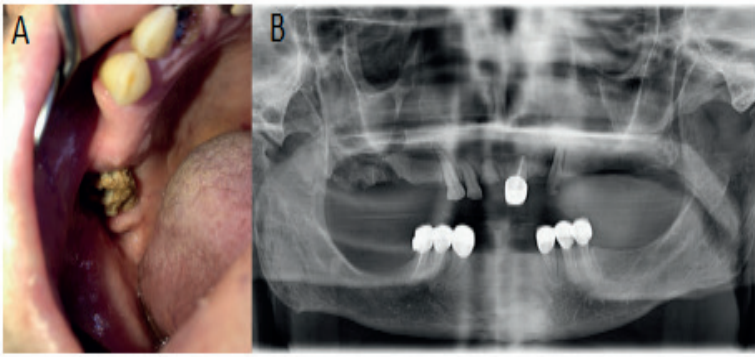
larda daha çok görüldüğü bildirilmiştir. Daha çok mandibulada görülmesine rağmen multifokal bifosfonat birikimi üst çenede daha fazla görülebilmektedir (19). MRONJ semptomları arasında ağrı, yumuşak dokuların şişmesi ve enfeksiyonu, dişlerin gevşemesi, akıntı ve çenede ağırlık veya uyuşukluk hissi yer alır (20). Uyuşmuş çene sendromu (NCS), alt alveolar sinir veya zihinsel sinirin dağılımı boyunca duyuşsal nöropatiye bağılı olarak meydana gelen, dişlerin, çenenin, alt dudağın ve diş etinin uyuşmasını içerebilen bir durumdur. Fortunato ve ark. yaptığı çalışmada ilk semptom olarak NCS ile başvuran MRONJ hastası varlığını bildirmişlerdir (21).

AAOMS tarafından benimsenen MRONJ evreleme sistemi ve tedavi stratejileri aşağıdaki gibidir (4):

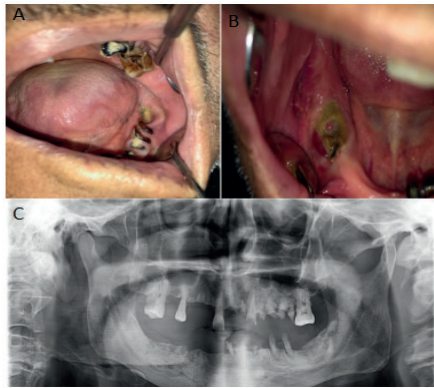
	Tanım	Tedavi stratejisi
0	Ölü kemik bulunmamasına karşılık belirgin olmayan klinik semptomların varlığı	*Ağrı ve semptom tedavisini ve antibiyotik alınmasını içeren sistemik tedavi
1	Enfeksiyon ile ilgili semptomları olmayan hastalarda ekspoze ve nekrotik kemik bulunması (Resim 1, Resim 2 ve Resim 3)	*Antimikrobiyal ağız içi yıkama uygulaması *Klinik takip *Hastaların bilinçlendirilmesi, kullanmakta oldukları medikamentler için konsülte edilip doktoruna danışılması
2	Ekspoze ve ölü kemikle birlikte seyreden püü drenajı olan veya olmayan ekspoze kemik bölgesinde kızarıklık veya ağrı gibi semptomları (Resim 3 ve Resim 4)	*Oral kullanımlı antibiyotikler ile semptomlara yönelik tedavi *Antimikrobiyal gargaralar *Ağrı kontrolü *Yumuşak dokularda oluşan irritatif durumu düzeltmek için yüzeysel şekilde debride etmek
3	Ağrı, enfeksiyon ve aşağıdaki bulgulardan bir veya daha fazlasına sahip hastalarda ekspoze ve nekrotik kemik varlığı: *Alveoler kemik bölgesini aşan ekspoze ve nekrotik kemik varlığı, (mandibula basisi ve ramusu, maksillada ise maksiller sinüsü ve zigomayı içeren) patolojik fraktürler, ekstraoral fistüller, orontral ve oronazal geçişler, mandibula basisini veya maksiller sinüs tabanını aşan kemik yıkımı olması (Resim 4)	*Antimikrobiyal gargaralar *Antibiyotik kullanımı ve ağrı kontrolü *Cerrahi olarak debridman veya rezeksiyon (uzun süredir bulunan ağrı ve enfeksiyonu geriletme amaçlı)



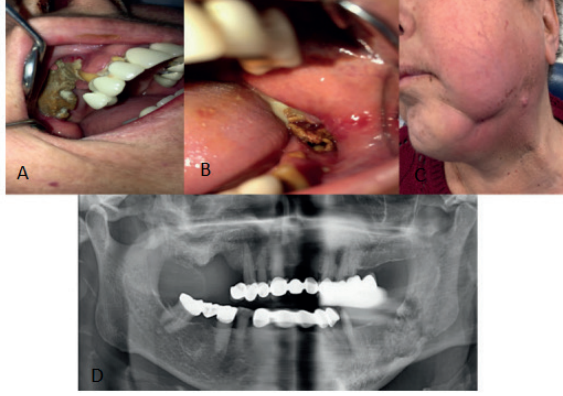
Resim 1: Mandibulada evre 1 MRONJ a) Ağız içi görüntüsü b) Radyografik görüntüsü (3)



Resim 2: Maksillada evre 1 MRONJ a) Ağız içi görüntüsü b) Radyografik görüntüsü (3)



Resim 3: a) Aynı hastada sol mandibular bölgede evre 1 MRONJ ağız içi görüntüsü b) Sağ mandibular bölgede evre 2 MRONJ ağız içi görüntüsü c) Evre 1 ve evre 2 MRONJ radyografik görüntüleri (3)



Resim 4: a) Aynı hastada maksillada evre 2 MRONJ ağız içi görüntüsü b) Mandibulada evre 3 MRONJ ağız içi görüntüsü c) Mandibulada evre 3 MRONJ ağız dışı görüntüsü d) Evre 2 ve evre 3 MRONJ radyografik görüntüleri (3)

TARTIŞMA

MRONJ tanısı radyolojik ya da histopatolojik bulgulardan çok klinik bulgularla konulmaktadır. Ancak yine de histopatolojik ve radyolojik teşhis de önemlidir (3). Yapılan çalışmalar ARD kulanılan hastalarda çene kemiklerinin radyografik görünümünde nekrotik kemiğin açığa çıkmasından önce bile değişiklikler olduğunu bildirmiştir. Panoramik radyografiler MRONJ riski altındaki hastalar için iyi bir genel bakış ve erken gösterge sağlayabilirken, küçük değişiklikleri tespit etme konusundaki düşük hassasiyetleri nedeniyle daha erken belirtileri tespit etme konusunda yetersiz kalabilirler (22). MRONJ tanısı için CBCT'nin kullanılması, panoramik radyografiden daha iyi çözünürlüğü, bir lezyonun gerçek boyutunun değerlendirilmesi olasılığı ve yapıların örtüşmeden görülebilmesi nedeniyle savunulmaktadır (23). MRONJ hastalarının radyografik görüntüleri incelendiğinde sağlıklı bireylere göre anlamlı olarak daha fazla lamina dura kalınlaşması, periodontal ligament aralığında genişleme, osteoskleroz, osteoliz, periosteal reaksiyon ve sekestrem oluşumu gösterdiği izlenmiştir (24). Bu sebeple, mandibular kortikal ve lamina dura kalınlaşması, kemiğe maruz kalan lezyonlarda osteoliz, kortikal kemik erozyonu, sekestrem oluşumu, osteoskleroz ve olası herhangi bir reaktif periosteal kemik alanlarının daha iyi gözlenebildiği CBCT tercih edilmektedir (18,23,25-28). ARD'lerin etki mekanizmaları farklı olduğu için bifosfonat- (BRONJ) ve denosumab- (DRONJ) ile ilişkili osteonekrozun radyografik özelliklerinin farklı olduğu düşünülebilir (29).Yapılan bazı çalışmalarda BRONJ'da anlamlı derecede daha fazla sekestrasyon oluşumu ve kortikal kemik osteolizi vardır ve DRONJ'de daha az sıklıkla radyografik belirtiler görülür ve bu da daha geç tanı ve tedaviye yol açar (30). MRONJ'un radyolojik görüntüsü bakteriyel (süpüratif) osteomyelitis ya da osteoradyonekroz ben-

zeri görüntü verir. Süpüratif osteomyelitler biyopside kemik iliği içerisinde inflamatuvar hücreler göstermektedir (31). Hiperemi ve anaerob organizmalar sebebiyle kemik iliği ödemi yanında kapiller tromboz da görülebilmektedir. Osteoradyonekroz ile aralarında kemik iliğinde oluşturduğu reaksiyonlar açısından nekrotik kemik benzerlik gösterse de osteoradyonekrozda kemik iliği enflamasyonu yoktur (32). Bunun yerine osteoradyonekrozda hiposellüler veya asellüler kollojen içeren ilik fibrozisi ve radyasyon kaynaklı fibrotik değişiklikler (hiposellüler, hipovasüler ve hipoksik) görülmektedir. MRONJ da ise medüller enflamasyon ve fibrozis oluşumu görülmez. Daha sık olarak hiposellüler odaklar ve Hawship lakünleri içeren nekroze kemik bulundurulur. Bakterilerin bu nekrotik kemiğe affiniteleri olması yüzünden teşhiste sıklıkla süpüratif osteomyelitis yanlış teşhisi konulur (33). Çenenin bakteriyel ve radyasyona bağlı nekrozu, spesifik radyolojik tanımlayıcı özelliklere dayanarak birbirinden ayırt edilebilir. Bakteriyel osteonekrozda sekestrum oluşumu ile birlikte periosteal yeni kemik oluşumu da beklenen bir radyografik bulgu iken terapötik radyasyonun uygulandığı bölgeye kan akışının kesilmesi nedeniyle, genellikle yeni kemik oluşumu olmaz. Bu çok değerli bir teşhis özelliğidir (34,35). Moreno Rabie ve ark. yaptığı çalışmada MRONJ gelişen hasta grubu ve sağlıklı grubun radyografik değerlendirmesinde periosteal reaksiyon ve sekestrum oluşumunun osteonekroz için spesifik gösterge olduğu gözlenmiştir (24). Barragan-Adjemian ve ark., CBCT'lerde, osteolitik bir halo ile çevrelenen kemik adacıklarının, nekrotik kemiğin en az direncin olduğu yöne doğru atılmasına yönelik doğal bir tepki olduğunu ve bu sekestrumların da klinik MRONJ ile sonuçlandığını açıklamıştır (28). Hem klinik hem de klinik öncesi veriler, çoğu MRONJ vakasının, sistemik risk faktörlerinin (örneğin, Yüksek kümülatif dozlarda kullanılan ARD'ler veya AgI'ler) dış çekimini içeren lokal oral risk faktörleriyle birleştirilmesini gerektirdiğini göstermektedir (36). MRONJ için bilinen lokal risk faktörleri, periodontal ve periapikal hastalık da dahil olmak üzere önceden var olan inflamatuvar diş hastalıkları, çıkarılabilir ağız protezlerinden kaynaklanan travma, diş implantları, diş apselerinin varlığı ve yetersiz ağız hijyeni sayılabilir. McGowan ve ark. 4106 MRONJ vakası arasında diş çekiminin en yaygın risk faktörü (%45) olduğunu ve bunu periodontal hastalığın takip ettiğini bildirmiştir (36,37). Özellikle aktif periodontitis, bakterilerin kemik yıkımı sebebiyle rezorpsiyonun apozisyona baskın olmasına sebep olur ancak bifosfonatlar bu durumu tersine çevirirler ve bozulmuş ve enfekte kemiğin yıkımını engelleyip osteonekroz için uygun durum oluştururlar. Ayrıca yapılan bir çalışmada MRONJ hastalarının %84'ünün aktif periodontitis kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Kendiliğinden gelişen yaklaşık ¼ oranında MRONJ vakaları da bulunmaktadır (38). Bifosfonatlar antirezorptif etki gösterip nekrotik kemiğin elimine edilmesini engeller ve bu nekrotik kemik de nöral innervasyona sahip olmadığı için ağrılı değildir. Ancak bakterilere bağlı sekonder enfeksiyon ve ağrı riski de göz önünde bulundurulmalıdır. Genel bir kural olarak bifosfonat te-

davisine başlanması planlanan kanser hastası veya osteoporotik hastaların ağız bakım işlemleri 3 aydan kısa sürede bitirilmeye çalışılmalıdır. Hastanın ağız bakım alışkanlıklarına göre radikal davranmak da gerekli olabilmektedir. Ayrıca acil olarak bifosfonata başlaması gereken kanser hastalarında ise tedavi bekletilemez ve tek dozda bile osteonekroz oluşabileceği ve her dozda osteonekroz riskinin arttığı söylenmelidir. Yine de genellikle 3. ve daha fazla sayıdaki dozlar osteonekroz oluştururlar (39). İleri yaşın MRONJ için risk faktörü olduğu bilinmektedir. İmmunsupresyon, romatoid artrit, diabetes mellitus (DM), sigara kullanımı, obezite, diyaliz gibi bazı sistemik faktörlerin aynı zamanda glukokortikoid ve/veya hastalık modifiye edici ajanların (DMARDs) kullanımının da MRONJ riskini arttırdığı bildirilmiştir (40). Oral yolla bifosfonat alan hastalarda MRONJ riskini artıran temel 3 faktör; bifosfonat tedavi süresi, özellikle prednizon olmak üzere steroidlerle desteklenmiş bifosfonat kullanımı ve methotreksat ile bifosfonat kullanımınıdır. Prednizon ve methotreksat özellikle romatoloji hastalarında endikedir. Steroidler kollajen yıkımı üzerinde etkilidir. Methotreksat ise meduller kök hücrelerin ve osteoklastların üzerinde etkilidir. Özellikle postmenapozal dönemdeki kadın hastalara yazılan bifosfonatların sayısı belirgin ölçüde artmaktadır. Oral bifosfonat kullanımı 2 yıldan az olduğunda minimal oranda riske sahipken 2 yılı geçen kullanımı MRONJ riskini artırmaktadır. 7 yıl ve üstünde bifosfonat kullanımlarının sonuçları ise çok daha kötü olabilmektedir. Bu bifosfonatların steroidlerle beraber alınması ise riski artırmaktadır. Genelde kadın hastaların romatoid artrit, lupus eritematozus gibi immünolojik rahatsızlıkları sebebiyle steroid kullanmaları gerekli olabilmektedir. Bu da MRONJ riskini belirgin ölçüde artırmaktadır (19). Bifosfonatların nitrojen içeren IV formları daha güçlü olduğundan, IV bifosfonat alan hastalarda ağızdan bifosfonat alanlara kıyasla MRONJ insidansı daha yüksektir. Zoledronat'ın etki açısından en üstün bifosfonat olduğu belirtilmektedir (37). Palaska ve ark.'nın çalışmasında MRONJ gelişen hastalarda ortalama oral bisfosfonat kullanım süresi 4,6 yıl, MRONJ oluşumuna kadar geçen ortalama minimum zaman 3 yıl olarak belirtilmiş, ilişkili komorbid durumları olan hastalarda erken başlangıç olduğu saptanmıştır. Zoledronat kullanımında ise bu periyodun 1,8 yıl olduğu görülmektedir. İntravenöz bisfosfonat kullanımında MRONJ gelişiminin hızlı olmasının bu ilaçların biyoyararlanımının daha yüksek olmasına ve kemikte daha hızlı birikmesine bağlı olduğu düşünülmektedir (41). Denosumabın bifosfonatlara göre iskeletle ilişkili olayları üstün önleme özellikleri, böbrek yetmezliği vakalarında herhangi bir doz ayarlaması olmaksızın intravenöz uygulama yerine deri altı yönetimi gibi çeşitli avantajları olmasına rağmen Öte yandan bazı çalışmalar, denosumab uygulamasının zoledronik asitle karşılaştırıldığında daha yüksek MRONJ gelişme şansına yol açacağını göstermiştir (42,43). Bifosfanatların %95'i birkaç saat içinde atılmasına rağmen, yarı ömürleri uzun olup kemik dokusunda birikmeleri nedeniyle etkileri on yıl boyunca devam edebilir veya bunu aşabilir (44). Denosumab'ın yarı

ömrü kısa olduğundan bifosfonatların aksine kemik üzerinde etkisi kısadır. Bu tür RANKL inhibitörleri kemiğe bağlanmaz ve genellikle tedavinin kesilmesinden sonraki altı ay içinde elimine edilir (4). Kemik remodelingi, idrar ve kanda bulunan, kemik dönüşüm/yenilenme markerlarıyla değerlendirilebilir. Alkalen fosfataz ve osteokalsin kemik apozisyonu için belirteçlerdir. Ancak MRONJ kemik formasyonu ile değil rezorpsiyonu ile ilgili bir durumdur (45,46). Tip 1 Kollajen C-terminal Telopeptid (CTx) kemik yeniden yapılanması ve rezorpsiyonunu ölçmek için kullanılan osteoklastik aktivitenin güvenilir bir belirteçidir (40). Serum CTX, rezorpsiyonun yenilenen kemik miktarıyla oranının değerlendirilmesinde yararlıdır (3). Tip I kollajen CTX'in serum C-terminal telopeptidi gibi kemik dönüşüm belirteçlerini (BTM) ölçme yeteneğinin, MRONJ'nin bir tahminicisi ve aynı zamanda prognostik bir faktör olarak kullanılabilmesi önerilmiştir (37). Rosen ve ark. CTX'in kemik rezorpsiyonu ve antirezorptif tedavinin etkisiyle yakın ilişkide olduğunu göstermişlerdir (45). Artmış kemik döngüsü olan hastalarda CTX değeri artmış olarak saptanırken bisfosfonat gibi antirezorptif ilaç kullanımı sırasında seviyesinde azalma olmaktadır. Bisfosfonat tedavisi başlanacak hastalardan hastanın tedaviye yanıtının ve uyumunun izlenmesi açısından başlangıç CTx değerlerinin tedavi öncesi istenmesi önerilmektedir (47). Marx ve ark.'nın çalışmasında MRONJ'ü olan 30 hastanın CTx değerleri retrospektif olarak değerlendirilmiş, 100 pg/ml'nin altındaki değerlerde MRONJ riskinin yüksek olduğu, 100 ile 150 pg/ml'nin altındaki değerlerde orta risk, 150 pg/ml'nin üzerindeki değerlerde ise riskin minimal olduğu veya olmadığı belirtilmiştir (48). CTx düzeylerinin MRONJ gelişimi için belirleyici olmadığı, ancak 150-200 pg/ml'nin altındaki değerlerin "riskli aralık" olarak adlandırıldığı, oral cerrahi öncesi risk değerlendirilmesinde ve klinik karar aşamasında yardımcı olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir (40). CTX sadece bir rehber olarak işlev görür ve yalnızca oral olarak bifosfonat kullanımlarında endikedir. Aynı zamanda kanser hastaları ve bifosfonat ile kombine prednizon veya methotreksat kullanan hastalar için de bir belirteç değildir. CTX seviyesi 7 yıldan uzun süredir bifosfonat kullanan hastalarda, hastaların 6 ila 9 aylık zaman kadar ilaç kullanımını kesmesiyle 150 pg/ml'nin üstüne çıkabilir ancak seviyesi kendiliğinden tekrar değişiklik gösterip düşebilir. Bu hekimde şüphe uyandırmamalıdır. Çünkü kemik iliği baskılanması bittiği için tekrar osteoklastik aktiviteye bağlı olarak düşebilir (49,50). Bununla beraber MRONJ gelişiminin önceden tahmin edilmesinde CTx kullanımı konusunda net bir fikir birliği bulunmamaktadır. MRONJ oluşumunun tahmin edilmesinde CTx'in rolünü değerlendiren O'Connel ve ark.'nın çalışmasında, oral cerrahiye takiben MRONJ gelişimi için CTx'in belirleyici olmadığı gösterilmiştir (47). Kwon ve ark.'nın çalışmasında serum CTx değerleri ile MRONJ ciddiyeti arasında ilişki olduğu gösterilmiş, bununla beraber MRONJ oluşumunun tahmin edilmesinde CTx düzeylerinin etkili olmadığı öne sürülmüştür (49). Tüm çalışmalarda MRONJ için güvenilir bir öngörücüye ihtiyaç olmasına

rağmen Amerikan Oral Tıp Akademisi, MRONJ olasılığını öngörmede CTX kullanımını haklı çıkaracak yeterli kanıt olmadığını belirtmiştir (37). Ek olarak klinik risk faktörler değerlendirildiğinde birden fazla eşzamanlı diş çekimi olanlarda ve sigara içenlerde osteonekroz görülme ihtimalinin daha yüksek olduğu anlaşılmıştır (24). Diş çekimi yapılan bölgelerde kemiğin açığa çıkmasının bir zamanlama meselesi olduğunu ve MRONJ bölgelerinde diş çekimi sırasında sekestratörlerin cerrahi olarak çıkarılmasının büyük oranda tedavi edici olduğu varsayılmaktadır (51,52). Cerrahi teknikteki değişiklikler, tüm hastalar aynı risk faktörüne maruz kalsa bile osteonekroz oluşumunu etkileyebilir. Seidel ve arkadaşlarına göre alveolektomi ile birlikte diş çekimleri ve trombosit açısından zengin fibrin membranların kullanımı MRONJ insidansını önemli ölçüde azaltmıştır (53). Bu gelenekselleşmiş tedavi yöntemlerinin yanı sıra günümüzde MRONJ tedavisinde pek çok yeni stratejiler literatüre kazandırılmaya başlanmış ve tedavi seçeneklerinde yeni ufuklar açmaya başlamıştır. Örneğin; canlı ve nekrotik kemiği ayırt etmek için kemik floresansı kullanılabilir (54,55). Operasyon sırasında kullanılan tetrasiklinle indüklenmiş kemik floresansı yöntemi, MRONJ'da etkin bir tedavi yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle VELscope Vx floresan lamba (yaklaşık 400-460 nm dalga boylu mavi ışık) kullanılıp canlı kemiğin nekrotik kemikten ayrımı yapıldığı ve nekrotik kemiğin daha farklı bir oto-floresan özellik gösterdiği belirtilmiştir (54-56). Başka bir çalışmada da kullanılan floresan ışığın 500-540 nm dalga boylu yeşil ışık olması gerektiğini belirten Ristow ve ark. bu floresan lambaları kullanılarak canlı ve nekrotik kemik ayrımını yapıp MRONJ'un her evresinde cerrahi müdahaleyi önermektedir (57). Ancak başka bir çalışmada ise cerrahi teknik tercih edilecekse; osteonekroz dişleri çevrelerse dişle beraber kemiğin alınmasını ve daha önemlisi bu kemiğin çekim soketinden kalan sivri kemik kenarlarının alınmasını önermektedir. Bu sivri kemik kenarlarını alveoler kemiğin ağız ortamı ile ilişkisi kesebilmesi amacıyla mukozal kapanmaya engel olacağını belirtmişlerdir (58). Lazerlerin MRONJ için kullanıldığı çok fazla çalışma da literatürde yer almaktadır (59-61). Er:YAG lazer (2940 nm) ile nekrotik kemiğin kaldırıldığı ve sağlam kemikten kan gelene kadar vaporize edildiği ve diod lazer (808 nm)- Trombositten zengin plazma (TZP) kombinasyonu MRONJ'lar üzerinde etkili tedavi sağlandığı yara yerinin 2 yıl sonraki kontrolünde iyi şekilde kapandığını belirten çalışmalar da bulunmaktadır (62). 20 ayrı bölgede ultrasonik piezocerrahinin ve ek olarak antibiyoterapinin kullanıldığı çalışmada bakteriyel biofilmin değişikliğe uğratıldığı, nekrotik kemiğin sağlam kemiğe kadar alındığı belirtilmektedir (63). Yine piezocerrahi ile 58 yaşındaki hastanın 8 yıldır bifosfonat türevi ilaçlar kullanması sebebiyle oluşan MRONJ'unun flepsiz şekilde tedavi edildiği bildirilmiştir (64). Hipobarik oksijen (HBO) ve ozon terapisinin MRONJ vakalarında kullanıldığı durumlar da literatürde belirtilmiştir. Cerrahiye ve antibiyotiklere yardımcı olarak HBO ve ozon terapisi, MRONJ tedavisinde yararlı olabilir, HBO tera-

pisi ve ardından antibiyotiklerin (levofloksasin ve klaritromisin) kombine kullanılmasıyla da ağrı ve şişlik şikayetlerinin azaldığını belirtilen çalışmalar da bulunmaktadır (65,66). Flor18 etiketli florodeoksiglukoz pozitron emisyon tomografi (FDG-PET) incelemesiyle hastaların cerrahi debridman ardından antibiyotik kullanım ile HBO terapisi alan hastanın kemiğinde belirgin iyileşme görülen çalışmalar bulunmaktadır (67,68). Ozon terapisi uygulanan hastaların 5 yıllık takibinin yapıldığı 131 vaka serilik çalışmada hastaların yaklaşık yüzde 90'ında semptomlarda düzelme ve iyileşmede belirgin artış görülmüştür (69). Cerrahi müdahalenin ardından toplam 8 seans 3 dakikayı geçmeyecek şekilde ozon terapisi ve antibiyotik uygulanan bir başka vaka serisi çalışmasında da hastaların büyük çoğunluğunda belirgin histolojik ve klinik iyileşme görülmüştür (70). Vitamin ve hormon ek takviyelerinin MRONJ tedavisinde kullanımı giderek artmaktadır. Teriparatid de bu ek takviyelerdendir. Teriparatid, rekombinant insan paratiroid hormonunun 1-34 amino asit fragmanını içeren sentetik bir polipeptit hormonudur ve kemik oluşumunu uyararak tek osteoporoz tedavisidir. Doğrudan kemik oluşumunu stimüle ettiği ve ayrıca kemik kuvvetinin üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Osteokalsin(OC) ve çapraz bağlı c-terminal telopeptid tip 1 kollajen (CTX) serum seviyelerinin teriparatid terapisi ile değişiminin değerlendirildiği bir çalışmada 6 hastada OC seviyeleri ve 4 hastada CTX seviyeleri 3. ayda belirgin oranda yükselmiştir ve MRONJ'lar iyileşme göstermiştir (71). 78 yaşındaki kadın hastaya başlangıç düzeyinde teriparatid verilirken MRONJ iyileşmesinin değerlendirildiği çalışmada mukoza lezyonunun üstünü komple kapatmaya başlamış ve 4. haftada ağrısı belirgin oranda azalmıştır (72). Bunların haricinde yapılan hayvan deneyi çalışmalarında vitamin D eksikliğinin MRONJ şiddetini ve görülme sıklığını artırdığı da bildirilmektedir (73,74). Asidik ortamın MRONJ oluşumu için belirgin risk oluşturduğu bu yüzden de alkali ortamın MRONJ'u önleyici olarak engelleyebileceğinin araştırıldığı bir hayvan deneyi çalışmasında ise farelerin dişleri çekilip sodyum bikarbonat çekim soketlerine yerleştirilmiştir. Soketlerde MRONJ oluşmadığı bildirilmiştir (75). Antirezorptif tedavinin kesilmesinin osteonekrozun önlenmesi veya azaltılmasında etkili olup olmadığı hala belirsizdir ve yeteli kanıt mevcut değildir. Çalışmalar, ilacın bırakılmasının dikkate alınan etkisine ilişkin olarak, hiç etki olmamasından minimal etkiye veya evreleme durumuna bağlı olarak değişmektedir. AAOMS, osteonekroz olasılığını azaltmak için oral bifosfonat tedavisinin invaziv diş cerrahisi prosedürlerinden üç ay önce ve üç ay sonrasına kadar kesilmesini önerdi . Bu bilgi en son 2009 yılında revize edilmiştir (37). ARD tedavisi sırasında ilaç tatilinin etkinliğini destekleyecek yeteli kanıt bulunmadığından ve enfeksiyonun varlığı osteonekroz olasılığını bile artırabileceğinden, ilacı bırakmadan önce ilacın farmakokinetiğini göz önünde bulundurmak ve reçete eden hekime danışarak karar vermek gerekir. Kırık ve metastatik ilerleme potansiyeli gibi önemli durumlarda tedaviye devam edilmesi MRONJ riskinden daha ağır

basabilir (76). Diğer bir seçenek, hastaları daha düşük kümülatif dozlarda (iki yıl) bifosfonat veya denosumab ile tedavi etmek ve cerrahi diş prosedürleri sırasında tedaviye devam etmek olabilir. Bu yaklaşım, ADA Bilimsel İşler Konseyi'nin ilaç tatillerine ilişkin önceki tavsiyelerini inceledikten sonra önerildi. Şimdiye kadar ilaç tatilleriyle ilgili çok fazla tartışma vardı ve net bir kanıt yoktu . Ancak son zamanlarda bazı çalışmalar, mini domuz modeline ilaç tatili uygulandığında osteonekroz vakasında %50'lik bir azalmanın gözlemlendiği sonucuna varmıştır (37).

SONUÇ

İlaça ilişkin çene osteonekrozu (MRONJ) oluşumu açısından lokal ve sistemik risk faktörlerini değerlendirerek riskli hastaların belirlenmesi, MRONJ gelişiminin azalması ve önlenmesinde , uygun tedavinin seçilmesinde önem taşımaktadır. İnvaziv dental tedavinin gerekli olduğu antirezorptif ilaç kullanılan ve MRONJ tanısı olan hastalarda, ilaç tedavisinin kesilmesine yönelik hastaya özgü, multidisipliner bir yaklaşım izlenerek yarar ve zarar oranları göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKÇA:

1. Rogers, M. J., Watts, D. J., & Russell, R. G. G. (1997). Overview of bisphosphonates. *Cancer*, 80(s 8), 1652-1660.
2. Kanis, J. A., Gertz, B. J., Singer, F., & Ortolani, S. (1995). Rationale for the use of alendronate in osteoporosis. *Osteoporosis international*, 5, 1-13.
3. Öztürk, E., & Saruhan, N. (2010). İlaça Bağlı Olarak Çene Kemiklerinde Görülen Osteonekroz (Mronj): Derleme. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, 3(1), 8-20.
4. Ruggiero, S. L., Dodson, T. B., Fantasia, J., Goodday, R., Aghaloo, T., Mehrotra, B., & O’Ryan, F. (2014). American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons position paper on medication-related osteonecrosis of the jaw—2014 update. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 72(10), 1938-1956.
5. Van Poznak, C., Somerfield, M. R., Barlow, W. E., Biermann, J. S., Bosserman, L. D., Clemons, M. J., ... & Moy, B. (2017). Role of bone-modifying agents in metastatic breast cancer: an American Society of Clinical Oncology–Cancer Care Ontario focused guideline update. *Journal of Clinical Oncology*, 35(35), 3978-3986.
6. Aapro, M., Abrahamsson, P. A., Body, J. J., Coleman, R. E., Colomer, R., Costa, L., ... & Thürlimann, B. (2008). Guidance on the use of bisphosphonates in solid tumours: recommendations of an international expert panel. *Annals of oncology*, 19(3), 420-432.
7. Stopeck, A. T., Lipton, A., Body, J. J., Steger, G. G., Tonkin, K., De Boer, R. H., ... & Braun, A. (2010). Denosumab compared with zoledronic acid for the treatment of bone metastases in patients with advanced breast cancer: a randomized, double-blind study. *Journal of clinical oncology*, 28(35), 5132-5139.
8. Van den Wyngaert, T., Wouters, K., Huizing, M. T., & Vermorken, J. B. (2011). RANK ligand inhibition in bone metastatic cancer and risk of osteonecrosis of the jaw (ONJ): non bis in idem?. *Supportive Care in Cancer*, 19, 2035-2040.
9. Yu, E. W., Tsourdi, E., Clarke, B. L., Bauer, D. C., & Drake, M. T. (2020). Osteoporosis management in the era of COVID 19. *Journal of bone and mineral research*, 35(6), 1009-1013.
10. Hamadeh, I. S., Ngwa, B. A., & Gong, Y. (2015). Drug induced osteonecrosis of the jaw. *Cancer treatment reviews*, 41(5), 455-464.
11. Baron, R., Ferrari, S., & Russell, R. G. G. (2011). Denosumab and bisphosphonates: different mechanisms of action and effects. *Bone*, 48(4), 677-692.
12. Russell, R. G. G. (2011). Bisphosphonates: the first 40 years. *Bone*, 49(1), 2-19.
13. Van Beek, E., Pieterman, E., Cohen, L., Löwik, C., & Papapoulos, S. (1999). Farnesyl pyrophosphate synthase is the molecular target of nitrogen-containing bisphosphonates. *Biochemical and biophysical research communications*, 264(1), 108-111.

14. Marx, R. E. (2003). Pamidronate (Aredia) and zoledronate (Zometa) induced avascular necrosis of the jaws: a growing epidemic. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 61(9), 1115-1117.
15. Cavanna, L., Bertè, R., Arcari, A., Mordenti, P., Pagani, R., & Vallisa, D. (2007). Osteonecrosis of the jaw. A newly emerging site-specific osseous pathology in patients with cancer treated with bisphosphonates. Report of five cases and review of the literature. *European Journal of Internal Medicine*, 18(5), 417-422.
16. Marx, R. E., Sawatari, Y., Fortin, M., & Broumand, V. (2005). Bisphosphonate-induced exposed bone (osteonecrosis/osteopetrosis) of the jaws: risk factors, recognition, prevention, and treatment. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 63(11), 1567-1575.
17. Mashiba, T., Mori, S., Komatsubara, S., Cao, Y., Manabe, T., Norimatsu, H., & Burr, D. B. (2005). The effects of suppressed bone remodeling by bisphosphonates on microdamage accumulation and degree of mineralization in the cortical bone of dog rib. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 23, 36-42.
18. Ruggiero, S. L., Dodson, T. B., Aghaloo, T., Carlson, E. R., Ward, B. B., & Kademani, D. (2022). American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons' position paper on medication-related osteonecrosis of the jaws—2022 update. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 80(5), 920-943.
19. Tanna, N., Steel, C., Stagnell, S., & Bailey, E. (2017). Awareness of medication related osteonecrosis of the jaws (MRONJ) amongst general dental practitioners. *British dental journal*, 222(2), 121-125.
20. Saad, F., Brown, J. E., Van Poznak, C., Ibrahim, T., Stemmer, S. M., Stopeck, A. T., ... & Dansey, R. (2012). Incidence, risk factors, and outcomes of osteonecrosis of the jaw: integrated analysis from three blinded active-controlled phase III trials in cancer patients with bone metastases. *Annals of oncology*, 23(5), 1341-1347.
21. Fortunato, L., Amato, M., Simeone, M., Bennardo, F., Barone, S., & Giudice, A. (2018). Numb chin syndrome: A reflection of malignancy or a harbinger of MRONJ? A multicenter experience. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 119(5), 389-394
22. Wongratwanich, P., Shimabukuro, K., Konishi, M., Nagasaki, T., Ohtsuka, M., Suei, Y., ... & Kakimoto, N. (2021). Do various imaging modalities provide potential early detection and diagnosis of medication-related osteonecrosis of the jaw? A review. *Dentomaxillofacial Radiology*, 50(6), 20200417.
23. Olutayo, J., Agbaje, J. O., Jacobs, R., Verhaeghe, V., Velde, F. V., & Vinckier, F. (2010). Bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw bone: radiological pattern and the potential role of CBCT in early diagnosis. *Journal of oral & maxillofacial research*, 1(2).
24. Moreno Rabie, C., Cavalcante Fontenele, R., Oliveira Santos, N., Nogueira Reis, F., Van den Wyngaert, T., & Jacobs, R. (2023). Three-dimensional clinical assessment for MRONJ risk in oncologic patients following tooth extractions. *Dentomaxillofacial Radiology*, 52(8), 20230238.

25. Aghaloo, T. L., Dry, S. M., Mallya, S., & Tetradis, S. (2014). Stage 0 osteonecrosis of the jaw in a patient on denosumab. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 72(4), 702-716.
26. Moreno-Rabié, C., Gaêta-Araujo, H., Oliveira-Santos, C., Politis, C., & Jacobs, R. (2020). Early imaging signs of the use of antiresorptive medication and MRONJ: a systematic review. *Clinical oral investigations*, 24, 2973-2989.
27. Ristow, O., Schnug, G., Smielowksi, M., Moratin, J., Pilz, M., Engel, M., ... & Rückschloß, T. (2023). Diagnostic accuracy comparing OPT and CBCT in the detection of Non Vital bone changes before tooth Extractions in patients with Antiresorptive intake. *Oral Diseases*, 29(3), 1039-1049.
28. Barragan-Adjemian, C., Lausten, L., Ang, D. B., Johnson, M., Katz, J., & Bonewald, L. F. (2008). Bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw: model and diagnosis with cone beam computerized tomography. *Cells Tissues Organs*, 189(1-4), 284-288.
29. Querrer, R., Ferrare, N., Melo, N., Stefani, C. M., Dos Reis, P. E. D., Mesquita, C. R. M., ... & Figueiredo, P. T. (2021). Correction to: Differences between bisphosphonate-related and denosumab-related osteonecrosis of the jaws: a systematic review. *Supportive Care in Cancer*, 29, 4171-4173.
30. Pichardo, S. E., Ten Broek, F. W., Fiocco, M., Appelman-Dijkstra, N. M., & van Merkesteyn, J. R. (2020). A comparison of the cone beam computed tomography findings in medication-related osteonecrosis of the jaws related to denosumab versus bisphosphonates: an observational pilot study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 129(4), 411-417.
31. Saia, G., Blandamura, S., Bettini, G., Tronchet, A., Totola, A., Bedogni, G., ... & Bedogni, A. (2010). Occurrence of bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw after surgical tooth extraction. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 68(4), 797-804.
32. Mücke, T., Krestan, C. R., Mitchell, D. A., Kirschke, J. S., & Wutzl, A. (2016, July). Bisphosphonate and medication-related osteonecrosis of the jaw: a review. In *Seminars in musculoskeletal radiology* (Vol. 20, No. 03, pp. 305-314). Thieme Medical Publishers.
33. Ferlito, S., Puzzo, S., & Liardo, C. (2011). Preventive protocol for tooth extractions in patients treated with zoledronate: a case series. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69(6), e1-e4.
34. Mallya, S. M., & Tetradis, S. (2018). Imaging of radiation-and medication-related osteonecrosis. *Radiologic Clinics*, 56(1), 77-89.
35. Rocha, G. C. M. A., Jaguar, G. C., Moreira, C. R., Neves, E. G., Fonseca, F. P., & Pedreira, E. N. (2012). Radiographic evaluation of maxillofacial region in oncology patients treated with bisphosphonates. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*, 114(5), S19-S25.
36. Aguirre, J. I., Castillo, E. J., & Kimmel, D. B. (2021). Preclinical models of medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ). *Bone*, 153, 116184.

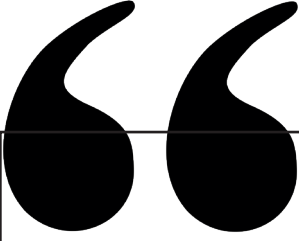
37. AlRowis, R., Aldawood, A., AlOtaibi, M., Alnasser, E., AlSaif, I., Aljaber, A., & Natto, Z. (2022). Medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ): a review of pathophysiology, risk factors, preventive measures and treatment strategies. *The Saudi Dental Journal*, 34(3), 202-210.
38. Rupel, K., Ottaviani, G., Gobbo, M., Contardo, L., Tirelli, G., Vescovi, P., ... & Biasotto, M. (2014). A systematic review of therapeutical approaches in bisphosphonates-related osteonecrosis of the jaw (BRONJ). *Oral oncology*, 50(11), 1049-1057.
39. Van den Wyngaert, T., Huizing, M. T., Fossion, E., & Vermorken, J. B. (2009). Bisphosphonates in oncology: rising stars or fallen heroes. *The oncologist*, 14(2), 181-191.
40. Esmaeilzadeh, S., Şen, E. İ., Aydın, T., Dernek, B., & Eskiuyurt, N. (2014). Osteoporoz Tanısı ile Oral Bisfosfonat Kullanan Hastada Çene Osteonekrozu Gelişimi: Olgu Sunumu. *Turkish Journal of Osteoporosis/Turk Osteoporoz Dergisi*, 20(2).
41. Palaska, P. K., Carstos, V., & Zavras, A. I. (2009). Bisphosphonates and time to osteonecrosis development. *The oncologist*, 14(11), 1154-1166.
42. Loyson, T., Van Cann, T., Schöffski, P., Clement, P. M., Bechter, O., Spriet, I., ... & Beuselinck, B. (2018). Incidence of osteonecrosis of the jaw in patients with bone metastases treated sequentially with bisphosphonates and denosumab. *Acta Clinica Belgica*, 73(2), 100-109
43. Limones, A., Sáez-Alcaide, L. M., Díaz-Parreño, S. A., Helm, A., Bornstein, M. M., & Molinero-Mourelle, P. (2020). Medication-related osteonecrosis of the jaws (MRONJ) in cancer patients treated with denosumab VS. zoledronic acid: A systematic review and meta-analysis. *Medicina oral, patología oral y cirugía bucal*, 25(3), e326
44. Favia, G., Tempesta, A., Limongelli, L., Crincoli, V., & Maiorano, E. (2018). Medication related osteonecrosis of the jaw: Surgical or non surgical treatment?. *Oral diseases*, 24(1-2), 238-242.)
45. Rosen, H. N., Moses, A. C., Garber, J., Iloputaife, I. D., Ross, D. S., Lee, S. L., & Greenspan, S. L. (2000). Serum CTX: a new marker of bone resorption that shows treatment effect more often than other markers because of low coefficient of variability and large changes with bisphosphonate therapy. *Calcified tissue international*, 66, 100-103.
46. Bagan, J. V., Jiménez, Y., Gómez, D., Sirera, R., Poveda, R., & Scully, C. (2008). Collagen telopeptide (serum CTX) and its relationship with the size and number of lesions in osteonecrosis of the jaws in cancer patients on intravenous bisphosphonates. *Oral oncology*, 44(11), 1088-1089.
47. O'connell, J. E., Ikeagwani, O., & Kearns, G. J. (2012). A role for C-terminal cross-linking telopeptide (CTX) level to predict the development of bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaws (BRONJ) following oral surgery?. *Irish journal of medical science*, 181, 237-242.
48. Marx, R. E., Cillo Jr, J. E., & Ulloa, J. J. (2007). Oral bisphosphonate-induced oste-

- onecrosis: risk factors, prediction of risk using serum CTX testing, prevention, and treatment. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 65(12), 2397-2410.
49. Kwon, Y. D., Kim, D. Y., Ohe, J. Y., Yoo, J. Y., & Walter, C. (2009). Correlation between serum C-terminal cross-linking telopeptide of type I collagen and staging of oral bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaws. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 67(12), 2644-2648.
 50. Kwon, Y. D., Kim, Y. R., Choi, B. J., Lee, D. W., & Kim, D. Y. (2009). Oral bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaws: favorable outcome after bisphosphonate holiday. *Quintessence International*, 40(4).
 51. Fedele, S., Bedogni, G., Scoletta, M., Favia, G., Colella, G., Agrillo, A., ... & Bedogni, A. (2015). Up to a quarter of patients with osteonecrosis of the jaw associated with antiresorptive agents remain undiagnosed. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 53(1), 13-17.
 52. Bedogni, A., Fedele, S., Bedogni, G., Scoletta, M., Favia, G., Colella, G., ... & Campisi, G. (2014). Staging of osteonecrosis of the jaw requires computed tomography for accurate definition of the extent of bony disease. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 52(7), 603-608.
 53. Gaudin, E., Seidel, L., Bacevic, M., Rompen, E., & Lambert, F. (2015). Occurrence and risk indicators of medication related osteonecrosis of the jaw after dental extraction: a systematic review and meta analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 42(10), 922-932.
 54. Ristow, O., & Pautke, C. (2014). Auto-fluorescence of the bone and its use for delineation of bone necrosis. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 43(11), 1391-1393.
 55. Fleisher, K. E., Doty, S., Kottal, S., Phelan, J., Norman, R. G., & Glickman, R. S. (2008). Tetracycline-guided debridement and cone beam computed tomography for the treatment of bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw: a technical note. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 66(12), 2646-2653.
 56. Pautke, C., Bauer, F., Tischer, T., Kreutzer, K., Weitz, J., Kesting, M., ... & Wolff, K. D. (2009). Fluorescence-guided bone resection in bisphosphonate-associated osteonecrosis of the jaws. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 67(3), 471-476.
 57. Ristow, O., Otto, S., Troeltzsch, M., Hohlweg-Majert, B., & Pautke, C. (2015). Treatment perspectives for medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ). *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 43(2), 290-293.
 58. Otto, S., Schreyer, C., Hafner, S., Mast, G., Ehrenfeld, M., Stürzenbaum, S., & Pautke, C. (2012). Bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaws—characteristics, risk factors, clinical features, localization and impact on oncological treatment. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 40(4), 303-309.
 59. Vescovi, P., Meleti, M., Merigo, E., Manfredi, M., Fornaini, C., Guidotti, R., & Nammour, S. (2013). Case series of 589 tooth extractions in patients under bisphosphonates therapy. Proposal of a clinical protocol supported by Nd: YAG

low-level laser therapy. *Medicina oral, patología oral y cirugía bucal*, 18(4), e680.

60. Vescovi, P., Manfredi, M., Merigo, E., Meleti, M., Fornaini, C., Rocca, J. P., & Nam-mour, S. (2010). Surgical approach with Er: YAG laser on osteonecrosis of the jaws (ONJ) in patients under bisphosphonate therapy (BPT). *Lasers in medical science*, 25, 101-113.
61. Romeo, U., Galanakis, A., Marias, C., Vecchio, A. D., Tenore, G., Palaia, G., ... & Polimeni, A. (2011). Observation of pain control in patients with bisphospho-nate-induced osteonecrosis using low level laser therapy: preliminary re-sults. *Photomedicine and Laser Surgery*, 29(7), 447-452.
62. Fornaini, C., Cella, L., Oppici, A., Parlatore, A., Clini, F., Fontana, M., ... & Merigo, E. (2017). Laser and Platelet-Rich Plasma to treat Medication-Related Oste-neocrosis of the Jaws (MRONJ): a case report. *Laser therapy*, 26(3), 223-227.
63. Blus, C., Giannelli, G., Szmukler-Moncler, S., & Orru, G. (2017). Treatment of medication-related osteonecrosis of the jaws (MRONJ) with ultrasonic piezo-electric bone surgery. A case series of 20 treated sites. *Oral and maxillofacial surgery*, 21, 41-48.
64. Ghurye, S., Kwok, J., Thakrar, P., & Patel, V. (2017). The use of piezoelectric surgical debridement in the management of bisphosphonate osteonecrosis of the jaw: a case report. *Oral Surgery*, 10(4), e71-e76.
65. Freiberger, J. J., Padilla-Burgos, R., Chhoeu, A. H., Kraft, K. H., Boneta, O., Moon, R. E., & Piantadosi, C. A. (2007). Hyperbaric oxygen treatment and bisphospho-nate-induced osteonecrosis of the jaw: a case series. *Journal of Oral and Maxil-lofacial Surgery*, 65(7), 1321-1327.
66. Shimura, K., Shimazaki, C., Taniguchi, K., Akamatsu, S., Okamoto, M., Uchida, R., ... & Taniwaki, M. (2006). Hyperbaric oxygen in addition to antibiotic therapy is effective for bisphosphonate-induced osteonecrosis of the jaw in a patient with multiple myeloma. *International journal of hematology*, 84, 343-345.
67. Fatema, C. N., Sato, J., Yamazaki, Y., Hata, H., Hattori, N., Shiga, T., ... & Kitagawa, Y. (2015). FDG-PET may predict the effectiveness of hyperbaric oxygen ther-apy in a patient with bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw: report of a case. *Odontology*, 103, 105-108.
68. Yamazaki, Y., Kitagawa, Y., Hata, H., Abe, T., Murai, C., Shiga, T., & Tamaki, N. (2010). Use of FDG PET to evaluate hyperbaric oxygen therapy for bisphospho-nate-related osteonecrosis of the jaw. *Clinical Nuclear Medicine*, 35(8), 590-591.
69. Agrillo, A., Filiaci, F., Ramieri, V., Riccardi, E., Quarato, D., Rinna, C., ... & Ungari, C. (2012). Bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw (BRONJ): 5 year experience in the treatment of 131 cases with ozone therapy. *Eur Rev Med Phar-macol Sci*, 16(12), 1741-7.
70. Agrillo, A., Ungari, C., Filiaci, F., Priore, P., & Iannetti, G. (2007). Ozone therapy in the treatment of avascular bisphosphonate-related jaw osteonecrosis. *Journal of Craniofacial Surgery*, 18(5), 1071-1075.

71. Kwon, Y. D., Lee, D. W., Choi, B. J., Lee, J. W., & Kim, D. Y. (2012). Short-term teriparatide therapy as an adjunctive modality for bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaws. *Osteoporosis International*, 23, 2721-2725.
72. Lee, J. J., Cheng, S. J., Jeng, J. H., Chiang, C. P., Lau, H. P., & Kok, S. H. (2011). Successful treatment of advanced bisphosphonate related osteonecrosis of the mandible with adjunctive teriparatide therapy. *Head & neck*, 33(9), 1366-1371.
73. Hokugo, A., Christensen, R., Chung, E. M., Sung, E. C., Felsenfeld, A. L., Sayre, J. W., ... & Nishimura, I. (2010). Increased prevalence of bisphosphonate related osteonecrosis of the jaw with vitamin D deficiency in rats. *Journal of bone and mineral research*, 25(6), 1337-1349.
74. Yanık, S., Aras, M. H., Erkıılıç, S., Bozdağ, Z., Demir, T., & Çetiner, S. (2016). Histopathological features of bisphosphonates related osteonecrosis of the jaw in rats with and without vitamin d supplementation. *Archives of oral biology*, 65, 59-65.
75. Dayısoylu, E. H., Üngör, C., Tosun, E., Ersöz, S., Duman, M. K., Taskesen, F., & Şenel, F. Ç. (2014). Does an alkaline environment prevent the development of bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaw? An experimental study in rats. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*, 117(3), 329-334.
76. Liu, C., Xiong, Y. T., Zhu, T., Liu, W., Tang, W., & Zeng, W. (2022). Management of tooth extraction in patients taking Antiresorptive drugs: an evidence mapping review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 12(1), 239.



Bölüm 3

İRRİGASYON AKTİVASYON SİSTEMLERİ

Büşra FİDANOĞLU¹

Pelin TÜFENKÇİ²

Merve SARI³

1 (Arş.Gör.Dt.) Mustafa Kemal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0003-4842-5024

2 (Doç.Dr.) Mustafa Kemal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0001-9881-5395

3 (Dr.Öğr. Üyesi) Mustafa Kemal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-9432-3809

1. MANUEL YÖNTEMLER

1.1 Standart İğne İrrigasyonu

Endodontide en yaygın kullanılan yöntem, kolay kullanımı ve düşük maliyeti nedeniyle standart iğne ile irrigasyondur (Sİİ). Son dönemde yeni tekniklerin ortaya çıkmasıyla iğne ile irrigasyon yöntemi daha az tercih edilmektedir. Farklı çap, uç açıklıkları ve esneklik özelliklerine sahip çeşitli iğne tipleri bulunmaktadır. Büyük hacimli iğneler zaman tasarrufu sağlarken, basınç kontrolünün sağlanamaması nedeniyle komplikasyon oluşma riski artmaktadır. Daha iyi irrigasyon güvenliği, solüsyon akışı ve basınç kontrolü sağlamak amacıyla 1-5 mL hacminde iğnelerin kullanılması önerilmektedir. Ayrıca tüm endodontik irrigasyon iğnelerinin Luer kilit tasarımına sahip olması gerekmektedir. Kilitlenebilen Luer-Lock modeli sayesinde iğnenin gövdeden kolay bir şekilde ayrılmasının önüne geçilerek güvenli bir kullanım ortaya çıkarmaktadır. (Haapasalo et al., 2010)

Önceden endodontik irrigasyon için 25-G iğnelerin kullanımı yaygınken, günümüzde rutin kullanımda 27-30-31-G iğneler kullanılmaktadır. Optimal iğne tasarımı konusunda net bir fikir birliği olmamakla birlikte, tercih edilen iğne tipi ve boyutunun, kapalı uçlu 30 G yandan delikli bir iğne olduğu görülmektedir. Kök kanal sistemindeki eğimler göz önüne alındığında 31 G iğneler yakın gelecekte standart haline gelebileceği düşünülmektedir. (Bronnec et al., 2010; Zehnder, 2006)

Endodontik irrigasyon iğnelerinde, mevcut iki uç açıklığı tasarımı kategorisi vardır. Birincisi, irrigantın uçtan doğrudan akışını kolaylaştıran açık uçlu iğnelerdir. İkincisi ise irrigantın bir veya daha fazla taraftan akışını kolaylaştıran kapalı uçlu iğnelerdir. (Christos Boutsoukis et al., 2010) Yapılan birçok çalışma kök kanal şekillendirilmesi sırasında kök kanal konikliğinin, iğne ucu penetrasyon derinliğinin, kök kanal boyutunun final apikal genişliğinin, kullanılan farklı iğne tiplerinin irrigasyon solüsyonu akışına etkisini incelemiştir. (C. Boutsoukis, T. Lambrianidis, et al., 2010) (C. Boutsoukis, C. Gogos, et al., 2010a) (C. Boutsoukis, C. Gogos, et al., 2010b) (Christos Boutsoukis et al., 2010) Farklı iğne tipleri kullanılarak kök kanalındaki irrigasyon akışının incelendiği bir çalışmada, açık uçlu iğnelerin akış şeklinin kapalı uçlu iğnelere farklı olduğu ve açık uçlu iğnelerin daha fazla irrigasyon solüsyonu değişimi sağladığı fakat bu durumun daha yüksek apikal basınca sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple açık uçlu iğneler, irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonunu önlemek için çalışma uzunluğundan 2-3 mm daha kısa olarak serbest hareket edebilecek şekilde kök kanalına yerleştirilmelidir.

Final apikal preparasyon boyutunun irrigasyon solüsyonu akışı üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışmada, irrigasyon solüsyonunun çalışma uzunluğu boyunca kanal duvarlarına yeterli penetrasyon sağlayabilmesi apikal genişliğin en az 30 veya 35 numaralı el aleti boyutunda olması gerektiği belirtilmiştir. Bu

doğrultuda, klinisyenlerin, etkili mekanik irrigasyonu sağlarken kanal preparasyonunun boyutunu da dikkate alarak bu iki faktör arasında uygun bir denge kurmaları gerekmektedir.(C. Boutsoukis, C. Gogos, et al., 2010a)

Standart iğne irrigasyonu sırasında hava kabarcıklarının kök kanalının apikal kısmında sıkışıp kaldığı ve irrigasyonun penetrasyonunu tamamen bloke edildiği apikal buhar kilidi fenomeni, irrigasyon solüsyonlarının değişimini engellemekte ve solüsyonların debris uzaklaştırma etkinliğini azaltmaktadır. (Tay et al., 2010) Ayrıca, standart iğne irrigasyonundan sonra kök kanal sisteminde bakteri ve debris barındıran erişilemeyen alanların olduğu gözlenmiştir.(Wu & Wesselink, 2001)

1.2 Manuel Dinamik Aktivasyon

El eğeleri, fırçalar veya kanal konikliğine ve apikal genişliğine uygun bir güta perka ile uygulanan, çalışma uzunluğunda yukarı-şağı bir hareketle yapılan irrigasyon yöntemi olan Manuel dinamik aktivasyon (MDA), ilk olarak 1980’de tanıtılmıştır. Bu yöntem, irrigasyon solüsyonunun tüm kök kanalı boyunca ilerleyebilmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.(Machtou, 2015)

Huang ve ark., boyalı kollajen biyofilm modelini kullandıkları bir çalışmada, MDA yönteminin, standart iğne ile irrigasyona kıyasla kök kanal duvarlarından boyalı kollajenin çıkarılmasında belirgin derecede daha etkili olduğunu göstermişlerdir. (Huang et al., 2008)

McGill ve ark., kök kanal duvarlarından debris uzaklaştırmada hidrodinamik bir cihaz olan RinsEndo’nun (Durr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany) MDA’dan önemli ölçüde daha az etkili olduğunu bildirmiştir. (McGill et al., 2008) (Vivan et al., 2010)

Dar isthmus ve kapalı apekse sahip mandibular 1. molarların mesial kökünde Apikal negatif basınç yöntemi (ANB) (EndoVac, Discus Dental, Culver City, USA) ve MDA’ nın debris uzaklaştırma etkinliğinin incelendiği bir çalışmada, her iki yöntemin de isthmustan tamamen debris uzaklaştıramadığını ve ANB’nin etkinliğinin daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.(Susin et al., 2010)

Açılı ve açısız ana kon ile uygulanan MDA, devamlı ultrasonik irrigasyon yöntemi ve ANB yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada; ultrasonik irrigasyonun en etkili yöntem olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kanal anatomisine uyumlu ana kon ile uygulanan MDA’nın sağlanan geri akım boşluğu sayesinde açısız ana kon ile uygulanan yöntemle göre daha etkili olduğu vurgulanmıştır. (Jiang et al., 2012)

İrrigasyon aktivasyonu sırasında sıklıkla gözlenen apikal ekstrüzyon riskinin MDA tekniğinin doğru kullanımı ile önlenemediği belirtilmiştir.(Caron et al., 2010)

1.3 Manuel Fırçalar

Manuel fırçalar, kök kanal duvarlarından debrisin uzaklaştırılması veya irrigasyon solüsyonunun aktivasyonu için tasarlanmış yardımcı aletlerdir. Bu amaç için endodontide EndoBrush (C&S Microinstruments Ltd, Kanada), CanalBrush (Coltène Whaledent GmbH+Co. KG, Langenau, Almanya) ve 30-gauge'lik irrigasyon iğnesi üzerine fırça yerleştirilmiş olan NaviTip FX (Ultradent, SouthJordan, UT) gibi araçlar geliştirilmiştir.

NaviTip FX adlı ürün, fırçayla kaplı 30-G çaplı bir irrigasyon iğnesidir. NaviTip ve NaviTip FX iğnesiyle yapılan bir araştırma, NaviTip FX'in şekillendirilmiş kök kanallarının koronal bölgesindeki kanal duvarlarında daha etkin bir temizlik sağladığını, ancak apikal ve orta bölgede anlamlı bir fark oluşturmadığını göstermiştir.(Al-Hadlaq et al., 2006)

Endobrush, plastik kıllardan yapılmış ve kök kanalındaki artıkları temizlemek için tasarlanmış, bükülmüş tellere yerleştirilmiş bir spiral fırçadır. Endobrush'taki fırçanın kıllarının, şekillendirilmemiş kanal duvarlarına ve kanal sisteminin düzensizliklerine ulaştığı iddia edilmiştir. Ancak, Endobrush'un boyutundan dolayı çalışma uzunluğunda kullanılamamasının, fırçalama sonrasında kanalın apikal bölgesinde debris birikimine neden olabileceği ifade edilmiştir.(Keir et al., 1990)

2.MAKİNE DESTEKLİ YÖNTEMLER

2.1. Negatif Basınç Prensibiyle Çalışan İrrigasyon Aktivasyon Sistemleri

Kök kanallarının karmaşık yapısına rağmen, irrigasyon solüsyonunu tüm kök kanal uzunluğu boyunca iletmek ve etkili bir hidrodinamik mekanizma elde etmek için, irrigasyon solüsyonunu kök kanalına eş zamanlı olarak enjekte eden ve geri çeken apikal negatif basınç (ANB) sistemleri geliştirilmiştir.(Paul et al., 2013) Bu sistem, kökün apikal üçlüsünde güvenli ve apikalden daha düşük oranda ekstrüzyon riski ile sürekli bir irrigasyon solüsyon akışı sağlamayı amaçlamaktadır.(Desai & Himel, 2009)

2.1.1. EndoVac

EndoVac (Discus Dental, Kaliforniya, ABD), ANB irrigasyon yöntemi ile çalışan bir sistemdir. Apikal negatif basınç (ANP) iletim tekniği, irrigasyon solüsyonunu pulpa odasına ileten ve fazlalığı vakumlayan bir ana iletim ucu, irrigantları kanalın orta üçlüsüne kadar emen bir makro kanül ve apekten 0,2 mm uzağa yerleştirilen ve çoklu mikro gözenekler aracılığıyla negatif basınç oluşturarak irrigantın apikal bölgeye iletimini artıran ve kapsamlı temizlik sağlayan bir mikro kanülden oluşur.(Nielsen & Baumgartner, 2007) Mikro kanülün çalışma boyunda kullanılabilmesi için üretici firma, en az 40/.02 boyutunda apikal preparasyon yapılmasını önermektedir.(Glassman & Charara, 2015)

Nielsen ve Baumgartner çalışma uzunluğundan 1 mm mesafede EndoVac

kullanımının, Sİİ'ye kıyasla anlamlı derecede daha etkili bir debris uzaklaştırma etkinliği sağladığını belirtmiştir.(Nielsen & Craig Baumgartner, 2007)

Alghamdi ve ark.'nın yaptığı sistematik bir derleme, standart iğne irrigasyonu ile apikal negatif basınç prensibiyle çalışan sistemlerin kök kanal dezenfeksiyonu ve periapikal doku onarımı üzerindeki etkilerini karşılaştırmıştır. (Alghamdi & Almeahadi, 2019) Apikal negatif basınç ile çalışan irrigasyon aktivasyon sistemlerinin, kök kanal sisteminden enflamatuvar infiltratı azaltmada ve periapikal onarımı sağlamada standart iğne irrigasyonuna kıyasla daha üstün bir etki gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, derlemeye dahil edilen çalışmaların heterojen olduğu belirtilmiş ve kök kanal tedavisinin uzun dönem sonuçları ve klinik başarısını değerlendiren, kontrollü klinik çalışmalara ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır.(Alghamdi & Almeahadi, 2019)

Sodyum hipoklorit (NaOCl) solüsyonunun apikal bölgeden periapikal dokulara taşması ciddi yan etkilere yol açabileceğinden, bu durum istenmeyen bir komplikasyon olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, kullanılan irrigasyon aktivasyon yönteminin güvenilirliği büyük önem taşır. EndoVac sistemi, irrigasyon solüsyonunun apikal bölgelere etkili bir şekilde iletilmesi ve debrisin verimli şekilde uzaklaştırılmasının yanı sıra, solüsyon ve debrisin periapikal dokulara zarar verme riskini en aza indirmek amacıyla aspirasyon yaparak güvenliği sağlar. Yapılan çalışmalar ANP'nin Sİİ ile karşılaştırıldığında apikal foramenden periapikal dokulara irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu riskini azaltmada avantajlı olduğunu desteklemektedir.(Azim et al., 2018; Boutsoukis et al., 2013; Mitchell et al., 2010)

2.1.2. RinsEndo

RinsEndo sistemi (Dürr Dental Se, Höpfigheimer, Bietigheim-Bissingen, Almanya) apikal negatif basınç teknolojisine sahip bir cihazdır. Irrigasyon solüsyonunun hidrodinamik aktivasyonunu ve negatif basınçlı irrigasyonu sağlamak amacıyla, kök kanalının apikal üçte birlik kısmına yerleştirilen ultra ince ve esnek bir kanül kullanılmaktadır. 1.6 Hz frekansta salınan 65 mL irrigasyon solüsyonu ana hazneden çekilmekte ve bir kanül vasıtasıyla kök kanalına iletilmektedir. Aspirasyon aşamasında kullanılan solüsyon ve hava, kök kanallarından geri çekilmekte ve otomatik olarak taze solüsyon geri verilmektedir. Bu özellik sayesinde irrigasyon solüsyonun penetrasyonu artmaktadır. Bu döngü dakikada yaklaşık 100 kez tekrarlanmaktadır. RinsEndo üreticisi, kanülün atımlı sıvı akışı özelliği sayesinde, kök kanalının koronal üçte birlik kısmıyla sınırlanarak kanalın apikal üçte birlik kısmının etkili bir şekilde irrigate edilebileceğini iddia etmektedir.(L.-s. Gu et al., 2009)

McGill ve ark., Rinsendo'nun kök kanal yüzeylerine uygulanan kollajen tabakasını temizlemede MDA'ya kıyasla daha az etkili olduğunu tespit etmişlerdir. (McGill et al., 2008) Bununla birlikte, kimyasal debridman etkinliği veya tedavi sonuçlarına etkisini gösteren çalışmalar sınırlıdır.(McGill et al., 2008)

Hauser ve ark.'nın dentine penetrasyon açısından RinsEndo'nun Sİİ'ye göre daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak, RinsEndo'nun daha fazla apikal ekstrüzyona yol açtığı belirtilmiştir.(Hauser et al., 2007) İrrigasyon aktivasyon yöntemlerinin apikal ekstrüzyon açısından güvenilirliğini inceleyen bir başka çalışmada ise, Sİİ, ultrasonik ve RinsEndo gruplarının, EndoVac ve EndoActivator (EA, Dentsplay, Tulsa, ABD) gruplarına kıyasla anlamlı derecede daha fazla ekstrüzyon oluşturduğu, EndoVac grubunun ise ekstrüzyon oluşturmadığı belirlenmiştir.(Desai & Himel, 2009)

2.2. Şekillendirme İle Birlikte Sürekli İrrigasyon Yapan Sistemler

Bu sistemlerde, kök kanallarını aşındırıcı yüzeyi ile genişleten ve aynı anda titreşimli bir hareketle irrigasyon solüsyonunu kanala ileten özel bir mekanizma kullanılmaktadır. Bu yöntem, oval kanallar da dahil olmak üzere tüm kök kanallarının etkili bir şekilde temizlenmesini sağlar ve kanal morfolojisinin her bölgesinin dezenfeksiyonunu ve obturasyonunu mümkün kılar. Ayrıca, kök kanalının çevresinden eşit miktarda dentin tabakasını kaldırarak sağlam dentinin gereksiz aşındırılmasını önleyen yeni bir temizleme ve şekillendirme konsepti kullanır.(Paqué et al., 2012)

2.2.1. Self-Adjusting-File

Self-Adjusting File (SAF) (Re-Dent Nova, Ra'anana, İsrail), minimal invaziv endodontik tedavi için tasarlanmış, şekillendirme ve irrigasyonu aynı anda gerçekleştiren bir cihazdır. Cihaz, özel bir başlığa takılan içi boş bir döner alet ile bu aletin boşluğu boyunca sürekli akış sağlayan bir irrigasyon pompasından oluşur.(Metzger et al., 2010)

SAF, sert metal bir kor yapısında tasarlanmayan ilk egedir. İnce Ni-Ti kafesten yapılmış içi boş bir tüp olarak tasarlanmıştır. Kök kanalının kesitine üç boyutlu adaptasyon sağlar. Ayrıca çapı 1,5 mm olmasına rağmen # 20 K tipi eğenin girebileceği kadar dar kanallara sıkıştırılarak yerleştirilebilmektedir. Kanalın enine kesitine de uyum sağlayarak oval kanallarda meziodistal olarak sıkışıp bukkolingual olarak genişleyebilmektedir. Bu tasarımı nedeniyle kanal içinde döndürülerek değil içeri dışarı titreşimlerle çalışmaktadır. Ayrıca SAF, dakikada 3.000-5.000 titreşime ve 0,4 mm genliğe sahip transline (içeri ve dışarı) titreşimli piyasemenlerle çalıştırılır.(Metzger & Kfir, 2015; Metzger et al., 2013)

De-Deus ve ark., oval kök kanallarında SAF sistemi kullanıldığında kalan pulpa dokusu yüzdesinin, ProTaper Ni-Ti eğeye kıyasla (Dentsply-Maillefer, Balleigues, İsviçre) anlamlı ölçüde daha az olduğunu rapor etmişlerdir. Bu bulguyu, döner ege sistemlerinin çoğunun oval kanalların bukkal ve/veya lingual girintilerine ulaşamaması ile ilişkilendirmişlerdir. Ayrıca, SAF sisteminin sürekli irrigasyon sağlamanın bu üstünlüğe katkıda bulunabileceği düşünülmüştür.(De-Deus et al., 2011)

Dietrich ve ark., SAF, WaveOne (Dentsply-Tulsa Dental, Tulsa, OK) ve geleneksel NiTi döner ege sistemlerinin debris uzaklaştırma etkinliğinin karşılaştırdıkları bir çalışmada, üç ege sistemi arasında kanal temizliği açısından anlamlı bir fark bulamamışlardır. Bunun yanı sıra, SAF'ı diğer sistemlerle enstrümantasyon sonrasında bir irrigasyon cihazı olarak da kullanmışlar ve SAF'ın bu şekilde kullanıldığında kök kanallarının dezenfeksiyonunu ve temizliğini artırabilecek yardımcı bir yöntem olabileceğini öne sürmüşlerdir. (Dietrich et al., 2012)

2.2.2. Quantec-E

Quantec-E cihazı (SybronEndo, California, ABD) SybronEndo tarafından geliştirilmiş olup kök kanal tedavisi sırasında sürekli irrigasyon sağlayan özel bir endodontik sistemdir. Quantec-E, bir pompa, iki irrigasyon rezervuarı ve irrigasyon solüsyonunun kanala ulaşmasını sağlayan bir kanül içeren bir yapıdan oluşur.

Walter ve ark. irrigasyon, Quantec-E'nin Sİİ'ye kıyasla daha yüksek hacimde solüsyona izin verdiğini, daha hızlı olduğu ancak smear tabakası uzaklaştırma etkinliğinin anlamlı fark oluşturmadığını gözlemlemişlerdir. (Walters et al., 2002) Benzer şekilde Setlock ve ark.'nın Sİİ ile Quantec-E cihazının smear tabakası uzaklaştırma etkinliklerini karşılaştırdıkları çalışmada, kök kanal sisteminin koronal üçlüsünde Quantec-E cihazının anlamlı fark oluşturduğunu ancak orta ve apikal üçlülerde Sİİ'ye kıyasla istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturmadığını rapor etmişlerdir. (Setlock et al., 2003)

2.3. Döner Başlıkla Birlikte Kullanılan İrrigasyon Sistemleri

2.3.1. Döner fırçalar

Mikro fırçalar ilk kez Ruddle tarafından debris ve smear tabakasını uzaklaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Gövde üzerinde radyal olarak uzanan kıllara sahip bu fırçalar, 300 rpm hızla çalışarak dentin debrislerinin kök kanallarının apikal kısmından koronal kısma doğru uzaklaştırılmasında etkili olmuştur. Ancak, bu ürünün patenti 2001 yılında onaylanmış olmasına rağmen, ticari olarak piyasada bulunmamaktadır. (Ruddle, 2001)

Debris ve smear tabakasını uzaklaştırmak amacıyla ticari olarak satışa sunulan bir diğer endodontik mikro fırça ise Canal Brush'tır (Coltene Whaledent, Langenau, Almanya). Tamamen propilen kıllardan oluşan ve oldukça esnek bir yapıya sahip olan bu fırçalar, 600 rpm hızında çalışan bir motorla ya da manuel olarak döndürme hareketi ile kullanılabilir. (L. S. Gu et al., 2009) Weise ve ark., bu küçük ve esnek fırçanın simüle edilmiş kök kanal uzantılarından ve düzensizliklerinden debris etkili bir şekilde uzaklaştırabildiğini bildirmiştir. (Weise et al., 2007)

2.3.2. XP Endo Finisher eğesi

FKG Dentaire tarafından kök kanal tedavisinde irrigasyon etkinliğini artırmak amacıyla tasarlanmış XP-Endo Finisher (XPF) (FKG Dentaire, Switzerland) eğesi, MaxWire alaşımından üretilmiştir. ISO standartlarına göre 25/.00 boyutunda bir NiTi döner alettir. Kök kanal şekillendirmesinin #25 veya daha büyük boyutlara kadar yapıldıktan sonra, bir endomotor başlığına takılarak 800-1000 rpm hızında kullanılması önerilir.(Vaz-Garcia et al., 2018)

Üreticiye göre, ege soğutulduğunda ve oda sıcaklığında iken martensit fazda ve düz bir yapıdadır. Vücut sıcaklığında ise, moleküler hafızası sayesinde, ege uçtan itibaren 10 mm uzunluğu boyunca 1,5 mm genişlikte kaşık şeklini alır ve östenit faza geçer. Böylece irrigasyon sırasında ege daha fazla duvar teması sağlayarak etkinliğini artırır.(Bukhari & Babaeer, 2019)

Xin ve ark., XPF ve Pasif Ultrasonik İrrigasyon (Satellite, Fransa) kullanılarak kök kanal duvarından smear tabakasını uzaklaştırma etkinliklerini karşılaştırdıkları bir çalışmada, XPF'nin etkinliğinin pasif ultrasonik irrigasyona benzer olduğu bulunmuştur.(Xin et al., 2019)

De Deus ve ark., oval şekilli kök kanallarında biriken sert doku döküntülerinin uzaklaştırılmasını Micro-CT ile değerlendirdikleri bir çalışmada, XPF'nin pasif ultrasonik irrigasyona benzer etkinlik gösterdiğini bildirmişlerdir.(De-Deus et al., 2019) Bu sonuçlar, XPF'nin kök kanal duvarlarına adaptasyonunu iyileştiren düşük kor çapı, sıfır konikliği ve oldukça esnek bir yapıya sahip yapısı ile açıklanmıştır.

Azim ve ark.'nın gerçekleştirdiği bir çalışmada, E. faecalis ekimi yapılan dişlerde Sİİ, EndoActivator (EA) , XPF ve PIPS (foton kaynaklı fotoakustik akış teknolojisi) sistemleri, mikrobiyal yükteki azalma açısından konfokal lazer tarama mikroskobu (CLSM) kullanılarak karşılaştırılmıştır. XPF'nin kök kanal sisteminin koronal, orta ve apikal üçlüsünde, 50 µm derinlikte en yüksek ölü bakteri oranına sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, MTT analizleri ile yapılan ölçümlerde, XPF'nin diğer üç irrigasyon aktivasyon sistemine kıyasla mikrobiyal yükte en yüksek azalmayı sağladığı tespit edilmiştir. (Azim et al., 2016)

Wigler ve ark. kök kanallarının apikal üçlüsünde oluşturulan yapay oluklardan kalsiyum hidroksit uzaklaştırılmasında XPF'nin etkinliğini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, test edilen yöntemlerin hiçbirinin, bu oluklardan kalsiyum hidroksiti tamamen temizleyemediğini göstermiştir. Ancak XPF'nin etkinliği, pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ) yöntemi ile benzer, Sİİ'ye göre daha etkili bulunmuştur. (Wigler et al., 2017) Benzer şekilde Keskin ve ark., XPF, PUİ, Sİİ, EA ve CanalBrush yöntemlerinin yapay internal rezorpsiyon kavitelerinden kalsiyum hidroksiti uzaklaştırılmadaki etkinliklerini karşılaştırdıkları bir çalışmada, hiçbir yöntemin rezorpsiyon kavitelerinden kalsiyum

hidroksiti tamamen uzaklaştıramadığı ancak en iyi sonuçların XPF ve PUI yöntemleriyle elde edildiğini bildirmişlerdir. (Keskin et al., 2017)[47](Keskin et al., 2017)⁴⁷(Keskin et al., 2017)

Sonuç olarak, XPF'nin vücut sıcaklığında artan esnekliği ve kök kanalına üç boyutlu olarak uyum sağlamak için genişleyebilme yeteneği, kök kanal sisteminin düzensiz alanlarını etkili bir şekilde temizlerken orijinal kök kanalı anatomisini koruma avantajı sunmaktadır. Bu özellikleri sayesinde, XPF'nin etkinliğinin PUI sistemlerine benzer olması nedeniyle, bu sistemlere alternatif olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.(Kamath et al., 2019)

2.4. Sonik Cihazlar

Sonik aktivasyon, mekanik enerjiyi titreşim formunda ileten ve ultrasonik cihazlara kıyasla daha düşük frekansta (1-6 kHz) çalışan bir sistemdir. Bu sistem, daha düşük kesme etkinliğine sahip olmakla birlikte, kök kanalı içerisindeki irrigasyon solüsyonunun aktivasyonunu ege ucundaki enine salınımlar yoluyla sağlar. Genellikle, bir gövde ve bu gövdeye takılan farklı boyutlardaki plastik uçlardan oluşan bir yapıdadır.(Ruddle, 2015)

2.4.1. EndoAktivatör

EndoActivator (EA, Dentsplay, Tulsa, ABD), pürüzsüz ve oldukça esnek bir polimer ucuna sahip olup, düşük frekansta (160-190 Hz) salınımlar üretebilen bir cihazdır. Cihaz, 3 farklı boyutta polimer uç (küçük: 15/.02, orta: 25/.04, büyük: 35/.04) ve 3 farklı frekansta sonik titreşim sağlayan, pille çalışan taşınabilir bir yapıdadır.(L. M. Jiang et al., 2010)

Bu plastik uçlarla gerçekleştirilen aktivasyonun ana kök kanalında salınımlı bir akış oluşturduğu, ancak frekansın çok düşük ve salınım genliğinin büyük olması nedeniyle akustik akış veya kavitasyon oluşturamadığı bildirilmiştir.(L.-M. Jiang et al., 2010; Ricardo Macedo et al., 2014; Verhaagen et al., 2014)

Jiang ve ark., EndoActivator uçlarının salınım genliğinin yaklaşık 1.200 µm olduğu ve bu nedenle, kök kanalı içinde dentine temas etmeden etkin bir aktivasyon sağlanabilmesi için en az 2.550 µm boş alana ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. Ancak EA ucu ile kök kanal duvarı arasındaki istenen 2.550 µm boşluğun sağlanması mümkün olmadığından, kök kanal duvarına temas kaçınılmazdır. Bu durum, irrigasyon solüsyonunun aktivasyonunu azaltmakta ve polimer uç ile kök kanal duvarı teması sonucu smear tabakası oluşumuna yol açmaktadır.⁵²

Uroz-Torres ve ark.'nın yaptığı çalışmada, EA sisteminin, NaOCl ve Etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) ile yapılan final irrigasyonu sonrası, smear tabakası uzaklaştırılmasında Sİİ'ye kıyasla bir artış sağlamadığı belirtilmiştir. Çalışmanın bir diğer bulgusu ise, EA sistemi kullanılsın ya da kullanılsın,

kök kanalının enstrümantasyonu sonrasında sonra smear tabakasının uzaklaştırılması için 1 mL %17 EDTA solüsyonu ile son bir irrigasyonun gerekli olduğunun tespit edilmesidir. (Uroz-Torres et al., 2010)

PUI, Sİİ ve EA'nın bakteri ve biyofilm uzaklaştırma etkinliklerinin karşılaştırıldığı birçok çalışmada, EA'nın Sİİ'den üstün olduğu, ancak PUI'nin kök kanallarının dezenfeksiyonunda daha etkili olduğu belirtilmiştir. (Paragliola et al., 2010; Pasqualini et al., 2010; Townsend & Maki, 2009)

2.4.2. EDDY

EDDY (VDW, Münih, Almanya), sonik irrigasyon aktivasyonu için geliştirilmiş yeni bir sistemdir. Bu sistem hava basınçlı bir piyasemen (Air Scaler) tarafından 5000-6000 Hz frekansta çalışır ve esnek poliamidden yapılmış 25.04 boyutunda bir uca sahiptir. (Neuhaus et al., 2016) Üretici talimatlarına göre ultrasonik aktivasyon ile oluşturulabilen akustik akış ve kavitasyonun sağladığı 3 boyutlu hareketi EDDY de oluşturabilmektedir. (Van der Sluis et al., 2007)

Mevcut araştırmalar, daha yüksek frekans (~6 kHz) ve daha küçük genlikte salınım yapan EDDY'nin, Sİİ'ye kıyasla daha üstün bir performans sergilediğini ve hem organik doku çözünürlüğü hem de bakteriyel yükün azaltılması açısından ultrasonik aktivasyonun etkinliğine ulaşabileceğini ortaya koymaktadır. (Conde et al., 2017; Swimberghe et al., 2019)

Linden ve ark., kök kanal sisteminden sert doku kalıntılarının uzaklaştırılmasında ultrasonik aktivasyon grubu için önemli ölçüde daha yüksek etkinlik rapor etmişlerdir. Ancak EDDY ve Sİİ arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulmamışlardır. Bu sonuç, ultrasonik ve sonik aktivasyon uçlarının çapları eşit olmasına rağmen, ultrasonik ucun konik olmaması ve EDDY ucunun konik yapıda olması nedeniyle, kök kanal duvarına temas olasılığının ve aktivasyon hareketinin azalması ile açıklanmıştır. Ayrıca, final irrigasyonunda kullanılan iğnenin çapının (30G) preparasyon sırasında kullanılan iğne çapından (27G) daha küçük olması ve iğnenin çalışma boyuna (WL) en yakın konumda yerleştirilmesinin Sİİ etkinliğini artırabileceği belirtilmiştir. Bu çalışma EDDY ile ilgili çelişkili yayınlardan birisidir. (Linden et al., 2020)

Yusufoğlu ve ark., mandibular molar dişlerin mesiobukkal kanallarında PUI, EDDY ve PIPS irrigasyon aktivasyon sistemlerini apikal debris ekstrüzyonu açısından karşılaştırmışlardır. Çalışma bulgularına göre, tüm irrigasyon aktivasyon sistemlerinin bir miktar apikal debris ekstrüzyonuna neden olduğu, ancak EDDY irrigasyon aktivasyon sisteminin diğer sistemlere kıyasla daha fazla debris ekstrüzyonu oluşturduğu belirlenmiştir. (İnce Yusufoglu et al., 2020) Aydın ve ark. EDDY'nin EndoVac sistemine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha fazla bakteriyel ekstrüzyona yol açtığını belirtmişlerdir. Ayrıca, EDDY'nin, Sİİ ve EA arasında bakteriyel ekstrüzyon açısından anlamlı bir fark oluşturmadığı rapor edilmiştir. (Uğur Aydın et al., 2023)

2.4.3. Sonik air-rispiyonik eğesi

MM1500 Sonic Air (Medidenta International, Inc, Woodside, New York, ABD) sistemi, hava ile çalışan ve 1.500 ile 3.000 Hz arasında titreşimler üreten bir cihazdır. Kavitasyon oluşturmak için Rispi Sonic veya Shaper Sonic eğeleriyle kullanılmaktadır. Rispi-Sonik eğesi (Micro-Mega, Fransa) ise spiral dikenleri ve değişken konikliği bulunan paslanmaz çelikten yapılmış bir tasarıma sahiptir, Sonik Air cihazına yerleştirilip irrigasyon solüsyonunu aktive etmek için kullanılır.(Lumley et al., 1996; Nusstein, 2015)

2.4.4. Vibringe sonik irrigasyon cihazı

Vibringe (Vibringe BV, Amsterdam, Hollanda), manuel olarak kullanılan irrigasyon sistemine, titreşimler (9000 cpm) ekleyen yeni bir sonik irrigasyon cihazıdır. Bu sistem, 10 ml'lik bir iğneye yerleştirilen pil ile çalışan bir piston ve baş parmak halkasından oluşur. Bu sayede geleneksel şırıngayı kullanarak sonik aktivasyon sağlar. Üretici tarafından bildirilen aktivasyon frekansı 150 Hz'dir.(Nusstein, 2015) (Haapasalo et al., 2010)

2.4.5. GentleWave

Multisonik aktivasyon (GentleWave; Sonendo, Laguna Hills, CA, ABD), irrigasyon solüsyonunun tüm kök kanal sistemine ulaşması ve kök kanal sistemini dezenfekte etmesi için herhangi bir kök kanal preparasyonu gerektirmeyen bir irrigasyon yöntemi olarak tanıtılmıştır.(Zhang et al., 2019)

GentleWave ses dalgaları (multisonik dalgalar) üreterek kök kanal sistemini dezenfekte eder. Optimize edilmiş solüsyon, kök kanal sistemine girerek sıvı hareketini hızlandırır ve bu hareket sonucunda, kanal duvarlarında güçlü bir temizleme etkisi oluşturan kesme kuvvetleri meydana gelir. Bu kuvvetler, sıvı içerisinde küçük kabarcıkların (kavitasyon) oluşmasını sağlar. Binlerce mikro kabarcığın sürekli oluşumu, multisonik enerji ve akışkan dinamiği ile birleştğinde, pulpa dokusunun ve artıkların çözünmesi ve uzaklaştırılmasıyla sonuçlanır.(Haapasalo et al., 2014) Bu tekniğin temel yeniliği, hidrodinamik kavitasyon kabarcıklarının çökmesi sırasında geniş bir frekans aralığına sahip akustik dalgaların üretilmesidir. Bu akustik dalgaların, kök kanalının dezenfeksiyonuna önemli ölçüde katkıda bulunduğu kabul edilmektedir.(Sigurdsson et al., 2018)

Kök kanal preparasyonu gerektirmeyen bir sistem olarak tanıtılsa da yayınlanan çoğu çalışmada kök kanalları genellikle 15-25 apikal boyuta kadar genişletilmiştir. Kök kanal sistemini temizleme süresi ise beş ila sekiz dakika arasında sürmektedir.(Chan et al., 2019; Molina et al., 2015; Ordinola-Zapata et al., 2022)

Haapasalo ve ark. GentleWave'in doku çözücü etkinliğinin ultrasonik sistem ve Sİİ'den sırasıyla 8 ve 10 kat daha hızlı olduğunu rapor etmişlerdir. (Haapasalo et al., 2014)

Charara ve ark., GentleWave sistemi, EndoVac ve Sİİ'nin kök kanal irrigasyonu sırasında apikal ekstrüzyon üzerindeki etkilerini değerlendirilmişler ve GentleWave ve EndoVac sistemlerinin herhangi bir ekstrüzyon oluşturmadığını belirtmişlerdir. GentleWave sisteminin, kök kanal sistemi içerisindeki nötr basınç ile periapikal dokular tarafından oluşturulan pozitif basınç karşısında apikal ekstrüzyonu önlediği bildirilmiştir. Ayrıca, GentleWave sisteminin etki mekanizmasını ve akış dinamiklerini daha iyi anlamak amacıyla bağımsız çalışmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır. (Charara et al., 2016)

Sigurdsson ve ark., GentleWave sistemini apikal periodontiti olan periapikal lezyonlu mandibular molar dişlerde kullanmışlar ve 12 aylık takip sonunda %97.7 oranında klinik başarı tespit etmişlerdir. (Sigurdsson et al., 2018) Ancak çalışmada örnek sayısının düşük olması, takip süresinin kısa olması ve elde edilen verileri karşılaştırabilecek başka bir sistem kullanılmaması bu çalışmanın limitasyonları olarak sayılmıştır.

Bu teknolojinin yeni olduğu göz önüne alındığında, genel etkinliğini araştırmak için daha fazla araştırma ihtiyacı bulunmaktadır.

2.5. Ultrasonik Cihazlar

Ultrasonik cihazlar, kök kanallarından debrisyi uzaklaştırmak amacıyla 1957'de Richman tarafından tanıtılmıştır.(Martin et al., 1980) Ultrasonik cihazlar, 25-30 kHz frekansta çalışır ve bu enerji, kavitasyon ve akustik akış yoluyla primer etkisini gerçekleştirir.(Martin & Cunningham*, 1985)

Ultrasonik bir titreşim, irrigasyon solüsyonuna iletilirken, solüsyonun oluşturduğu negatif basınç etkisiyle kırılması sonucunda kavitasyon meydana gelir. Bu kavitasyon sürecinde, iletilen ultrasonik dalgalar baloncuklar oluşturur. Ultrasonik dalgalar devam ettikçe bu baloncuklar büyür ve maksimum boyuta ulaşır, ardından şiddetli bir patlama yaşarlar. Patlamalar saniyede 25.000 ila 30.000 kez (25-30 kHz) art arda gerçekleşir ve yüksek güçlü şok dalgaları yayılır. Bununla birlikte, kavitasyon sonucu oluşan baloncukların patlaması, 5.000 °C'yi aşan sıcaklıklar ve 500 atmosferi aşan basınçlar oluşturur. Bu patlamaların ve şok dalgalarının hızla hareket etmesi sonucu ortaya çıkan akışa ise akustik akış adı verilir.(Handbook, 1994) Bu da ana kanaldaki irrigasyon solüsyonunu hareketlendirir, kök kanal sisteminin uzak bölgelerine taşır ve duvar kayma stresini artırarak kök kanal sisteminin mekanik temizliğini artırır.(Retsas & Boutsoukis, 2019)

Literatürde iki tip ultrasonik irrigasyon aktivasyonu tanımlanmış ve incelenmiştir. Bunlardan ilki, irrigasyon ve enstrümantasyon tekniğinin kombine olarak kullanıldığı ultrasonik enstrümantasyondur (UI). İkincisi ise, eş zamanlı enstrümantasyon olmadan irrigasyon aktivasyonundan oluşan pasif ultrasonik irrigasyondur (PUI).

Yapılan çalışmalarda, Uİ'nin primer dezenfeksiyon ve şekillendirme tekniği olarak yetersiz kaldığı belirtilmiştir.(Rhodes, 2022) Kök kanallarının yeterli koniklikte ve genişlikte olmaması nedeniyle ultrasonik ucun hareketinin kısıtlanması ve dezenfeksiyon etkinliğinin azalması, bu yöntemin başarısızlık nedenleri arasında rapor edilmiştir. Ayrıca, Uİ sırasında sıklıkla strip perforasyon oluşumu, düzensiz şekilli kanalların meydana gelmesi, dentin kesimi ve dolayısıyla hazırlanan kök kanalının şeklinin kontrol edilmesinin zorlaşması da sistemin dezavantajları olarak sayılmaktadır. (Stamos et al., 1987) (Lumley et al., 1992; Passarinho-Neto et al., 2006) Bu nedenlerle, ultrasonik enstrümantasyonun günümüzde kullanılması önerilmemektedir.(Cunningham & Martin, 1982)

2.5.1. Pasif Ultrasonik İrrigasyon

PUİ (Pasif Ultrasonik İrrigasyon) ile üretilen enerji, kullanılan eğe veya uç aracılığıyla ultrasonik dalgalar yoluyla irrigasyon solüsyonuna aktarılmakta ve bu şekilde solüsyonun akustik akışı ve kavitasyonu gerçekleşmektedir. PUİ endodontik eğe veya alet kullanmaksızın, kök kanal duvarlarında herhangi bir şekillendirme veya düzeltme yapılmadan, yalnızca irrigasyon aktivasyonunun gerçekleştirildiği bir yöntem olarak tanımlanmıştır.(Ahmad et al., 1988)

Ultrasonik aktivasyon sırasında üretilen enerji, ultrasonik cihazının güç ayarına bağlıdır. Daha yüksek güç, daha yoğun akış ve daha iyi mekanik temizlik ile sonuçlanır.(Jiang et al., 2011) Fakat kullanılan ultrasonik uçların kırılması ve istenmeyen dentin uzaklaştırma gibi faktörler de dikkate alınmalıdır. (Boutsioukis & Tzimpoulas, 2016; Retsas et al., 2016; Rhodes, 2022)

Mevcut araştırmalar, ultrasonik aktivasyonun, enstrümante edilmemiş düzensiz alanlar, isthmuslar ve lateral kanalların temizlenmesinde Sİİ'ye göre belirgin şekilde daha etkili olduğunu göstermektedir.(Çaputâ et al., 2019; Retsas & Boutsioukis, 2019)

Kim ve ark., kanaldan kalsiyum hidroksit uzaklaştırma etkinliğini değerlendirdikleri çalışmada, PUİ sistemlerinin Sİİ'ye kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Özellikle Endosonic Blue gibi esnek Ni-Ti uçların kavisli kök kanallarında daha avantajlı olduğu belirtilmiştir.(Kim et al., 2023)

PUİ yöntemi devamlı irrigasyon yöntemi ve aralıklı irrigasyon yöntemi olmak üzere iki ayrı teknik ile uygulanabilmektedir.

Devamlı ultrasonik irrigasyon (DUİ) yöntemi: Bu yöntemde, kök kanallarının orta ve koronal bölümlerine sürekli olarak irrigasyon solüsyonu enjekte edilirken, aynı anda ultrasonik dalgalarla titreşim sağlanır. Bu işlem, içi boş iğne benzeri uçlar kullanılarak solüsyonun kök kanallarına iletilmesiyle gerçekleştirilir. EndoUltra (Vista Dental Products, Racine, Winconsin, ABD), geleneksel PUİ yönteminden farklı olarak 40 kHz'lik yüksek frekansa sahip DUİ yöntemine örnek bir sistemdir.(Malentacca et al., 2012)

Aralıklı ultrasonik irrigasyon (AUİ) yöntemi: AUİ yöntemi, kök kanalı ve giriş kavitesinin irrigasyon solüsyonu ile doldurulmasını, ardından bu solüsyonun kanal içinde ultrasonik uç ile aktive edilmesini ve kök kanallarındaki solüsyonun aralıklı olarak iğne kullanımı ile yenilenmesini gerektiren bir irrigasyon aktivasyon sistemidir. Bu teknik, birden fazla işlem basamağı gerektirmesi nedeniyle zaman alıcıdır. Aralıklı aktivasyon için yaygın olarak kullanılan protokol, her biri 20 saniyelik 3 periyottan oluşur; ancak daha kısa süreli protokoller de kullanılmaktadır (3×10 s).(Çaputá et al., 2019)

Aralıklı aktivasyon, daimi aktivasyondan daha yaygın olarak kullanılmaktadır.(Çaputá et al., 2019) Kök kanal sisteminde irrigasyon solüsyonunun yenilenmesinin ardından irrigasyonun yeniden başlatılması, aralıklı ultrasonik irrigasyon yönteminin, devamlı ultrasonik aktivasyona kıyasla temizleme etkinliğini ve biyofilm uzaklaştırma kapasitesini artırdığı gösterilmiştir. (Retsas et al., 2022) Aynı zamanda aralıklı ultrasonik irrigasyon yönteminde taze irrigasyon solüsyonu eklenmesi, kimyasal reaksiyonlarda tüketimini telafi etmekte ve pulpa odasından sıçrama nedeniyle kaybedilen solüsyonu yerine koymaktadır.(RG Macedo, B Verhaagen, D Fernandez Rivas, et al., 2014; RG Macedo, B Verhaagen, PR Wesselink, et al., 2014)

Tanomaru-Filho ve ark. Sİİ ile PUI'nin aralıklı veya devamlı aktivasyon sistemlerini nekrotik doku ve mikroorganizma temizliği açısından karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre DUI ve AUİ'nin kök kanalı irrigasyon etkinliklerinin benzer olduğu ve Sİİ'ye kıyasla anlamlı derecede etkin olduğu gösterilmiştir.(Tanomaru-Filho et al., 2016) van der Sluis ve ark.'nın kök kanal sisteminden dentin debrislerini uzaklaştırmada PUI'nin aralıklı ve devamlı aktivasyon sistemlerini karşılaştırdığı çalışmada, her iki yöntemin de benzer sonuçlar verdiği rapor edilmiştir.(van der Sluis et al., 2009)

2.6. Lazer sistemleri

'Light amplification by stimulated emission of radiation' kelimelerinin baş harflerinden oluşan lazer kelimesinin kelime anlamı 'Uyarılmış radyasyon yayılımı ile ışık şiddetinin artırılması'dır.(Alaçam, 1990) Endodontide bugüne kadar kök kanal dezenfeksiyonu amacıyla CO₂ lazer, Erbiyum:Yittriyum Alüminyum-Garnet (Er-YAG) lazer, Erbiyum,Kromiyum:Yittriyum-Skandiyum-Garnet (Er,Cr:YSGG) lazer, Neodimyum:Yittriyum-Alüminyum-Garnet lazer (Nd-YAG), Diyot lazer, Neodimyum: Yittriyum-Alüminyum Perovskite (Nd-YAP) ve Holmiyum:Yittriyum-Alüminyum-Garnet(Ho:YAG) lazer kullanılmıştır. Günümüzde lazerle aktive edilen irrigasyon (LAI) için en uygun dalga boyları, sudaki yüksek absorpsiyonları nedeniyle Er: YAG (2940 nm) ve Er, Cr: YSGG'dir.(2780 nm)(De Meyer et al., 2017)

Lazerle aktive edilen irrigasyon, optik kavitasyon üreten Er:YAG veya Er, Cr:YSGG lazerleri tarafından irrigasyon solüsyonunun hızlı bir şekilde ısıtılmasına dayanır. Böylece solüsyonda oluşan türbülans baloncuklar oluşturur.

Baloncukların boyutları, lazerin enerjisine, atım süresine ve dalga boyuna bağlı olarak değişir.(Meire et al., 2014; van der Sluis et al., 2016)

2.6.1. Kök Kanallarının Lazer İle Dezenfeksiyonu

Mekanik şekillendirme işlemleri ve geleneksel irrigasyonun yetersiz kaldığı durumlarda, kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunda irrigasyon aktivasyon prosedürleri için lazer ile doğrudan ışınlama, antimikrobiyal fotodinamik terapi ve lazerle aktifleştirilmiş irrigasyon gibi üç teknik önerilmektedir.(Yavari et al., 2010)

Kök kanallarında bulunan irrigasyon solüsyonunun lazerle aktivasyonu, lazerle aktifleştirilmiş irrigasyon (LAİ) olarak adlandırılır. Bu yöntem, irrigasyon solüsyonunun kök kanal sistemi içindeki dağılımını ve etkinliğini artırmayı amaçlar. İrrigasyon solüsyonu ile doldurulmuş kök kanallarına lazer uygulanarak, solüsyonda türbülans oluşturulur. Bu sayede, irrigasyon solüsyonunun dezenfeksiyon ve debris uzaklaştırma etkinliğinin artırılması hedeflenir. (Wang et al., 2007)

Laboratuvar çalışmalarında, lazer ucunun çalışma boyuna yakın yerleştirildiğinde bu tekniğin, biyofilmin ve sert doku kalıntılarının uzaklaştırılmasında ultrasonik aktivasyona kıyasla daha etkili olduğu gösterilmiştir.(De Groot et al., 2009; De Meyer et al., 2017; De Moor et al., 2010)

Son yıllarda geliştirilen bir LAİ yöntemi olan foton kaynaklı fotoakustik akış teknolojisi (PIPS), Erbium: YAG lazerin kök kanallarında bulunan irrigasyon solüsyonunda sıcaklık artışı olmadan üç boyutlu fotoakustik şok dalgaları üretme yeteneğine dayanır. Literatürde, aynı enerji miktarı kullanılarak yapılan diğer LAİ tekniklerinde kullanılan düz uçlu fiber uçların ürettiği eliptik buhar kabarcıklarına kıyasla, sivriltilmiş konik fiber uçlarla oluşturulan yuvarlak buhar kabarcıklarının daha güçlü patlamalara yol açtığı gösterilmiştir. (Jaramillo, 2015)

Endodontide lazerle aktive edilen irrigasyonla ilgili en son gelişme, Er: YAG lazeri kullanan SWEEPS (şok dalgası geliştirilmiş emisyonlu fotoakustik akış) sistemidir. Bu sistemde, pulpa odasına yerleştirilen 600 µm fiber uç kullanılır ve lazer ışığının atım sayısı farklıdır, senkronize ultra kısa atım çiftleri ile etki modu değişir. SWEEPS'in oluşturduğu basınç dalgaları, PIPS'e göre daha büyük bir amplifikasyon sağlar.(Lukac et al., 2017)

Galler ve ark.'nın gerçekleştirdiği çalışmada, MDA, EDDY, PUI, PIPS ve SWEEPS sistemleriyle aktive edilen irrigasyon solüsyonlarının dentin tübül penetrasyonu incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, PIPS'in MDA, EDDY, PUI ve SWEEPS sistemlerine kıyasla daha derin penetrasyon derinliğine ulaştığı rapor edilmiştir.(Galler et al., 2019)

Yang ve ark., mandibular molarların kök kanal sisteminde biriken sert doku kalıntılarının ultrasonik aktivasyon (UAI), PIPS ve SWEEPS yöntemleriyle uzaklaştırılmasını karşılaştırmıştır ve SWEEPS'in, özellikle isthmus içeren mezial köklerde, PIPS ve UAI'ye kıyasla daha fazla sert doku kalıntısı uzaklaştırdığı rapor edilmiştir. Ancak, hiçbir aktivasyon tekniğinin sert doku kalıntılarını kök kanal sistemlerinden tamamen temizleyemediği vurgulanmıştır.(Yang et al., 2020)

Yost ve ark.'nın gerçekleştirdiği çalışmada, negatif apikal basınç sistemi (EndoVac), sonik aktivasyon (EndoActivator), yan havalandırmalı iğne (Max-i-Probe) ve foton kaynaklı fotoakustik akış (PIPS 10 mJ ve PIPS 20 mJ) lazer irrigasyonu kullanılarak NaOCl'nin apikal ekstrüzyonu karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, lazerle yapılan irrigasyon aktivasyon tekniğinin, karşılaştırılan diğer aktivasyon tekniklerine kıyasla daha fazla apikal ekstrüzyona neden olduğu bildirilmiştir.(Yost et al., 2015)

2.7. Antimikrobiyal Fotodinamik Terapi

Fotodinamik terapi (FDT), geleneksel antimikrobiyal tedavilere dirençli olanlar da dahil olmak üzere, lokalize enfeksiyonların tedavisi için potansiyel bir tedavi yöntemidir.(Dai et al., 2009) Fotodinamik terapi, ışığa duyarlı bir kimyasal ajan (fotosensitizan) ile bu ajanın etkinleşmesini sağlayan belirli dalga boyundaki lazer ışığının kullanılarak hücrelerin seçici olarak öldürülmesi işlemidir. Bu tedavi çeşidinin endodontide kök kanal dezenfeksiyonu için kullanımı bulunmaktadır. Şu anda FDT, mevcut kök kanalı dezenfeksiyon protokollerinin yerine geçecek bir yöntem olarak değil, kök kanalı tedavisi sırasında mevcut dezenfeksiyon protokollerini takiben antibiyofilm etkinliğini artırmak için potansiyel bir yardımcı olarak görülmektedir.(Meire et al., 2009)

Endodontide, farklı fotosensitizanlar ve farklı dalga boylarında lazerler kullanılarak araştırmalar sürdürülmektedir.(Kishen & Shrestha, 2015)

2.8. Ozon ile dezenfeksiyon

Ozon (O₃), üç oksijen atomu içeren, termodinamik olarak yüksek oranda stabil olmayan ve suda hızla ayrışarak hücreleri oksitleyebilen reaktif bir oksijen türü açığa çıkaran bir moleküldür. Bu özellikleri sayesinde, hücrelerde ilaç direncini indüklemeyen antimikrobiyal etki göstermektedir.(Shin et al., 1999)

Günümüzde, endodontik tedavi için yaklaşık 4 g/m³ konsantrasyonunda ozon gazı üreten cihazlar (HealOzone; KaVo, Biberach, Almanya) kullanılmaktadır.(Basrani, 2015)

Araştırmalar, ozonlanmış suyun (0.5-4 mg/L) hem gram pozitif hem de gram negatif mikroorganizmaları etkili bir şekilde öldürdüğünü göstermiştir. Ancak, yapılan bir çalışmada ozonun planktonik E. faecalis hücreleri ve sıvı içinde asılı olanlar üzerinde antibakteriyel bir etkiye sahip olduğu, ancak E. fa-

ecalis hücreleri biyofilmlere gömüldüğünde bu etkinin oldukça sınırlı olduğu bildirilmiştir. Endodontik patojenlere karşı etkinliğinin değerlendirildiği bu çalışmada, ozonun özellikle biyofilmler üzerinde tutarsız bir etki gösterdiği tespit edilmiştir.(Hems et al., 2005)

KAYNAKÇA

- Ahmad, M., Ford, T. P., Crum, L., & Walton, A. (1988). Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance. *Journal of endodontics*, 14(10), 486-493.
- Al-Hadlaq, S. M., Al-Turaiki, S. A., Al-Sulami, U., & Saad, A. Y. (2006). Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *Journal of endodontics*, 32(12), 1181-1184.
- Alghamdi, F., & Almeahmadi, A. H. (2019). COMPARISON OF DEBRIDEMENT EFFICACY AND PERIAPICAL REPAIR USING APICAL NEGATIVE PRESSURE IRRIGATION VERSUS SYRINGE IRRIGATION-A SYSTEMATIC REVIEW. *Egyptian Dental Journal*, 65(4-October (Oral Medicine, X-Ray, Oral Biology & Oral Pathology)), 3535-3542.
- Azim, A. A., Aksel, H., Margaret Jefferson, M., & Huang, G. T. (2018). Comparison of sodium hypochlorite extrusion by five irrigation systems using an artificial root socket model and a quantitative chemical method. *Clin Oral Investig*, 22(2), 1055-1061. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2187-y>
- Azim, A. A., Aksel, H., Zhuang, T., Mashtare, T., Babu, J. P., & Huang, G. T.-J. (2016). Efficacy of 4 irrigation protocols in killing bacteria colonized in dentinal tubules examined by a novel confocal laser scanning microscope analysis. *Journal of endodontics*, 42(6), 928-934.
- Basrani, B. (2015). Endodontic irrigation. *Chemical Disinfection of the root canal system*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG.
- Boutsoukis, C., Gogos, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., & Van der Sluis, L. W. (2010a). 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>
- Boutsoukis, C., Gogos, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., & Van der Sluis, L. W. (2010b). The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J*, 43(10), 909-916. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01767.x>
- Boutsoukis, C., Lambrianidis, T., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., Wesselink, P. R., & van der Sluis, L. W. (2010). The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod*, 36(10), 1664-1668. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.06.023>
- Boutsoukis, C., Psimma, Z., & Van der Sluis, L. (2013). Factors affecting irrigant extrusion during root canal irrigation: a systematic review. *International Endodontic Journal*, 46(7), 599-618.
- Boutsoukis, C., & Tzimpoulas, N. (2016). Uncontrolled removal of dentin during in vitro ultrasonic irrigant activation. *Journal of endodontics*, 42(2), 289-293.

- Boutsoukis, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., Wesselink, P. R., & van der Sluis, L. W. (2010). Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of endodontics*, 36(5), 875-879.
- Bronnec, F., Bouillaguet, S., & Machtou, P. (2010). Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the final irrigation regimen. *International Endodontic Journal*, 43(8), 663-672.
- Bukhari, S., & Babaeer, A. (2019). Irrigation in endodontics: a review. *Current Oral Health Reports*, 6, 367-376.
- Căpută, P. E., Retsas, A., Kuijk, L., de Paz, L. E. C., & Boutsoukis, C. (2019). Ultrasonic irrigant activation during root canal treatment: a systematic review. *Journal of endodontics*, 45(1), 31-44. e13.
- Caron, G., Nham, K., Bronnec, F., & Machtou, P. (2010). Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *Journal of endodontics*, 36(8), 1361-1366.
- Chan, R., Versiani, M. A., Friedman, S., Malkhassian, G., Sousa-Neto, M. D., Leoni, G. B., Silva-Sousa, Y. T., & Basrani, B. (2019). Efficacy of 3 supplementary irrigation protocols in the removal of hard tissue debris from the mesial root canal system of mandibular molars. *Journal of endodontics*, 45(7), 923-929.
- Charara, K., Friedman, S., Sherman, A., Kishen, A., Malkhassian, G., Khakpour, M., & Basrani, B. (2016). Assessment of apical extrusion during root canal irrigation with the novel GentleWave system in a simulated apical environment. *Journal of endodontics*, 42(1), 135-139.
- Conde, A., Estevez, R., Loroño, G., Valencia de Pablo, Ó., Rossi-Fedele, G., & Cisneros, R. (2017). Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *International Endodontic Journal*, 50(10), 976-982.
- Cunningham, W. T., & Martin, H. (1982). A scanning electron microscope evaluation of root canal debridement with the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 53(5), 527-531.
- Dai, T., Huang, Y.-Y., & Hamblin, M. R. (2009). Photodynamic therapy for localized infections—State of the art. *Photodiagnosis and photodynamic therapy*, 6(3-4), 170-188.
- De Groot, S., Verhaagen, B., Versluis, M., Wu, M. K., Wesselink, P., & Van Der Sluis, L. (2009). Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *International Endodontic Journal*, 42(12), 1077-1083.
- De Meyer, S., Meire, M., Coenye, T., & De Moor, R. (2017). Effect of laser-activated irrigation on biofilms in artificial root canals. *International Endodontic Journal*, 50(5), 472-479.
- De Moor, R. J., Meire, M., Goharkhay, K., Moritz, A., & Vanobbergen, J. (2010). Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed

dentin debris plugs. *Journal of endodontics*, 36(9), 1580-1583.

- De-Deus, G., Belladonna, F. G., de Siqueira Zuolo, A., Perez, R., Carvalho, M. S., Souza, E. M., Lopes, R. T., & Silva, E. J. N. L. (2019). Micro-CT comparison of XP-endo Finisher and passive ultrasonic irrigation as final irrigation protocols on the removal of accumulated hard-tissue debris from oval shaped-canals. *Clinical oral investigations*, 23, 3087-3093.
- De-Deus, G., Souza, E. M., Barino, B., Maia, J., Zamolyi, R. Q., Reis, C., & Kfir, A. (2011). The self-adjusting file optimizes debridement quality in oval-shaped root canals. *Journal of endodontics*, 37(5), 701-705.
- Desai, P., & Himel, V. (2009). Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *Journal of endodontics*, 35(4), 545-549.
- Dietrich, M. A., Kirkpatrick, T. C., & Yaccino, J. M. (2012). In vitro canal and isthmus debris removal of the self-adjusting file, K3, and WaveOne files in the mesial root of human mandibular molars. *Journal of endodontics*, 38(8), 1140-1144.
- Galler, K., Grubmüller, V., Schlichting, R., Widbiller, M., Eidt, A., Schuller, C., Wölfli-ck, M., Hiller, K. A., & Buchalla, W. (2019). Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *International Endodontic Journal*, 52(8), 1210-1217.
- Glassman, G., & Charara, K. (2015). Apical negative pressure: safety, efficacy and efficiency. *Endodontic irrigation: chemical disinfection of the root canal system*, 157-171.
- Gu, L.-s., Kim, J. R., Ling, J., Choi, K. K., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2009). Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of endodontics*, 35(6), 791-804.
- Gu, L. S., Kim, J. R., Ling, J., Choi, K. K., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2009). Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod*, 35(6), 791-804. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.03.010>
- Haapasalo, M., Shen, Y., Qian, W., & Gao, Y. (2010). Irrigation in endodontics. *Dental Clinics*, 54(2), 291-312.
- Haapasalo, M., Wang, Z., Shen, Y., Curtis, A., Patel, P., & Khakpour, M. (2014). Tissue dissolution by a novel multisonic ultracleaning system and sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*, 40(8), 1178-1181.
- Handbook, A. (1994). Surface engineering. *ASM International, Handbook Committee*, 5(s 346).
- Hauser, V., Braun, A., & Frentzen, M. (2007). Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo®). *International Endodontic Journal*, 40(8), 644-652.
- Hems, R., Gulabivala, K., Ng, Y. L., Ready, D., & Spratt, D. (2005). An in vitro evaluation of the ability of ozone to kill a strain of *Enterococcus faecalis*. *International Endodontic Journal*, 38(1), 22-29.
- Huang, T. Y., Gulabivala, K., & Ng, Y. L. (2008). A bio-molecular film ex-vivo model

to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *International Endodontic Journal*, 41(1), 60-71.

- İnce Yusufoglu, S., Keskin, N. B., Saricam, E., & Bozkurt, D. A. (2020). Comparison of apical debris extrusion using EDDY, passive ultrasonic activation and photon-initiated photoacoustic streaming irrigation activation devices. *Aust Endod J*, 46(3), 400-404. <https://doi.org/10.1111/aej.12429>
- Jaramillo, D. E. (2015). Irrigation of the root canal system by laser activation (LAI): PIPS photon-induced photoacoustic streaming. *Endodontic irrigation: chemical disinfection of the root canal system*, 227-235.
- Jiang, L.-M., Lak, B., Eijsvogels, L. M., Wesselink, P., & van der Sluis, L. W. (2012). Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *Journal of endodontics*, 38(6), 838-841.
- Jiang, L.-M., Verhaagen, B., Versluis, M., Langedijk, J., Wesselink, P., & van der Sluis, L. W. (2011). The influence of the ultrasonic intensity on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. *Journal of endodontics*, 37(5), 688-692.
- Jiang, L.-M., Verhaagen, B., Versluis, M., & van der Sluis, L. W. (2010). Evaluation of a sonic device designed to activate irrigant in the root canal. *Journal of endodontics*, 36(1), 143-146.
- Jiang, L. M., Verhaagen, B., Versluis, M., & van der Sluis, L. W. (2010). Evaluation of a sonic device designed to activate irrigant in the root canal. *J Endod*, 36(1), 143-146. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.06.009>
- Kamath, S., Shetty, R., Shetty, S., Nighot, N., Ramnani, K., & Bhujbal, D. (2019). Efficacy of XP-Endo finisher in removal of calcium hydroxide from root canal system: A systematic review. *Journal of the International Clinical Dental Research Organization*, 11(2), 54-60.
- Keir, D. M., Senia, E. S., & Montgomery, S. (1990). Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *Journal of endodontics*, 16(7), 323-327.
- Keskin, C., Sariyilmaz, E., & Sariyilmaz, Ö. (2017). Efficacy of XP-endo Finisher file in removing calcium hydroxide from simulated internal resorption cavity. *Journal of endodontics*, 43(1), 126-130.
- Kim, N. Y., Kim, H. J., & Min, K. S. (2023). The efficacy of three passive ultrasonic irrigation systems on intracanal medicament removal in a novel standardised three-dimensionally printed model. *Australian Endodontic Journal*, 49, 288-293.
- Kishen, A., & Shrestha, A. (2015). Photodynamic therapy for root canal disinfection. *Endodontic irrigation: chemical disinfection of the root canal system*, 237-251.
- Linden, D., Boone, M., De Bruyne, M., De Moor, R., Versiani, M. A., & Meire, M. (2020). Adjunctive Steps for the Removal of Hard Tissue Debris from the Anatomic Complexities of the Mesial Root Canal System of Mandibular Molars: A Micro-Computed Tomographic Study. *Journal of endodontics*, 46(10), 1508-1514.
- Lukac, N., Muc, B. T., Jezersek, M., & Lukac, M. (2017). Photoacoustic endodontics

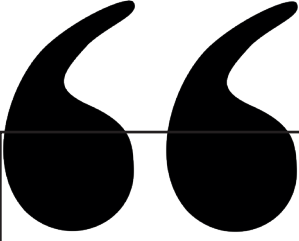
- using the novel SWEEPS Er: YAG laser modality. *J Laser Health Acad*, 1, 1-7.
- Lumley, P., Harrington, E., Walmsley, A., & Marquis, P. (1996). Taper and stiffness of sonic endodontic files. *Dental Traumatology*, 12(2), 77-82.
- Lumley, P., Walmsley, A., Walton, R., & Rippin, J. (1992). Effect of precurving endo-sonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. *Journal of endodontics*, 18(12), 616-619.
- Macedo, R., Verhaagen, B., Rivas, D. F., Gardeniers, J. G., Van der Sluis, L., Wesselink, P., & Versluis, M. (2014). Sonochemical and high-speed optical characterization of cavitation generated by an ultrasonically oscillating dental file in root canal models. *Ultrasonics sonochemistry*, 21(1), 324-335.
- Macedo, R., Verhaagen, B., Rivas, D. F., Versluis, M., Wesselink, P., & van der Sluis, L. (2014). Cavitation measurement during sonic and ultrasonic activated irrigation. *Journal of endodontics*, 40(4), 580-583.
- Macedo, R., Verhaagen, B., Wesselink, P., Versluis, M., & Van Der Sluis, L. (2014). Influence of refreshment/activation cycles and temperature rise on the reaction rate of sodium hypochlorite with bovine dentine during ultrasonic activated irrigation. *International Endodontic Journal*, 47(2), 147-154.
- Machtou, P. (2015). Manual dynamic activation (MDA) technique. *Endodontic irrigation: chemical disinfection of the root canal system*, 149-155.
- Malentacca, A., Uccioli, U., Zangari, D., Lajolo, C., & Fabiani, C. (2012). Efficacy and safety of various active irrigation devices when used with either positive or negative pressure: an in vitro study. *Journal of endodontics*, 38(12), 1622-1626.
- Martin, H., Cunningham, W. T., Norris, J. P., & Cotton, W. R. (1980). Ultrasonic versus hand filing of dentin: a quantitative study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 49(1), 79-81.
- Martin, H., & Cunningham*, W. (1985). Endosonics—the ultrasonic synergistic system of endodontics. *Dental Traumatology*, 1(6), 201-206.
- McGill, S., Gulabivala, K., Mordan, N., & Ng, Y. L. (2008). The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. *International Endodontic Journal*, 41(7), 602-608.
- Meire, M., De Prijck, K., Coenye, T., Nelis, H., & De Moor, R. (2009). Effectiveness of different laser systems to kill *Enterococcus faecalis* in aqueous suspension and in an infected tooth model. *International Endodontic Journal*, 42(4), 351-359.
- Meire, M. A., Poelman, D., & De Moor, R. J. (2014). Optical properties of root canal irrigants in the 300–3,000-nm wavelength region. *Lasers in medical science*, 29, 1557-1562.
- Metzger, Z., & Kfir, A. (2015). Continuous instrumentation and irrigation: the self-adjusting file (SAF) system. *Endodontic irrigation: chemical disinfection of the root canal system*, 199-220.
- Metzger, Z., Solomonov, M., & Kfir, A. (2013). The role of mechanical instrumentation

- in the cleaning of root canals. *Endodontic Topics*, 29(1), 87-109.
- Metzger, Z., Teperovich, E., Zary, R., Cohen, R., & Hof, R. (2010). The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy—a new concept of endodontic files and its implementation. *Journal of endodontics*, 36(4), 679-690.
- Mitchell, R. P., Yang, S. E., & Baumgartner, J. C. (2010). Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *J Endod*, 36(2), 338-341. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.10.003>
- Molina, B., Glickman, G., Vandrangi, P., & Khakpour, M. (2015). Evaluation of root canal debridement of human molars using the GentleWave system. *Journal of endodontics*, 41(10), 1701-1705.
- Neuhaus, K. W., Liebi, M., Stauffacher, S., Eick, S., & Lussi, A. (2016). Antibacterial efficacy of a new sonic irrigation device for root canal disinfection. *Journal of endodontics*, 42(12), 1799-1803.
- Nielsen, B. A., & Baumgartner, J. C. (2007). Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *Journal of endodontics*, 33(5), 611-615.
- Nielsen, B. A., & Craig Baumgartner, J. (2007). Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod*, 33(5), 611-615. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.01.020>
- Nusstein, J. M. (2015). Sonic and ultrasonic irrigation. *Endodontic irrigation: chemical disinfection of the root canal system*, 173-197.
- Ordinola-Zapata, R., Mansour, D., Saavedra, F., Staley, C., Chen, R., & Fok, A. S. (2022). In vitro efficacy of a non-instrumentation technique to remove intracanal multispecies biofilm. *International Endodontic Journal*, 55(5), 495-504.
- Paqué, F., Al-Jadaa, A., & Kfir, A. (2012). Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus self-adjusting file instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars. *International Endodontic Journal*, 45(5), 413-418.
- Paragliola, R., Franco, V., Fabiani, C., Mazzoni, A., Nato, F., Tay, F. R., Breschi, L., & Grandini, S. (2010). Final rinse optimization: influence of different agitation protocols. *J Endod*, 36(2), 282-285. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.10.004>
- Pasqualini, D., Cuffini, A. M., Scotti, N., Mandras, N., Scalas, D., Pera, F., & Berutti, E. (2010). Comparative evaluation of the antimicrobial efficacy of a 5% sodium hypochlorite subsonic-activated solution. *J Endod*, 36(8), 1358-1360. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.03.035>
- Passarinho-Neto, J. G., Marchesan, M. A., Ferreira, R. B., Silva, R. G., Silva-Sousa, Y. T. C., & Sousa-Neto, M. D. (2006). In vitro evaluation of endodontic debris removal as obtained by rotary instrumentation coupled with ultrasonic irrigation. *Australian Endodontic Journal*, 32(3), 123-128.
- Paul, M. L., Mazumdar, D., Niyogi, A., & Baranwal, A. K. (2013). Comparative evaluation of the efficacy of different irrigants including MTAD under SEM. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 16(4), 336.

- Retsas, A., & Boutsoukias, C. (2019). An update on ultrasonic irrigant activation. *Endodontic Practice Today*, 13(2).
- Retsas, A., Dijkstra, R. J., van der Sluis, L., & Boutsoukias, C. (2022). The effect of the ultrasonic irrigant activation protocol on the removal of a dual-species biofilm from artificial lateral canals. *Journal of endodontics*, 48(6), 775-780.
- Retsas, A., Koursoumis, A., Tzimpoulas, N., & Boutsoukias, C. (2016). Uncontrolled removal of dentin during in vitro ultrasonic irrigant activation in curved root canals. *Journal of endodontics*, 42(10), 1545-1549.
- Rhodes, S. C. (2022). Ultrasonic device complications in endodontics: an analysis of adverse events from the Food and Drug Administration manufacturer and user facility device experience. *Journal of Patient Safety*, 18(4), 269-275.
- [Record #542 is using a reference type undefined in this output style.]
- Ruddle, C. J. (2015). Endodontic disinfection: Tsunami irrigation. *Saudi Endodontic Journal*, 5(1), 1-12.
- Setlock, J., Fayad, M. I., BeGole, E., & Bruzick, M. (2003). Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: a comparative scanning electron microscope study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 96(5), 614-617.
- Shin, W.-T., Mirmiran, A., Yiaccoumi, S., & Tsouris, C. (1999). Ozonation using micro-bubbles formed by electric fields. *Separation and purification technology*, 15(3), 271-282.
- Sigurdsson, A., Garland, R. W., Le, K. T., & Rassoulian, S. A. (2018). Healing of periapical lesions after endodontic treatment with the GentleWave procedure: a prospective multicenter clinical study. *Journal of endodontics*, 44(3), 510-517.
- Stamos, D. E., Sadeghi, E. M., Haasch, G. C., & Gerstein, H. (1987). An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic, and ultrasonic instrumentation. *Journal of endodontics*, 13(9), 434-440.
- Susin, L., Liu, Y., Yoon, J., Parente, J., Loushine, R., Ricucci, D., Bryan, T., Weller, R., Pashley, D. H., & Tay, F. (2010). Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system. *International Endodontic Journal*, 43(12), 1077-1090.
- Swimberghe, R., De Clercq, A., De Moor, R., & Meire, M. (2019). Efficacy of sonically, ultrasonically and laser-activated irrigation in removing a biofilm-mimicking hydrogel from an isthmus model. *International Endodontic Journal*, 52(4), 515-523.
- Tanomaru-Filho, M., Torres, F. F. E., Chávez-Andrade, G. M., Miano, L. M., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2016). Intermittent or continuous ultrasonically activated irrigation: micro-computed tomographic evaluation of root canal system cleaning. *Clinical oral investigations*, 20, 1541-1546.
- Tay, F. R., Gu, L.-s., Schoeffel, G. J., Wimmer, C., Susin, L., Zhang, K., Arun, S. N., Kim,

- J., Looney, S. W., & Pashley, D. H. (2010). Effect of vapor lock on root canal debriement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *Journal of endodontics*, 36(4), 745-750.
- Townsend, C., & Maki, J. (2009). An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal. *Journal of endodontics*, 35(7), 1040-1043.
- Uğur Aydın, Z., Erdönmez, D., Ateş, M. O., & Doğan Çankaya, T. (2023). Efficacy of different irrigation activation systems on bacterial extrusion. *Aust Endod J*, 49(2), 458. <https://doi.org/10.1111/aej.12648>
- Uroz-Torres, D., González-Rodríguez, M. P., & Ferrer-Luque, C. M. (2010). Effectiveness of the EndoActivator System in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Journal of endodontics*, 36(2), 308-311.
- Van der Sluis, L., Versluis, M., Wu, M., & Wesselink, P. (2007). Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International Endodontic Journal*, 40(6), 415-426.
- van der Sluis, L., Wu, M. K., & Wesselink, P. (2009). Comparison of 2 flushing methods used during passive ultrasonic irrigation of the root canal. *Quintessence Int*, 40(10), 875-879.
- van der Sluis, L. W., Verhaagen, B., Macedo, R., & Versluis, M. (2016). The role of irrigation in endodontics. *Lasers in Endodontics: Scientific Background and Clinical Applications*, 45-69.
- Vaz-Garcia, E. S., Vieira, V. T. L., Petitet, N. P. d. S. F., Moreira, E. J. L., Lopes, H. P., Elias, C. N., Silva, E. J. N. L., & Antunes, H. d. S. (2018). Mechanical properties of anatomic finishing files: XP-Endo Finisher and XP-Clean. *Brazilian Dental Journal*, 29, 208-213.
- Verhaagen, B., Boutsoukis, C., Van der Sluis, L., & Versluis, M. (2014). Acoustic streaming induced by an ultrasonically oscillating endodontic file. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 135(4), 1717-1730.
- Vivan, R. R., Bortolo, M. V., Duarte, M. A. H., Moraes, I. G. d., Tanomaru-Filho, M., & Bramante, C. M. (2010). Scanning electron microscopy analysis of RinsEndo system and conventional irrigation for debris removal. *Brazilian Dental Journal*, 21, 305-309.
- Walters, M. J., Baumgartner, J. C., & Marshall, J. G. (2002). Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *J Endod*, 28(12), 837-839. <https://doi.org/10.1097/00004770-200212000-00011>
- Wang, Q.-q., Zhang, C.-f., & Yin, X.-z. (2007). Evaluation of the bactericidal effect of Er, Cr: YSGG, and Nd: YAG lasers in experimentally infected root canals. *Journal of endodontics*, 33(7), 830-832.
- Weise, M., Roggendorf, M., Ebert, J., Petschelt, A., & Frankenberger, R. (2007). Four methods for cleaning simulated lateral extensions of curved root canals: a SEM evaluation. *Int Endod J*, 40(12), 979-1007.

- Wigler, R., Dvir, R., Weisman, A., Matalon, S., & Kfir, A. (2017). Efficacy of XP-endo finisher files in the removal of calcium hydroxide paste from artificial standardized grooves in the apical third of oval root canals. *International Endodontic Journal*, 50(7), 700-705.
- Wu, M. K., & Wesselink, P. (2001). A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *International Endodontic Journal*, 34(2), 137-141.
- Xin, Y., Yang, J., & Song, K.-Y. (2019). In vitro evaluation of the effectiveness of XP-endo Finisher file on smear layer removal after root canal instrumentation. *Hua xi kou Qiang yi xue za zhi= Huaxi Kouqiang Yixue Zazhi= West China Journal of Stomatology*, 37(1), 48-52.
- Yang, Q., Liu, M., Zhu, L., & Peng, B. (2020). Micro-CT study on the removal of accumulated hard-tissue debris from the root canal system of mandibular molars when using a novel laser-activated irrigation approach. *International Endodontic Journal*, 53(4), 529-538.
- Yavari, H. R., Rahimi, S., Shahi, S., Lotfi, M., Barhaghi, M. H., Fatemi, A., & Abdolrahimi, M. (2010). Effect of Er, Cr: YSGG laser irradiation on *Enterococcus faecalis* in infected root canals. *Photomedicine and laser surgery*, 28(S1), S-91-S-96.
- Yost, R. A., Bergeron, B. E., Kirkpatrick, T. C., Roberts, M. D., Roberts, H. W., Himel, V. T., & Sabey, K. A. (2015). Evaluation of 4 Different Irrigating Systems for Apical Extrusion of Sodium Hypochlorite. *J Endod*, 41(9), 1530-1534. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.05.007>
- Zehnder, M. (2006). Root canal irrigants. *Journal of endodontics*, 32(5), 389-398.
- Zhang, D., Shen, Y., de la Fuente-Núñez, C., & Haapasalo, M. (2019). In vitro evaluation by quantitative real-time PCR and culturing of the effectiveness of disinfection of multispecies biofilms in root canals by two irrigation systems. *Clinical oral investigations*, 23, 913-920.



Bölüm 4

PROTETİK DIŞ TEDAVİSİNDE NANOMATERYALLERİN KULLANIMI

Behiç Selman Erdoğan¹

Meryem Erdoğan²

1 Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Konya, Türkiye, mail

2 Necmettin Erbakan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Bölümü, Konya, Türkiye, meryem.tuncay@icloud.com

1. GİRİŞ

1.1. Nanoteknolojiye Giriş

1.1.1. Nanoteknolojinin tanımı ve prensipleri

Nanoteknoloji, tipik olarak 1 ila 100 nanometre arasında değişen boyutlar olarak tanımlanan nano ölçekteki malzeme ve cihazların tasarımını, üretimini ve uygulamasını kapsayan çok disiplinli bir alandır. Bu alan, tıp, malzeme bilimi ve elektronik dahil olmak üzere çeşitli sektörlerdeki dönüştürücü potansiyeli nedeniyle genellikle bir sonraki sanayi devriminin sınırı olarak müjdelenen çok önemli bir araştırma ve geliştirme alanı olarak ortaya çıkmıştır (Bayda et al., 2019; Harrison & Sirivisoot, 2011). Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Nanoteknoloji Girişimi (NNI) nanoteknolojiyi, benzersiz fenomenlerin yeni uygulamalara olanak sağladığı nano ölçekte maddenin anlaşılması ve kontrolü olarak tanımlamaktadır (Salas et al., 2023). Nanoteknolojinin ilkeleri, malzemelerin nano ölçekte sergiledikleri ve yığın halindeki benzerlerinden önemli ölçüde farklılık gösteren benzersiz özelliklere dayanmaktadır (Uyaner & Yar, 2019). Bu özellikler, yüksek yüzey alanı-hacim oranına ve bu ölçekte önemli hale gelen kuantum etkilerine atfedilen artan reaktivite, güç ve elektrik iletkenliğini içerebilir (Bostrom & Löfstedt, 2010; Seven et al., 2018). Örneğin, nanomalzemeler tıpta ilaç dağıtım sistemlerini geliştirmek için tasarlanabilir, bu da hedefe yönelik tedaviye ve ilaçların biyoyararlanımının iyileştirilmesine olanak tanır (Martis et al., 2012; Singh & Singh, 2013). Ayrıca, malzemelerin nano ölçekte manipülasyonu, inşaatta nanokompozitler, çevresel izlemede nanosensörler ile nanomalzeme katkılı membranlar ve tüketici ürünlerinde nanoyapılı kaplamalar gibi çeşitli uygulamalarda yeniliklere yol açmıştır (Akın et al., 2023; Shankar et al., 2022). Nanoteknolojinin evrimi, artan uluslararasılaşması ve uygulamaların çeşitlenmesiyle de belirginleşmiştir. Başlangıçta enstrümantasyona odaklanan alan, farklı endüstrilerdeki çeşitli niş uygulamalara doğru genişlemiş ve nanoteknoloji patentinde önde gelen ülkeler arasındaki uzmanlaşma modellerinde önemli bir değişimi yansıtmıştır (Mangematin & Walsh, 2012; Wong et al., 2007). Bu büyümeye karmaşık bir toplumsal algı ve etik kaygılar manzarası eşlik etmektedir, zira kamuoyunun nanoteknolojiye yönelik tutumları belirli uygulamalarla ilişkili algılanan risk ve faydalara göre değişmektedir (Gupta et al., 2015; Kuzma, 2010). Bu toplumsal dinamikleri anlamak, nanoteknolojik yeniliklerin kabulünü teşvik etmek ve sorumlu bir şekilde geliştirilmesine rehberlik etmek için çok önemlidir (Öner et al., 2013).

1.1.2. Dişhekimliğindeki önemi

Nanoteknoloji diş hekimliğinde dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmış, yenilikçi malzemeler ve teknikler aracılığıyla diş bakımının kalitesini önemli ölçüde artırmıştır. Nanoteknolojinin diş hekimliği uygulamalarına entegrasyonu önleyici, tanısal ve tedavi edici prosedürlerde ilerlemelere yol

açarak ağız sağlığı sonuçlarını iyileştirmiştir. Bu genel bakışta nanoteknolojinin restoratif materyaller, hastalık yönetimi ve hasta bakımı dahil olmak üzere diş hekimliğinin çeşitli yönlerindeki önemi tartışılacaktır. Nanoteknolojinin diş hekimliğindeki en kayda değer uygulamalarından biri gelişmiş restoratif malzemelerin geliştirilmesidir. Nanopartiküller ve nanokompozitler gibi nanomalzemeler, mekanik özelliklerini, dayanıklılıklarını ve estetik niteliklerini geliştirmek için dental reçinelere dahil edilmiştir. Örneğin, dental kompozitlerde gümüş nanopartiküllerin kullanımı, biyofilm oluşumunu önlemek ve restorasyonların uzun ömürlülüğünü artırmak için çok önemli olan antibakteriyel özellikler göstermiştir (Barot et al., 2020; Ferrando-Magraner, 2023; Ferrando-Magraner et al., 2020). Ayrıca, karbon nanotüplerin dahil edilmesi, dental malzemelerin mekanik mukavemetini ve bağlanma yeteneklerini geliştirerek klinik uygulamalarda daha etkili hale getirme konusunda umut vaat ettiğini göstermiştir (Castro-Rojas et al., 2021; Malik, 2023). Bu gelişmeler yalnızca dental materyallerin performansını iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda geleneksel materyallerle ilişkili komplikasyon riskini azaltarak daha iyi hasta sonuçlarına katkıda bulunur. Dahası, nanoteknoloji diş hastalıklarının önlenmesi ve tedavisinde hayati bir rol oynamaktadır. Doğal diş dokularının yapısını taklit eden biyomimetik nanoteknolojinin geliştirilmesi, mine ve dentinin remineralizasyonunu kolaylaştırmış ve böylece çürük ve aşırı hassasiyet gibi sorunları ele almıştır (Castro-Rojas et al., 2021; Dakhale, 2023). Nanorobotlar ve hedefe yönelik ilaç dağıtım sistemleri de diş hastalıkları için hassas tedavi sağlamak üzere araştırılmakta ve periodontal hastalık gibi durumların daha etkili bir şekilde yönetilmesine olanak sağlamaktadır (Aminu et al., 2017; Malik, 2023). Nano ölçekte terapötik ajanlar sunma yeteneği, tedavilerin etkinliğini artırırken yan etkileri en aza indirerek diş bakımında önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Ayrıca, diş hekimliğinde nanoteknolojinin etik, sosyal ve sağlık üzerindeki etkileri de dikkatle değerlendirilmelidir. Nanoteknoloji gelişmeye devam ettikçe, bu yenilikçi teknolojilerin sorumlu bir şekilde kullanılmasını sağlamak için halkın kabulünü, güvenlik endişelerini ve düzenleyici çerçeveleri ele almak esastır (P. Jain et al., 2022; S. Jain, 2024). Nanoteknolojinin ağız sağlığını iyileştirme-deki potansiyel faydaları büyüktür, ancak bu faydalar hasta güvenliği ve etik uygulamalarla dengelenmelidir.

Diş hekimliğinde kullanılan çeşitli nanomalzeme türleri ve özellikleri:

1. Nanopartiküller:

o **Gümüş Nanopartikülleri:** Antibakteriyel özellikleri sayesinde diş ya-pıştırıcıları ve kaplamalarda kullanılır.

o **Çinko Oksit Nanopartikülleri:** Antibakteriyel etkiler, diş simanları ve kompozitlerde yer alır.

2. Nanokompozitler:

o **Seramik Nanokompozitler:** Gelişmiş mekanik özellikler, diş taçları ve köprülerde kullanılır.

o **Polimer Nanokompozitler:** Güç ve aşınma direncini artırarak restoratif malzemelerde uygulanır.

3. Nanotüpler:

o **Karbon Nanotüpleri:** Artan çekme dayanımı ve elektriksel iletkenlik, biyosensörler ve güçlendirilmiş malzemeler için araştırılmaktadır.

4. Nanolifler:

o **Polimer Nanolifleri:** Doku mühendisliği iskeletleri ve ilaç taşıma sistemleri için kullanılır.

5. Nano-kaplamalar:

o **Hidroksiapatit Kaplamaları:** İmplantlarda osseointegrasyonu artırmak için kullanılır.

o **Biyoyumlu Kaplamalar:** Diş materyallerinin yüzey özelliklerini geliştirmek için uygulanır.

6. Nanogeller:

o Lokal anestezi ve anti-inflamatuar ajanlar için ilaç taşıma sistemleri olarak kullanılır.

7. Nanokristaller:

o **Kalsiyum Fosfat Nanokristalleri:** Remineralizasyon tedavileri ve restoratif malzemelerde kullanılır.

8. Kuantum Noktaları:

o Diş hekimliğinde görüntüleme ve tanısal uygulamalar için kullanılır.

Bu nanomalzemeler, dental tedavilerin etkinliğini, dayanıklılığını ve estetik çekiciliğini artırmak amacıyla benzersiz özelliklerinden yararlanılarak kullanılmaktadır.

1.2. Nanoteknolojinin Protetik Diş Hekimliğindeki Uygulamaları

Nanoteknoloji, protez alanında dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmış ve dental materyallerin ve tekniklerin özelliklerini ve performansını önemli ölçüde artırmıştır. Nanomateryallerin protez uygulamalarına entegrasyonu mekanik özelliklerde, biyoyumlulukta ve estetik sonuçlarda iyileşmelere yol açarak hasta bakımı ve tedavi etkinliğinde devrim yaratmıştır.

1.2.1. Protetik cihazlarda kullanılan nanomateriyaller

Nanomalzemeler, mekanik özelliklerini, biyoyumluluklarını ve antibakteriyel etkinliklerini önemli ölçüde artırarak diş protez cihazlarının geliştirilmesinde çok önemli bileşenler olarak ortaya çıkmıştır. Gümüş nanopartiküller (AgNP), titanyum dioksit (TiO_2) ve zirkonyum dioksit (ZrO_2) gibi çeşitli nanomalzemelerin dental uygulamalara entegrasyonu kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve diş protezlerinin uzun ömürlülüğünü ve işlevselliğini geliştirme potansiyelleri ortaya konmuştur. Nanomalzemelerin diş protezlerine dahil edilmesinin başlıca avantajlarından biri antibakteriyel özellikler kazandırma kabiliyetleridir. Örneğin, AgNP'lerin dental materyallere eklenmesinin, diş çürüklerine önemli bir katkıda bulunan *Streptococcus mutans* da dahil olmak üzere patojenik bakterilerin büyümesini etkili bir şekilde engellediği gösterilmiştir (Kwon et al., 2021; Sree et al., 2021). Benzer şekilde, TiO_2 nanopartikülleri, ışığa maruz kalma altında dental kompozitlerin antibakteriyel aktivitesini artıran fotokatalitik özellikleri için kullanılmıştır (Chen et al., 2018; J. Sun et al., 2017). Bu, diş protezlerinde biyofilm oluşumunu önlemede, dolayısıyla enfeksiyon riskini azaltmada ve genel ağız sağlığını iyileştirmede özellikle önemlidir (Dakhale, 2023; Mok et al., 2020). Ayrıca, dental malzemelerin mekanik özellikleri nanomalzemelerin dahil edilmesiyle önemli ölçüde geliştirilebilir. Araştırmalar, polimer bazlı dental reçinelere TiO_2 ve ZrO_2 nanopartiküllerinin eklenmesinin, güçlerini ve dayanıklılıklarını artırarak onları kronlar ve köprüler gibi yük taşıyan uygulamalar için daha uygun hale getirdiğini göstermektedir (Cao et al., 2019; Gomes et al., 2015). Nano ölçekli modifikasyonlar yalnızca mekanik performansı artırmakla kalmaz, aynı zamanda doğal diş yapısıyla daha iyi entegrasyona izin vererek özelliklerini daha yakından taklit eder (Costea et al., 2021; Mok et al., 2020). Diş protez malzemelerinin biyoyumluluğu, nanomalzemelerin kullanımıyla ele alınan bir diğer kritik faktördür. Nanopartiküller, dental implantların ve protezlerin başarısı için gerekli olan gelişmiş hücre yapışması ve çoğalması gibi olumlu biyolojik tepkileri teşvik edecek şekilde tasarlanabilir (Pop et al., 2021; Sharifi et al., 2022). Örneğin, TiO_2 nanotüplerin dental implantların osseointegrasyonunu iyileştirdiği ve çevredeki kemik dokusuyla daha iyi bağlanmayı kolaylaştırdığı gösterilmiştir (Kulkarni et al., 2015). Ayrıca, nanoteknolojideki ilerlemeler, nanorobotik gibi yenilikçi dental uygulamaların geliştirilmesine yol açmıştır ve bu da gelecekteki dental bakım için umut vaat etmektedir. Bu mikroskobik cihazlar, hedefe yönelik ilaç dağıtımı veya ağız sağlığı koşullarının gerçek zamanlı izlenmesi gibi hücresel düzeyde hassas görevleri potansiyel olarak yerine getirebilir (Kanaparthi & Kanaparthi, 2011; Sachdeva et al., 2021). Bu, nanomalzemelerin benzersiz özelliklerinden yararlanarak kişiselleştirilmiş ve proaktif diş bakımına doğru önemli bir değişimi temsil etmektedir.

1.2.2. Dental implantlar için nanokaplamalar

Dental implantlar için nanokaplamalar, biyoyumluluk, osseointegrasyon ve antimikrobiyal özellikleri geliştirmeyi amaçlayan implant teknolojilerinde önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Nano kaplamaların uygulanması, implant yüzeyi ve çevresindeki biyolojik dokular arasındaki etkileşimi iyileştirebilir ve bu da dental implantların başarısı için çok önemlidir. Umut verici bir yaklaşım, implant yerleştirildikten sonra tipik inflamatuvar koşullar altında bile hücre yapışmasını ve osteoblastik farklılaşmayı teşvik ettiği gösterilen kuersitrin-nanokaplamalı titanyum yüzeylerin kullanımını içerir. Bu durum, bu tür kaplamaların implant çevresinde daha iyi bağ dokusu oluşumunu kolaylaştırarak osseointegrasyon sürecini geliştirebileceğini düşündürmektedir (Córdoba et al., 2015; Gomez-Florit et al., 2016). Ayrıca, biyoaktif bileşiklerin nano kaplamalara dahil edilmesi, kemik rejenerasyonu ve entegrasyonu için gerekli olan osteoblast aktivitesini uyabilir (Ashtiani et al., 2022; Silva et al., 2022). Grafen ve grafen oksit nano kaplamalar da diş implantlarının özelliklerini iyileştirmek için etkili çözümler olarak ortaya çıkmıştır. Bu malzemeler yalnızca biyoyumluluğu artırmak ve kemik oluşumunu teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda biyofilm oluşumunu ve implantla ilişkili enfeksiyon riskini azaltarak önemli antibakteriyel aktivite sergiler (Al-Noaman, 2023; Rayannavar, 2024). Grafenin benzersiz yapısı, osseointegrasyonu teşvik eden biyolojik moleküllerin bağlanması için faydalı olabilecek yüksek bir yüzey alanına izin verir (Rosa et al., 2021). Bir başka gelişme alanı da, mükemmel korozyon direnci ve oral biyofilmlerin etkilerini en aza indirme kabiliyeti gösteren silisyum karbür (SiC) kaplamaların kullanılmasıdır (Camargo et al., 2021). SiC kaplamaların koruyucu nitelikleri, zorlu ağız ortamında bozulmayı önleyerek dental implantların ömrünü uzatabilir. Ayrıca, nano kaplamalarda gümüş gibi metal nanopartiküllerin kullanılmasının antibakteriyel özellikler kazandırarak dental implantların güvenliğini ve etkinliğini daha da artırdığı gösterilmiştir (Besinis et al., 2017; Metryka et al., 2021). Son araştırmalar, osteokondüktif özellikleriyle bilinen hidroksiapatit ve kalsiyum fosfat nano kaplamaların potansiyelini de araştırmıştır. Bu kaplamalar dental implantların biyolojik ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirerek daha hızlı iyileşmeyi ve kemik dokusuyla bütünleşmeyi teşvik edebilir (Choi & Ben-Nissan, 2015; Gotfredson et al., 1995). İmplantların yüzey özelliklerini nano ölçekte değiştirme yeteneği, belirli klinik ihtiyaçları karşılamak için özel yaklaşımlara olanak tanıyarak dental implant prosedürlerinin genel başarı oranlarını artırır (Rahnama-Hezavah, 2023).

1.2.3. Kron ve köprülerde nanokompozitler

Nanokompozitler, özellikle kron ve köprü üretiminde olmak üzere dental malzemelerde önemli bir ilerleme olarak ortaya çıkmıştır. Nano ölçekli dolgu maddelerini polimer matrislere dahil eden bu malzemeler, gelişmiş mekanik özellikler, estetik nitelikler ve biyoyumluluk sergileyerek onları çe-

şitli dental uygulamalar için uygun hale getirmektedir. Nanokompozitlerin diş kronları ve köprülerindeki başlıca avantajlarından biri gelişmiş mekanik dayanımlarıdır. Örneğin, yttria-stabilize tetragonal zirkonya polikristalleri (Y-TZP) mükemmel eğilme mukavemetleri ve toklukları nedeniyle dental restorasyonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Son gelişmeler, bu mekanik özellikleri daha da geliştirerek oklüzal kuvvetler altında daha esnek hale getiren seryumla stabilize edilmiş zirkonya/alümina nanokompozitlerinin (Ce-TZP/ Al_2O_3) oluşturulmasına yol açmıştır (Noda et al., 2010). Ek olarak, TiO_2 ve halloysit nanotüpler gibi nanofillerin dahil edilmesinin dental kompozitlerin eğilme mukavemetini ve sertliğini artırdığı, böylece klinik ortamlarda uzun ömürlülüklerini ve performanslarını artırdığı gösterilmiştir (Cunha et al., 2018; Díez-Pascual & Díez-Vicente, 2015). Diş restorasyonlarının estetik çekiciliği de nanokompozitler tarafından önemli ölçüde artırılır. Nanofillerin kullanımı, doğal görümlü restorasyonlar elde etmek için çok önemli olan daha iyi ışık geçirgenliği ve renk stabilitesi sağlar. Örneğin, çalışmalar nanokompozitlerin asitli içecekler gibi çeşitli çevresel faktörlere maruz kaldığında geleneksel malzemelere kıyasla üstün renk stabilitesi sergilediğini göstermiştir (Scribante et al., 2019; Zidan et al., 2020). Bu özellik, estetiğin çok önemli olduğu anterior restorasyonlar için özellikle önemlidir. Ayrıca, nanokompozitlerin biyoyumluluğu diş hekimliğindeki uygulamalarında kritik bir faktördür. Nanomateryaller antimikrobiyal özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanabilir ve bu da diş restorasyonlarında ikincil enfeksiyon riskini azaltmaya yardımcı olabilir. Örneğin gümüş nanopartiküller, antibakteriyel etkiler sağlamak için dental kompozitlere dahil edilmiş ve böylece diş tedavilerinin genel güvenliğini ve etkinliğini artırmıştır (Alhotan et al., 2023; Yin et al., 2020). Nanokompozitlerin yüzey özelliklerini değiştirme yeteneği de biyoyumluluklarına katkıda bulunarak onları implantlar ve restoratif malzemeler de dahil olmak üzere çeşitli dental uygulamalar için uygun hale getirir (Vasiliiu et al., 2021; Zhang et al., 2021). Mekanik ve estetik faydalarına ek olarak, 3D baskı teknolojisinde nanokompozitlerin kullanılması diş kronları ve köprülerinin imalatında devrim yaratmıştır. Bu teknoloji, diş restorasyonlarının hassas bir şekilde özelleştirilmesine olanak tanıyarak daha iyi bir uyum ve gelişmiş hasta sonuçları sağlar. 3D baskının katman katman yaklaşımı, nanokompozitlerin özellikleriyle birleştiğinde, modern diş hekimliğinde sıklıkla ihtiyaç duyulan karmaşık geometrilerin üretilmesini sağlar (Lal et al., 2021; Noworyta, 2023).

1.3. Nanoteknolojinin Protetik Diş Hekimliğindeki Faydaları

Nanoteknoloji, dental materyallerin ve cihazların performansını ve uzun ömürlülüğünü artırarak protez alanında dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Nanomateryallerin protez uygulamalarına entegrasyonu, dental restorasyonların mekanik özellikleri, estetik nitelikleri ve biyolojik uyumluluğunda önemli ilerlemelere yol açmıştır.

1.3.1. Geliştirilmiş mekanik özellik

Nanoteknoloji, özellikle dental materyallerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde, protez alanında dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Nano dolgu maddelerinin dental kompozitlere dahil edilmesinin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği gösterilmiştir. Örneğin Mutar ve Mahdi, nano dolgu partiküllerinin küresel şeklinin daha iyi cilalanabilirliğe ve mekanik stresin daha homojen dağılımına izin verdiğini, bunun da geleneksel malzemelere kıyasla mekanik özelliklerin geliştirilmesine yol açtığını vurgulamaktadır (Mutar & Mahdi, 2019). Bu, restorasyonların dayanıklılığının ve estetik kalitesinin çok önemli olduğu protetik diş tedavisinde çok önemlidir. Ayrıca, üç boyutlu (3D) basılmış hareketli bölümlü protez kaide malzemelerinin geliştirilmesi, protez uygulamalarında yeni bir paradigma getirmiştir. Dwivedi, bu materyallerin dental protezlerinin uzun ömürlülüğü ve işlevselliği için gerekli olan gelişmiş mikroyapısal bütünlük ve mekanik özellikler sergilediğini belirtmektedir (Dwivedi, 2024). 3D baskı teknolojisinde ilerlemeler nanoteknoloji ile birleştiğinde, yalnızca daha esnek değil aynı zamanda hastaların özel ihtiyaçlarına göre uyarlanmış protez cihazlarının oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Alkahtani'nin derlemesi, nanoteknolojinin malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirerek dental alanda devrim yarattığını ve böylece klinik uygulamalardaki performanslarını artırdığını vurgulamaktadır (Alkahtani, 2018). Bu durum, nanogümüşün akrilik rezine entegrasyonunun dental malzemelerin fiziksel-kimyasal özelliklerini nasıl geliştirdiğini ve böylece verimliliklerini ve mekanik güçlerini nasıl artırdığını tartışan Selvaraj ve Dorairaj tarafından da desteklenmektedir (Selvaraj & Dorairaj, 2015). Nanomateryallerin yüksek yüzey alanı ve mukavemet gibi benzersiz özellikleri, protez materyallerinin genel olarak geliştirilmesine katkıda bulunarak klinik ortamlarda daha etkili olmalarını sağlar. Ayrıca, polimer nanokompozitlerin kullanımı, geleneksel kompozitlere kıyasla mekanik özelliklerde kayda değer gelişmeler göstermiştir. Bisen, bu nanokompozitlerin genellikle üstün mekanik özellikler sergileyerek onları protetik diş hekimliğinde yapısal uygulamalar için uygun hale getirdiğini vurgulamaktadır (Bisen, 2015). TiO_2 gibi nanopartiküllerin PMMA gibi malzemelere dahil edilmesi, hem antibakteriyel nitelikleri hem de mekanik özellikleri geliştirmek için araştırılmış ve nanoteknolojinin dental uygulamalardaki çok yönlülüğünü daha da göstermiştir (Sultana et al., 2023). Ayrıca, dental materyallerin mekanik özellikleri biyomateryal seçiminden önemli ölçüde etkilenebilir. Heboyan ve arkadaşlarına göre, protetik diş tedavisinde zirkonyum ve titanyum gibi yüksek mukavemetli malzemelerin kullanılması, diş restorasyonlarının uzun ömürlü olması için gerekli olan implantlar ve protez vidaları üzerinde daha iyi mekanik davranışa ve daha az strese yol açmaktadır (Heboyan et al., 2022). Bu durum, materyallerin nano ölçekte manipüle edilmesinin mekanik özelliklerinde önemli gelişmeler sağlayabileceğini

ve böylece protetik diş hekimliğindeki uygulamalarını geliştirebileceğini ileri süren Gupta ve Sharma'nın bulgularıyla uyumludur (Al-Jammali, 2024).

1.3.2. Estetik sonuçların iyileştirilmesi

Nanoteknoloji, protez alanında, özellikle de estetik sonuçların geliştirilmesinde dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Diş protezlerinde nanomalzemelerin uygulanmasının, restorasyonlarda kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği ve daha iyi estetik sonuçlara yol açtığı gösterilmiştir. Örneğin, nanofillerin dental kompozitlere dahil edilmesi, protetik restorasyonlarda doğal bir görünüm elde etmek için kritik olan yarı saydamlık ve renk stabilitesi gibi optik özelliklerini geliştirmektedir (Al-Jammali, 2024). Malzemelerin nano ölçekte manipüle edilebilmesi, diş protezlerinin dokusu ve cilası üzerinde daha hassas bir kontrole olanak tanıyarak doğal dişlerin görünümünü yakından taklit eden restorasyonlarla sonuçlanır (Al-Jammali, 2024). Ayrıca, nanoteknolojideki ilerlemeler, artan mukavemet ve azaltılmış polimerizasyon büzülmesi gibi üstün mekanik özellikler sergileyen nanokompozitlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu gelişmeler sadece protez cihazların dayanıklılığını artırmakla kalmayıp aynı zamanda ağız boşluğuna estetik entegrasyonlarına da katkıda bulunmaktadır (Al-Jammali, 2024; Wang et al., 2015). Örneğin, çalışmalar nanoseramiklerin geleneksel materyallere kıyasla daha yüksek derecede cila ve yüzey pürüzsüzlüğü sağlayabildiğini göstermiştir; bu da plak birikimini en aza indirmek ve dental restorasyonların genel estetik çekiciliğini artırmak için gereklidir (Pai et al., 2016; Sreenivasalu et al., 2022). Nanoteknolojinin estetik faydaları yalnızca görünümün ötesine geçer; hasta memnuniyetine katkıda bulunan işlevsel yönleri de kapsar. Geliştirilmiş estetik sonuçlar, gülümsemelerine daha fazla güvendikleri için hastaların özgüvenlerinin ve psikolojik refahlarının artmasına yol açabilir (Astuti, 2024). Ayrıca, protez cihazların üretiminde nanoteknolojinin sağladığı hassasiyet, restorasyonların hem estetik hem de işlevsel performansını daha da artıran daha iyi hizalama ve uyum sağlar (Dudley, 2023).

1.3.3. Biyouyumluluk ve doku reddetme oranlarının azaltılması

Nanoteknoloji, özellikle malzemelerin biyouyumluluğunu artırma ve diş protezleriyle ilişkili ret oranlarını azaltma konusunda protez alanında dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Nanomateryallerin protez cihazlarına entegrasyonu, hasta kabulü ve diş restorasyonlarının uzun vadeli başarısı için çok önemli olan mekanik özellikler, estetik nitelikler ve biyolojik etkileşimlerde önemli gelişmeler göstermiştir. Nanoteknolojinin protetik diş hekimliğindeki başlıca faydalarından biri biyouyumluluğun artırılmasıdır. Nano ölçekli dolgu maddelerini polimer matrislere dahil eden nanokompozitler, geleneksel malzemelere kıyasla gelişmiş fizikomekanik özellikler göstermiştir. Örneğin, çalışmalar PMMA protez kaidelerine TiO₂ nanopartiküllerinin

eklenmesinin sadece mekanik mukavemetlerini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda minimal sitotoksik etkiler gösteren in vitro deneylerle kanıtlandığı üzere biyouyumluluklarını da koruduğunu göstermiştir (Acosta-Torres et al., 2011; Mansour et al., 2017). Ayrıca, zirkonya nanopartiküllerinin kullanımı, protez malzemelerinde daha iyi kırılma tokluğu ve daha az çatlak yayılımı ile ilişkilendirilmiş ve diş protezlerinin daha yüksek hayatta kalma oranlarına katkıda bulunmuştur (Bapat et al., 2022). Gelişmiş mekanik özellikler, genellikle reddedilmenin öncüsü olan protez arızası olasılığında bir azalmaya yol açabileceğinden, bu özelliklerle önemlidir. Ayrıca, nanomateryallerin dahil edilmesinin protez cihazlarının estetik özelliklerini geliştirdiği gösterilmiştir. Nanoyapılı malzemeler, hasta memnuniyeti için gerekli olan doğal dişlerle daha iyi yarı saydamlık ve renk uyumu sağlayabilir (Kuşcu, 2023). Bu nanokompozitlerin geliştirilmiş yüzey özellikleri ayrıca bakteriyel yapışmanın azalmasına katkıda bulunarak dental implantların ve protezlerin reddedilmesine yol açabilecek enfeksiyon riskini azaltır (Gürsoy & Yılmaz, 2023). Gümüş ve TiO₂ gibi bazı nanopartiküllerin antibakteriyel özellikleri, diş tedavilerinde komplikasyonların yaygın bir nedeni olan mikrobiyal kolonizasyonu önlemedeki faydalarını daha da güçlendirmektedir (Ziğbowicz et al., 2021). Biyouyumluluk ve estetik iyileştirmelere ek olarak, protetik diş tedavisinde nanoteknolojinin kullanımı ret oranlarında azalma ile ilişkilendirilmiştir. Nanokompozitlerin biyolojik dokularla gelişmiş entegrasyonu, gelişmiş yüzey özelliklerine ve dental implantlarda daha iyi osseointegrasyonu teşvik edebilecek nano ölçekte yüzeyi değiştirme yeteneğine bağlanmaktadır (Ali Sabri et al., 2021; Vignesh et al., 2023). Dental implantların başarılı bir şekilde entegrasyonu, vücut tarafından kabul edilmelerinde kilit bir faktör olduğundan bu çok önemlidir. Çalışmalar, implantlar üzerindeki nano-yapılı kaplamaların çevre dokularla etkileşimlerini önemli ölçüde artırarak klinik sonuçların iyileşmesine yol açabileceğini göstermiştir (Karim, 2024; Sree et al., 2021).

1.4. İmplantoloji alanında Nanoteknoloji

Nanoteknoloji, implantolojide, özellikle de dental ve ortopedik implantlar alanında dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Nanoyapılı malzemelerin uygulanmasının, implantların çevredeki biyolojik dokularla entegrasyonunu artırdığı, böylece klinik sonuçları iyileştirdiği ve geleneksel implant malzemeleriyle ilişkili komplikasyonları azalttığı gösterilmiştir.

1.4.1. İmplant yüzey modifikasyonlarında nanoteknolojinin rolü

Nanoteknoloji, özellikle osseointegrasyonu ve genel implant performansını artıran yüzey modifikasyonlarındaki rolü sayesinde dental implantlar alanında dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Dental implantlarda nanoteknolojinin uygulanması, çevre dokularla biyolojik etkileşimleri önemli ölçüde iyileştirebilecek yüzeyler oluşturmak için nano ölçekte malzemelerin manipülasyonunu içerir. Bu sentez, ilgili literatürle desteklenen dental

implant yüzey modifikasyonlarında nanoteknolojinin çeşitli yöntemlerini ve faydalarını araştıracaktır. Dental implantlarda nanoteknoloji kullanmanın başlıca avantajlarından biri, dental implantların başarısı için kritik öneme sahip olan osseointegrasyonun geliştirilmesidir. Nano ölçekteki yüzey modifikasyonları, implantın kemik dokusuyla bütünleşmesi için gerekli olan protein adsorpsiyonunun ve hücre yapışmasının iyileştirilmesine yol açabilir. Örneğin, çalışmalar nano ölçekte yüzey pürüzlülüğüne sahip titanyum implantların geleneksel yüzeylere kıyasla daha iyi hücre tepkileri ve kemik oluşumunu teşvik ettiğini göstermiştir (Gaviria et al., 2014; Xu, Y., Meng, F., & Tang, 2024). Kalsiyum fosfat (CaP) nanokristalleri gibi biyoaktif kaplamaların dahil edilmesinin de kemik yerleşimini ve iyileşmesini uyarak osseointegrasyonu daha da artırdığı gösterilmiştir (Joseph et al., 2018; Pai et al., 2016). Ayrıca, nanoteknoloji yoluyla elde edilen kontrollü topografi ve kimya, öngörülebilir doku bütünleştirici özelliklere yol açabilir. Litografi ve anodizasyon dahil olmak üzere çeşitli işleme teknikleri, hücresel davranışı ve doku gelişimini etkileyebilecek spesifik nano yapılara sahip yüzeylerin oluşturulmasına izin verir (Lavenus et al., 2010; Rasouli et al., 2018). Bu modifikasyonlar sadece implantların mekanik stabilitesini iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda biyouyumluluklarını da artırarak peri-implant enfeksiyon ve komplikasyon riskini azaltır (Neel et al., 2015; Sivoletta et al., 2012). Gümüş nanopartiküller gibi nanopartiküllerin kullanımı, implant yüzeylerinde biyofilm oluşumunu önlemeye yardımcı olabilecek antimikrobiyal özellikleri nedeniyle araştırılmıştır. Biyofilmler, peri-implantitis nedeniyle implant başarısızlığının önemli bir nedeni olduğu için bu özelliklerle önemlidir (Allaker, 2010; Sivoletta et al., 2012). Bu tür nanopartiküllerin implant yüzeylerine dahil edilmesi bakteriyel yapışmayı azaltabilir, böylece enfeksiyon riskini en aza indirebilir ve implantların uzun ömürlülüğünü artırabilir (Besinis et al., 2015; Rasouli et al., 2018). Ayrıca, nanokompozitlerin geliştirilmesi, implantlarla birlikte kullanılan dental materyallerin mekanik özelliklerinde iyileşmelere yol açmıştır. Nanofiller yüzey sertliğini artırabilir ve restoratif malzemelerin polimerizasyon büzülmesini azaltabilir, bu da zaman içinde dental restorasyonunun bütünlüğünü korumak için çok önemlidir (Sree et al., 2021; Wang et al., 2015). Nanoteknoloji ve restoratif malzemeler arasındaki bu sinerji, dental uygulamalardaki nano ölçekli yeniliklerin kapsamlı faydalarını örneklemektedir.

1.4.2. Osseointegrasyon ve iyileşme üzerindeki etkileri

Nanoteknoloji, dental implantlarda osseointegrasyon ve iyileşmenin artırılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Nano ölçekli modifikasyonların implant malzemelerine entegrasyonu, başarılı osseointegrasyon için çok önemli olan biyouyumluluklarını ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirir. Titanyum ve alaşımları, olumlu özellikleri nedeniyle dental implantlarda yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak yetersiz osseointegrasyon ve implantla ilişkili enfeksiyonlar gibi sorunlar nedeniyle uzun vadeli başarıları

tehlikeye girebilir. Nanoteknolojideki son gelişmeler, biyolojik dokularla etkileşimlerini artırmak ve böylece çevredeki kemikle daha iyi entegrasyonu teşvik etmek için bu malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirmeye odaklanmıştır (Shah et al., 2020; Zhang et al., 2021). Nanoteknolojinin osseointegrasyonu geliştirdiği başlıca mekanizmalardan biri dental implantların yüzey topografisini iyileştirmektir. Nanotübüler ve nanogözenekli oksit katmanlarının oluşturulması gibi nano ölçekli modifikasyonların, titanyum yüzeylerin biyoaktivitesini artırarak daha iyi kemik hücresi yapışmasını ve çoğalmasını kolaylaştırdığı gösterilmiştir (Baena et al., 2017; Campanelli et al., 2017). Bu modifikasyonlar, iyileşme sürecini tehlikeye atabilecek peri-implant enfeksiyonların önlenmesinde kritik öneme sahip olan bakteriyel yapışmayı da azaltabilir (Pol, 2024; Thakral, 2014). Örneğin, antimikrobiyal özelliklere sahip nanopartiküllerin implant yüzeyine dahil edilmesi enfeksiyon riskini önemli ölçüde azaltabilir ve böylece dental implantların genel başarı oranını artırabilir (Chitlange, 2024; Parnia et al., 2017). Ayrıca, dental implantlarla entegre ilaç dağıtım sistemlerinin geliştirilmesinde nanoteknolojinin uygulanması, osseointegrasyonu daha da iyileştirmek için umut verici bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Bu sistemler terapötik ajanları lokal olarak implant bölgesine ulaştırarak enflamasyonun yönetilmesine ve iyileşmenin desteklenmesine yardımcı olabilir (Pokrowiecki et al., 2022; Sharifi et al., 2023). Bu ajanların salınımını kontrol ederek, osseointegrasyon için daha elverişli bir ortam yaratmak ve böylece implantların stabilitesini ve uzun ömürlülüğünü artırmak mümkündür (Neel et al., 2015; Y. Sun, 2023). Titanyum implantlarla birlikte poli(laktik-ko-glikolik asit) (PLGA) gibi biyo-uyumlu malzemelerin kullanımı da araştırılmıştır. PLGA toksik olmayan ürünlere dönüşebilir, hücre metabolizmasını destekler ve osseointegrasyon sonuçlarının iyileştirilmesine daha fazla katkıda bulunur (Bapat et al., 2019; Terriza et al., 2014). Ayrıca, nano ölçekte biyoaktif camların dahil edilmesi, kemik rejenerasyonunu ve dental implantlarla entegrasyonu teşvik etme potansiyeli göstermiş ve böylece geleneksel implant malzemeleriyle ilişkili zorlukları ele almıştır (Sharma et al., 2020; Skallevoid et al., 2019).

1.5. Dental restorasyon alanında nanoteknoloji

Nanoteknoloji, diş hekimliği alanında, özellikle de dental restoratif malzemelerin geliştirilmesinde dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Nanomateryallerin dental uygulamalara entegrasyonu, bu materyallerin özelliklerinde ve işlevselliklerinde önemli ilerlemelere yol açarak dental hastalıklarının önlenmesinde ve tedavisinde etkinliklerini artırmıştır.

1.5.1. Dental restoratif malzemelerde nanoparçacıkların kullanımı

Nanomateryallerin dental restoratif materyallere entegrasyonu, modern diş hekimliğinde bu materyallerin mekanik, estetik ve biyolojik özelliklerini geliştiren dönüştürücü bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Malzemelerin

nano ölçekte manipüle edilmesini içeren nanoteknoloji, artan yüzey alanı, gelişmiş mekanik mukavemet ve gelişmiş antibakteriyel özellikler gibi gelecekte malzemelerde bulunmayan benzersiz avantajlar sunar (Eisenstat et al., 2021; George, 2017; Rattan et al., 2021). Nanomateryallerin restoratif diş hekimliğindeki başlıca uygulamalarından biri kompozit rezinler ve cam-iyonomer simanların geliştirilmesidir (Kutluk & Öngül, 2023). Bu malzemeler, polimerizasyon büzülmesini önemli ölçüde azaltabilen ve restorasyon ile diş yapısı arasındaki bağlanma gücünü artırabilen nanopartiküllerin dahil edilmesinden faydalanır (Khurshid et al., 2015; Mandhalkar et al., 2023). Örneğin, karbon bazlı nanomalzemelerin yüksek mekanik mukavemet ve antibakteriyel özellikler sergilediği gösterilmiştir, bu da onları dental çürükleri yönetmek ve restorasyonların ömrünü uzatmak için ideal adaylar haline getirmektedir (Aljehani, 2023; Xu et al., 2022). Ayrıca, gümüş nanopartiküllerin kullanımı, ikincil çürükleri önlemeye ve diş restorasyonlarının genel dayanıklılığını artırmaya yardımcı olabilecek etkili antibakteriyel mekanizmaları nedeniyle yaygın olarak araştırılmıştır (Aljehani, 2023; Yin et al., 2020). Dahası, nanomateryaller diş dokularında remineralizasyon süreçlerini kolaylaştırır. Fonksiyonel nanopartiküller, mine ve dentinin remineralizasyonunu teşvik etmek için restoratif materyallere dahil edilebilir, böylece erken çürük lezyonlarını tersine çevirir ve restoratif sonuçları iyileştirir (Melo et al., 2013; Neel et al., 2015). Biyoaktif camların ve florür salan materyallerin dahil edilmesinin de sürekli anti-karyojenik etkiler sağladığı gösterilmiştir ve bu da nanomateryallerin koruyucu diş hekimliğindeki rolünü daha da desteklemektedir (Khan et al., 2013). Sayısız avantajına rağmen, nanomateryallerin potansiyel toksisitesi endişe kaynağı olmaya devam etmektedir. Araştırmalar, bazı nanopartiküllerin oksidatif stres ve enflamatuar tepkilere neden olabileceğini ve bunun da hasta sağlığı için risk oluşturabileceğini göstermiştir (Feng et al., 2015; Wei, 2017). Bu nedenle, klinik ortamlarda bu malzemelerin biyoyumumluluğu ve uzun vadeli etkileri hakkında kapsamlı değerlendirmeler yapmak çok önemlidir (Agrawal, 2023; Alkahtani, 2018).

1.5.2. Dental restorasyonların aşınma direnci ve ömrü üzerindeki etkileri

Nanomateryallerin dental restorasyonlara entegrasyonu, aşınma direncini ve uzun ömürlülüğü önemli ölçüde artırarak restoratif diş hekimliğindeki kritik zorlukları ele almıştır. Boyutları 1 ila 100 nanometre arasında değişen nanomalzemeler, dental malzemelerin mekanik gücünü ve dayanıklılığını artıran benzersiz özellikler sergiler. Örneğin, nanofillerin kompozit rezinlere dahil edilmesinin mekanik ve biyoaktif özelliklerini geliştirdiği ve klinik uygulamalarda daha iyi performansla yol açtığı gösterilmiştir (Kuşcu, 2023; Rattan et al., 2021). Bu iyileştirme, dişlerin estetik ve fonksiyonel restorasyonunun çok önemli olduğu protetik diş tedavilerinde özellikle önemlidir (Kuşcu, 2023). Araştırmalar, bazı nanomateryallerin karyojenik bakterilerin büyümesini etkili bir şekilde engelleyebileceğini ve böylece restorasyon

başarısızlığının yaygın bir nedeni olan ikincil çürük riskini azaltabileceğini göstermektedir (Kasraei et al., 2014; Xu et al., 2022). Örneğin, gümüş nanopartiküller önemli antibakteriyel özellikler göstererek kompozit rezinler ve simanlar da dahil olmak üzere çeşitli dental materyallere dahil edilmeleri için uygun hale gelmiştir (Yin et al., 2020). Bu nanopartiküller yalnızca antimikrobiyal faydalar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda restorasyonların mekanik bütünlüğüne katkıda bulunur ve böylece kullanım ömürlerini uzatır (Kasraei et al., 2014; Yin et al., 2020). Ayrıca, amorf kalsiyum fosfat içerenler gibi nanokompozitlerin kullanımının biyofilm birikimini azalttığı ve restorasyonların uzun ömürlülüğünü korumak için çok önemli olan dental materyallerin mekanik özelliklerini geliştirdiği gösterilmiştir (Melo et al., 2013; Moreau et al., 2011). Ayrıca, nanoteknolojideki ilerlemeler diş yapılarının doğal özelliklerini taklit eden malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Örneğin, polimerik dental nanomateryaller, sert diş dokularının mekanik ve estetik özelliklerini yeniden üretebilir ve genellikle mukavemet ve optik özelliklerde geleneksel materyalleri aşar (Yudaev et al., 2022). Kitosanla modifiye edilmiş metakrilat gibi nanomalzemelerin dahil edilmesinin dentin yapıştırma sistemlerinin sızdırmazlık potansiyelini artırarak diş restorasyonlarının dayanıklılığını daha da uzattığı gösterilmiştir (Diolosa et al., 2014). Bu özelliklerle mikrosızıntının en aza indirilmesi ve restorasyon ile diş yapısı arasındaki arayüzde bağlanma gücünün artırılması bağlamında önemlidir (Melo et al., 2016).

1.6. Zorluklar ve Sınırlamalar

1.6.1. Regülasyon engelleri ve standartlaştırma sorunları

Nanomateryallerin diş hekimliğine entegrasyonu, gelişmiş ilaç dağıtım sistemleri, gelişmiş biyoyumluluk ve yenilikçi tedavi yaklaşımları dahil olmak üzere önemli potansiyel faydalar sunmaktadır. Bununla birlikte, nanoteknolojinin bu alandaki ilerlemesi, özellikle düzenleyici engeller ve standardizasyon sorunları ile ilgili çeşitli zorluklar ve sınırlamalar nedeniyle engellenmektedir. Diş hekimliği uygulamalarında nanomateryallerin güvenli ve etkili bir şekilde uygulanmasını sağlamak için bu zorlukların ele alınması kritik önem taşımaktadır. Nanomateryallerin düzenlenmesinde karşılaşılan başlıca zorluklardan biri, mevcut düzenleyici çerçevelerin bu materyallerle ilişkili benzersiz özellikleri ve riskleri ele alma konusundaki yetersizliğidir. Tipik olarak dökme malzemelere uygulanan geleneksel risk değerlendirme yöntemleri, nanomalzemelerin artan yüzey alanları ve benzersiz biyolojik etkileşimleri gibi yeni özelliklerini değerlendirmek için genellikle yetersizdir (Barrick et al., 2019; Lai, 2011). Üretilen nanomalzemelerin karmaşıklığı, ekotoksisite risklerini ve potansiyel sağlık risklerini doğru bir şekilde değerlendirebilecek yeni test protokollerinin geliştirilmesini gerektirmektedir (Dri et al., 2022; Ede et al., 2020). Ayrıca, kapsamlı klinik verilerin eksikliği, bu malzemeler için fayda-risk oranının değerlendirilmesini zorlaştırmakta ve düzenleyici belirsizliğe yol açmaktadır (Alphandéry, 2019). Standardizasyon sorunla-

rı düzenleyici zorlukları daha da kötüleştirmektedir. Nanoteknolojinin hızlı evrimi, tutarlı kılavuzların ve tanımların geliştirilmesini geride bırakmış ve bu da parçalı bir düzenleyici ortamla sonuçlanmıştır (Bawa, 2011; Dri et al., 2022). Örneğin, evrensel olarak kabul edilmiş bir nanoteknoloji tanımının olmaması, nanomalzemelerin sınıflandırılmasını ve düzenlenmesini zorlaştırmakta ve farklı düzenleyici kurumların güvenlik değerlendirmelerine yaklaşımında tutarsızlıklara yol açmaktadır (Bawa, 2011; Halamoda-Kenzaoui et al., 2020). Bu uyum eksikliği, nanomalzemeler içeren yeni dental ürünlerin onay süreçlerini geciktirebilir ve sonuçta bu alandaki yenilikleri engelleyebilir (Dri et al., 2022). Ayrıca, bilim camiası nanomateryallerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki uzun vadeli etkileri konusunda önemli bir belirsizlikle karşı karşıyadır. Birçok düzenleyici kurum, yetersiz veri ve nano-spesifik risk değerlendirme araçlarının eksikliği nedeniyle tasarlanmış nanomalzemelerle ilişkili riskleri yönetmeye hazır değildir (Beaudrie et al., 2013, 2014). Bu durum, boyutlarına, şekillerine ve yüzey özelliklerine bağlı olarak farklı davranışlar sergileyebilen nanomalzemelerin dinamik doğası nedeniyle daha da karmaşık hale gelmektedir (Pajnič et al., 2016). Sonuç olarak, nanomateryallerin diş hekimliğinde güvenli bir şekilde geliştirilmesi ve uygulanması için sağlam çerçeveler oluşturmak üzere bilim insanları, düzenleyiciler ve endüstri paydaşları arasında daha fazla işbirliğine ihtiyaç duyulmaktadır (Bawa, 2011).

1.6.2. Uzun vadeli etkiler ve güvenlik endişeleri

Nanomateryallerin diş hekimliğine entegrasyonu, restoratif materyaller, önleyici bakım ve terapötik müdahaleler de dahil olmak üzere çeşitli diş hekimliği uygulamalarının geliştirilmesinde önemli bir umut vaat etmektedir. Bununla birlikte, bu nanomateryallerle ilişkili uzun vadeli etkiler ve güvenlik endişeleri, klinik ortamlarda güvenli bir şekilde uygulanmalarını sağlamak için ele alınması gereken önemli zorluklar teşkil etmektedir. Nanomalzemeler, nano ölçekli boyutlarından kaynaklanan benzersiz özellikleri nedeniyle, gelişmiş mekanik mukavemet, antibakteriyel aktivite ve biyoyoumluluk sergileyerek onları dental uygulamalar için cazip hale getirmektedir. Örneğin, karbon bazlı nanomalzemeler, hem remineralize edici hem de antibakteriyel özellikler göstererek dental çürükleri etkili bir şekilde yönetme kabiliyetleriyle vurgulanmıştır (Xu et al., 2022). Ayrıca, nanopartiküllerin dental kompozitlere dahil edilmesinin, dental restorasyonların uzun ömürlülüğü için kritik olan bağlanma mukavemeti ve kırılma tokluğu gibi mekanik özellikleri iyileştirdiği gösterilmiştir (Li et al., 2022; Mok et al., 2020). Bu avantajlara rağmen, nanopartiküllerin küçük boyutu reaktivitenin artmasına ve potansiyel sitotoksositeye yol açarak insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkileri konusunda endişelere neden olabilir (Zakrzewski et al., 2021). Nanomalzemelere ilişkin güvenlik endişeleri öncelikle potansiyel toksisite ve bilinmeyen uzun vadeli biyolojik etkileri etrafında dönmektedir. Çalışmalar, bazı nanopartiküllerin oksidatif stres ve enflamatuar tepkilere neden olabileceğini ve bunun da

olumsuz sağlık sonuçlarına yol açabileceğini göstermiştir (Feng et al., 2015; Wei, 2017). Örneğin, gümüş nanopartiküller antimikrobiyal ajanlar olarak etkili olmakla birlikte, çevresel etkileri ve insan hücrelerine potansiyel toksisiteyi konusunda alarm vermiştir (Ramos & Almeida, 2022). Ek olarak, nanopartiküllerin sistemik dolaşıma girme ve merkezi sinir sistemi gibi organları etkileme riski belgelenmiştir ve bu da biyoyumlulukları ve güvenlik problemleri hakkında daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir (Yin et al., 2020; Zakrzewski et al., 2021). Bu riskleri azaltmak ve nanomateryallerin diş hekimliğinde güvenli kullanımını sağlamak için kapsamlı risk değerlendirmelerine ve standartlaştırılmış güvenlik protokollerine duyulan ihtiyaç kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, diş hekimliği uygulamalarında nanoteknolojinin benimsenmesinin ekonomik etkileri de göz ardı edilemez. Nanomateryallerin maliyeti, özellikle düşük kaynaklı ortamlarda engelleyici olabilir, bu da erişilebilirliklerini ve yaygın kullanımlarını sınırlayabilir (Agrawal, 2023). Bu ekonomik engel, güvenlik endişelerini gidermek için daha fazla araştırmaya duyulan ihtiyaçla birleştiğinde, dental uygulamalar için uygun maliyetli ve güvenli nanomalzemeler geliştirmenin önemini vurgulamaktadır. Alan ilerledikçe, nanoteknolojinin yenilikçi potansiyelini, rutin diş hekimliği uygulamalarına entegrasyonunu teşvik etmek için titiz güvenlik değerlendirmeleri ve maliyet hususları ile dengelemek esastır. Sonuç olarak, nanomateryaller gelişmiş materyal özellikleri ve terapötik uygulamalar yoluyla diş hekimliğinde dönüştürücü bir potansiyel sunarken, uzun vadeli etkileri ve güvenlik endişeleri önemli zorluklar olmaya devam etmektedir. Devam eden araştırmalar, nanoteknolojinin faydalarının hasta güvenliğinden veya erişilebilirliğinden ödün vermeden gerçekleştirilebilmesini sağlayarak bu sorunları aydınlatmak için çok önemlidir.

1.7. Gelecek Yönelimler

1.7.1. Protetik diş hekimliğinde nanoteknoloji için yenilikler

Nanoteknoloji, dental materyallerin ve implantların performansını ve işlevselliğini artırarak protez alanında devrim yaratmaya hazırlanıyor. Nanomalzemelerin protetik dental tedavilerine entegrasyonu, dental protezlerinin mekanik özelliklerini, biyoyumluluğunu ve estetik niteliklerini iyileştirmede önemli bir umut vaat etmektedir. Bu sentez, malzemeler, implant teknolojisi ve dijital üretim süreçlerindeki ilerlemelere odaklanarak, protez diş hekimliği için nanoteknolojide ufuktaki yenilikleri keşfedecektir. Protetik diş tedavisindeki en önemli yeniliklerden biri, dental protezlerinin mekanik gücünü ve dayanıklılığını artırdığı gösterilen karbon nanotüpler, nanokristaller ve nanofiberler gibi nanomalzemelerin uygulanmasıdır. Araştırmalar, bu nanomalzemelerin dental implantların özelliklerini iyileştirerek protez cihazların daha iyi osseointegrasyonunu ve uzun ömürlülüğünü kolaylaştırabileceğini göstermektedir (Kuşcu, 2023; Shah et al., 2020). Nano ölçekte biyoaktif camların kullanımını da önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir, çünkü

bu malzemeler doku rejenerasyonunu teşvik edebilir ve implantların çevre-
deki kemikle entegrasyonunu iyileştirebilir (Skallevold et al., 2019). Ayrıca,
nanoteknolojinin dental kompozitlerin ve simanların geliştirilmesine dahil
edilmesi, üstün bağlanma yetenekleri ve aşınmaya karşı direnç sergileyen
malzemelerle sonuçlanmış ve böylece restorasyonların ömrü uzamıştır (Dak-
hale, 2023). Malzeme yeniliklerine ek olarak, CAD/CAM teknolojileri aracı-
lığıyla protetik diş hekimliğinin dijital dönüşümü, protetik restorasyonların
hassasiyetini ve verimliliğini artırmaktadır. Özelleştirilmiş dental protezleri
oluşturmak için 3D baskıyı kullanma yeteneği, hızlı prototip oluşturmaya ve
tedavi sürelerini önemli ölçüde azaltabilecek son derece hassas modellerin
üretilmesine olanak tanır. Bu dijital yaklaşım yalnızca üretim sürecini kolay-
laştırmakla kalmaz, aynı zamanda protez cihazların uyumunu ve konforunu
artırabilecek karmaşık geometrilerin entegrasyonunu da sağlar (Mangano
& Veronesi, 2018; Skorulska et al., 2021). Ayrıca, dijital iş akışlarıyla birlikte
gelişmiş görüntüleme tekniklerinin kullanılması, implant yerleştirmelerinin
daha iyi planlanmasını ve uygulanmasını kolaylaştırarak klinik sonuçların
iyileştirilmesine yol açmaktadır (Tribst ve ark., 2020). Diş hekimleri, mal-
zeme bilimciler ve mühendisler arasındaki disiplinler arası işbirliği, bu ye-
nilikleri ileriye taşımak için çok önemlidir. Diş hekimliği camiası, bilimsel
içgörülerden ve teknolojik ilerlemelerden yararlanarak yalnızca işlevsel değil
aynı zamanda estetik açıdan da hoş protez çözümleri geliştirebilir. Bu alan
gelişmeye devam ettikçe, nanomateryallerin güvenliği ve etkinliğine ilişkin
devam eden araştırmalar, potansiyel riskleri ele almak ve bu yeniliklerin ge-
leşmiş hasta bakımına dönüşmesini sağlamak için gerekli olacaktır. Sonuç
olarak, nanoteknolojinin protez alanındaki ufku, malzeme bilimi, dijital üre-
tim ve disiplinler arası işbirliğindeki önemli ilerlemelerle işaretlenmektedir.
Bu yenilikler, daha fazla dayanıklılık, işlevsellik ve hasta memnuniyeti suna-
rak dental protezlerinin manzarasını dönüştürme potansiyeline sahiptir.

2. Sonuç

2.1. Nanoteknolojinin protetik diş hekimliğindeki mevcut durumu ve ge-
lecekteki potansiyeli

Nanoteknoloji, dental materyallerin ve implantların etkinliğini ve uzun
ömürlülüğünü artıran yenilikçi çözümler sunarak protetik diş hekimliğinde
dönüştürücü bir güç olarak giderek daha fazla kabul görmektedir. Nanote-
knolojinin bu alandaki mevcut durumu, nanomateryallerin gelişmiş protez
cihazlarının, iyileştirilmiş dental materyallerin ve gelişmiş teşhis teknikleri-
nin geliştirilmesi de dahil olmak üzere diş hekimliği uygulamalarının çeşitli
yönlerine entegrasyonu ile karakterize edilmektedir. Son çalışmalar, karbon
nanotüpler, nanokristaller ve nanofiberler gibi malzemelerin üstün mekanik
özellikleri ve biyouyumlulukları nedeniyle araştırıldığı dental protezleri-
nin üretiminde nanoteknolojinin uygulanmasını vurgulamaktadır (Kuşçu,
2023). Bu nanomalzemeler yalnızca protez cihazların gücünü ve dayanıklı-

lığını artırmakla kalmaz, aynı zamanda biyolojik dokularla daha iyi entegrasyonu kolaylaştırır ve böylece dental implantların genel başarısını artırır (Joseph et al., 2018). Ayrıca, yüzey özelliklerinin nano ölçekte manipüle edilmesi, osseointegrasyonu önemli ölçüde iyileştirebilen ve implant başarısızlığı riskini azaltabilen kontrollü topografi ve kimyaya sahip dental implantların oluşturulmasına olanak tanır (Lavenus et al., 2010; Shah et al., 2020). Nanoteknolojinin potansiyeli, sadece materyal geliştirmenin ötesine geçerek yeni terapötik yaklaşımları da kapsamaktadır. Örneğin, nanopartiküller periodontal tedavide hedefe yönelik ilaç dağıtımı için kullanılabilir ve terapötik ajanların tam olarak ihtiyaç duyulan yere iletilmesini sağlayarak tedavi sonuçlarını iyileştirebilir. Ayrıca, nanoyapılı biyoaktif camların dental uygulamalarda kullanımı, doku rejenerasyonunu teşvik etme ve dental materyallerin biyoaktivitesini artırma konusunda umut vaat etmektedir (Polini et al., 2013). Bu yenilikçi yaklaşım yalnızca mevcut dental sorunları ele almakla kalmayıp aynı zamanda dental hastalıklarının başlangıcını hafifletebilecek önleyici stratejilerin de yolunu açmaktadır. Umut verici gelişmelere rağmen, protetik diş hekimliğinde nanoteknolojinin geleceği çeşitli zorlukların ele alınmasına bağlıdır. Güvenlikleri ve potansiyel toksisiteleri ile ilgili endişeler yaygınlığını koruduğundan, halkın kabulü ve düzenleyici çerçeveler nanomateryallerin benzersiz özelliklerine uyum sağlayacak şekilde gelişmelidir. Ayrıca, nanomateryallerin klinik ortamlardaki uzun vadeli etkilerini tam olarak anlamak ve kullanımları için standartlaştırılmış protokoller oluşturmak için devam eden araştırmalar gereklidir. Sonuç olarak, nanoteknolojinin protetik diş hekimliğine entegrasyonu, geliştirilmiş materyaller ve yenilikçi tedavi yöntemleri aracılığıyla hasta sonuçlarını iyileştirmek için önemli bir umut vaat etmektedir. Araştırmalar ilerledikçe ve alan olgunlaştıkça, nanoteknolojinin diş hekimliği uygulamalarının geleceğini şekillendirmede önemli bir rol oynaması ve hastalar için daha etkili, dayanıklı ve biyouyumlu çözümlere yol açması beklenmektedir.

Kaynaklar

- Acosta-Torres, L. S., López-Marín, L. M., Núñez-Anita, R. E., Hernández-Padrón, G., & Castaño, V. M. (2011). Biocompatible Metal-Oxide Nanoparticles: Nanotechnology Improvement of Conventional Prosthetic Acrylic Resins. *Journal of Nanomaterials*, 2011, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2011/941561>
- Agrawal, R. (2023). Clinical Implications of Nanosciences in Dentistry and Periodontics: A Narrative Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.48593>
- Akın, İ., Zor, E., & Bingöl, H. (2023). GO@Fe₃O₄ Katkılı Polimerik Kompozit Membranların Hazırlanması ve Karakterizasyonu. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2), 38–52. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.8>
- Alhotan, A., Abdelraouf, R. M., El-Korashy, S. A., Labban, N., Al-Otaibi, H. N., Matinlinna, J. P., & Hamdy, T. M. (2023). Effect of Adding Silver-Doped Carbon Nanotube Fillers to Heat-Cured Acrylic Denture Base on Impact Strength, Microhardness, and Antimicrobial Activity: A Preliminary Study. *Polymers*, 15(13), 2976. <https://doi.org/10.3390/polym15132976>
- Ali Sabri, B., Satgunam, M., Abreeza, N. M., & N. Abed, A. (2021). A review on enhancements of PMMA denture base material with different nano-fillers. *Cogent Engineering*, 8(1), 1875968.
- Al-Jammali, Z. M. (2024). Nanotechnology in Prosthodontics: A Review. *South Asian Research Journal of Oral and Dental Sciences*, 6(01), 11–13. <https://doi.org/10.36346/sarjods.2024.v06i01.002>
- Aljehani, W. (2023). An Overview of Antibacterial Dental Restorative Materials. *Journal of Healthcare Sciences*, 03(02), 96–102. <https://doi.org/10.52533/johs.2023.30201>
- Alkahtani, R. (2018). The Implications and Applications of Nanotechnology in Dentistry: A Review. *The Saudi Dental Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2018.01.002>
- Allaker, R. P. (2010). The Use of Nanoparticles to Control Oral Biofilm Formation. *Journal of Dental Research*, 89(11), 1175–1186. <https://doi.org/10.1177/0022034510377794>
- Al-Noaman, A. (2023). Polyether Ether Ketone Coated With Nanohydroxyapatite/Graphene Oxide Composite Promotes Bioactivity and Antibacterial Activity at the Surface of the Material. *European Journal of Oral Sciences*, 131(5–6). <https://doi.org/10.1111/eos.12946>
- Alphandéry, E. (2019). A Discussion on Existing Nanomedicine Regulation: Progress and Pitfalls. *Applied Materials Today*, 17, 193–205. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2019.07.005>
- Aminu, N., Chan, S.-Y., & Toh, S.-M. (2017). Roles of Nanotechnological Approaches in Periodontal Disease Therapy. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. <https://doi.org/10.1016/j.japs.2017.07.005>

[ps://doi.org/10.7324/japs.2017.70735](https://doi.org/10.7324/japs.2017.70735)

- Ashtiani, R. E., Hadi, A., Nouri, F., Rahimi, S., Badkoobeh, A., Abbasi, K., & Alam, M. (2022). The Role of Current Herbal Extracts in Bone Regeneration Through Dental Implants: In Vitro/ in Vivo/ Clinical Studies. *Archives of Medical Science*. <https://doi.org/10.5114/aoms/153510>
- Astuti, T. H. (2024). The Level of Satisfaction Among Patients With Dental Bridges. *Insisiva Dental Journal Majalah Kedokteran Gigi Insisiva*, 13(1), 23–31. <https://doi.org/10.18196/di.v13i1.19774>
- Baena, R. R. y., Rizzo, S., Manzo, L., & Lupi, S. M. (2017). Nanofeatured Titanium Surfaces for Dental Implantology: Biological Effects, Biocompatibility, and Safety. *Journal of Nanomaterials*, 2017, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2017/6092895>
- Bapat, R., Dharmadhikari, S., Chaubal, T. V, Amin, M. C. I. M., Bapat, P. R., Gorain, B., Choudhury, H., Vincent, C., & Kesharwani, P. (2019). The Potential of Dendrimer in Delivery of Therapeutics for Dentistry. *Heliyon*, 5(10), e02544. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02544>
- Bapat, R., Yang, H. J., Chaubal, T. V, Dharmadhikari, S., Abdulla, A. M., Arora, S., Rawal, S. Y., & Kesharwani, P. (2022). Review on Synthesis, Properties and Multifarious Therapeutic Applications of Nanostructured Zirconia in Dentistry. *RSC Advances*, 12(20), 12773–12793. <https://doi.org/10.1039/d2ra00006g>
- Barot, T., Rawtani, D., & Kulkarni, P. (2020). Physicochemical and Biological Assessment of Silver Nanoparticles Immobilized Halloysite Nanotubes-Based Resin Composite for Dental Applications. *Heliyon*, 6(3), e03601. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03601>
- Barrick, A., Châtel, A., Manier, N., Kalman, J., Navas, J. M., & Mouneyrac, C. (2019). Investigating the Impact of Manufacturing Processes on the Ecotoxicity of Carbon Nanofibers: A Multi-Aquatic Species Comparison. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(10), 2314–2325. <https://doi.org/10.1002/etc.4537>
- Bawa, R. (2011). Regulating Nanomedicine – Can the FDA Handle It? *Current Drug Delivery*, 8(3), 227–234. <https://doi.org/10.2174/156720111795256156>
- Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. (2019). The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical–Physical Applications to Nanomedicine. *Molecules*, 25(1), 112. <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>
- Beaudrie, C. E. H., Kandlikar, M., & Satterfield, T. (2013). From Cradle-to-Grave at the Nanoscale: Gaps in U.S. Regulatory Oversight Along the Nanomaterial Life Cycle. *Environmental Science & Technology*, 47(11), 5524–5534. <https://doi.org/10.1021/es303591x>
- Beaudrie, C. E. H., Satterfield, T., Kandlikar, M., & Harthorn, B. H. (2014). Scientists Versus Regulators: Precaution, Novelty & Regulatory Oversight as Predictors of Perceived Risks of Engineered Nanomaterials. *Plos One*, 9(9), e106365. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106365>

- Besinis, A., Hadi, S. D., Le, H., Tredwin, C., & Handy, R. D. (2017). Antibacterial Activity and Biofilm Inhibition by Surface Modified Titanium Alloy Medical Implants Following Application of Silver, Titanium Dioxide and Hydroxyapatite Nanocoatings. *Nanotoxicology*, *11*(3), 327–338. <https://doi.org/10.1080/17435390.2017.1299890>
- Besinis, A., Peralta, T. d., Tredwin, C., & Handy, R. D. (2015). Review of Nanomaterials in Dentistry: Interactions With the Oral Microenvironment, Clinical Applications, Hazards, and Benefits. *ACS Nano*, *9*(3), 2255–2289. <https://doi.org/10.1021/nn505015e>
- Bisen, Y. S. B. and S. R. B. Y. S. B. and S. R. (2015). Review on Polymer Nanotechnology: Nanocomposites. *Ijrbat*. <https://doi.org/10.29369/ijrbat.2015.03.ii.0103>
- Bostrom, A., & Löfstedt, R. E. (2010). Nanotechnology Risk Communication Past and Prologue. *Risk Analysis*, *30*(11), 1645–1662. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2010.01521.x>
- Camargo, S. E. A., Roy, T., Xia, X., Fares, C., Hsu, S., Ren, F., Clark, A. E., Neal, D., & Esquivel-Upshaw, J. F. (2021). Novel Coatings to Minimize Corrosion of Titanium in Oral Biofilm. *Materials*, *14*(2), 342. <https://doi.org/10.3390/ma14020342>
- Campanelli, L. C., Silva, P. S. C. P. da, Oliveira, N. T. C., & Bolfarini, C. (2017). Effect of the Modification by Titanium Dioxide Nanotubes With Different Structures on the Fatigue Response of Ti Grade 2. *Materials Research*, *20*(suppl 2), 120–124. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-0681>
- Cao, Y., Chen, Y., Wu, Y., Li, L., & Li, C. (2019). Long-Term Survival and Peri-Implant Health of Titanium Implants With Zirconia Abutments: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Prosthodontics*, *28*(8), 883–892. <https://doi.org/10.1111/jopr.13097>
- Castro-Rojas, M. A., Vega-Cantú, Y. I., Cordell, G. A., & Rodriguez-Garcia, A. (2021). Dental Applications of Carbon Nanotubes. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules26154423>
- Chen, S., Yang, J., Jia, Y., Lu, B., & Li, R. (2018). A Study of 3d-Printable Reinforced Composite Resin: PMMA Modified With Silver Nanoparticles Loaded Cellulose Nanocrystal. *Materials*, *11*(12), 2444. <https://doi.org/10.3390/ma11122444>
- Chitlange, P. (2024). *Evaluation of Antimicrobial Action of Healing Abutment Before and After Coating With Nanoparticles Impregnated With Essential Oil in Type 2 Diabetic Mellitus- A Randomized Control Trial*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4475254/v1>
- Choi, A. H., & Ben-Nissan, B. (2015). Calcium Phosphate Nanocoatings and Nanocomposites, Part I: Recent Developments and Advancements in Tissue Engineering and Bioimaging. *Nanomedicine*, *10*(14), 2249–2261. <https://doi.org/10.2217/nnm.15.57>
- Córdoba, A., Monjo, M., Hierro-Oliva, M., González-Martín, M. L., & Ramis, J. M. (2015). Bioinspired Quercitrin Nanocoatings: A Fluorescence-Based Method for Their Surface Quantification, and Their Effect on Stem Cell Adhesion and

Differentiation to the Osteoblastic Lineage. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 7(30), 16857–16864. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b05044>

- Costea, R., Burcea, C. C., Măru, N., Perieanu, V. Ş, Bucur, M., Burlibaşa, M., Milicescu, Ştefan, Perieanu, M. V, Maliţa, M. A., Beuran, I. A., Babiuc, I., Marcov, N., Marcov, E.-C., & Drafta, S. (2021). Technological Aspects Regarding the Manufacture of Screw-Retained Prosthetic Restorations Made of Ceramic Masses on Zirconia Structure (Part II). *Acta Medica Transilvanica*, 26(4), 79–82. <https://doi.org/10.2478/amtsb-2021-0080>
- Cunha, D. A., Rodrigues, N. S., Souza, L. C. d., Lomonaco, D., Rodrigues, F. P., Degrazia, F. W., Collares, F. M., Sauro, S., & Saboia, V. P. A. (2018). Physicochemical and Microbiological Assessment of an Experimental Composite Doped With Triclosan-Loaded Halloysite Nanotubes. *Materials*, 11(7), 1080. <https://doi.org/10.3390/ma11071080>
- Dakhale, R. (2023). Nanotechnology Innovations Transforming Oral Health Care and Dentistry: A Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.46423>
- Díez-Pascual, A. M., & Díez-Vicente, A. L. (2015). Nano-TiO₂ Reinforced PEEK/PEI Blends as Biomaterials for Load-Bearing Implant Applications. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 7(9), 5561–5573. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b00210>
- Diolosà, M., Donati, I., Turco, G., Cadenaro, M., Lenarda, R. D., Breschi, L., & Paoletti, S. (2014). Use of Methacrylate-Modified Chitosan to Increase the Durability of Dentine Bonding Systems. *Biomacromolecules*, 15(12), 4606–4613. <https://doi.org/10.1021/bm5014124>
- Dri, D. A., Rinaldi, F., Carafa, M., & Marianecchi, C. (2022). Nanomedicines and Nanocarriers in Clinical Trials: Surfing Through Regulatory Requirements and Physico-Chemical Critical Quality Attributes. *Drug Delivery and Translational Research*, 13(3), 757–769. <https://doi.org/10.1007/s13346-022-01262-y>
- Dudley, J. (2023). An 8-year Retrospective Study of Fixed Prosthodontics Clinical Unit Completions in a Postgraduate Prosthodontics Program. *Health Science Reports*, 6(6). <https://doi.org/10.1002/hsr2.1331>
- Dwivedi, H. (2024). Analysis of the Microstructural and Mechanical Properties of 3d-Printed Removable Partial Denture Base Materials. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 16(Suppl 1), S681–S683. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_939_23
- Ede, J. D., Lobaskin, V., Vogel, U., Lynch, I., Halappanavar, S., Doak, S. H., Roberts, M. G., & Shatkin, J. A. (2020). Translating Scientific Advances in the AOP Framework to Decision Making for Nanomaterials. *Nanomaterials*, 10(6), 1229. <https://doi.org/10.3390/nano10061229>
- Eisenstat, J., Gotthardt, D., Assor, R., Dempsey, L. P., & Hasan, M. H. (2021). A Comparative Review of Material Properties for Current and Future Dental Filling Nanomaterials. *International Journal of Engineering Materials and Manufacturing*, 6(4), 225–241. <https://doi.org/10.26776/ijemm.06.04.2021.01>

- Feng, X., Chen, A., Wang, J., Shao, L., & Wei, L. (2015). Application of Dental Nanomaterials: Potential Toxicity to the Central Nervous System. *International Journal of Nanomedicine*, 3547. <https://doi.org/10.2147/ijn.s79892>
- Ferrando-Magraner, E. (2023). Improving the Antibacterial Properties of Dental Bonding Materials Loaded With Silver Compounds. *Antibiotics*, 12(12), 1721. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12121721>
- Ferrando-Magraner, E., Bellot-Arcís, C., Paredes-Gallardo, V., Almerich-Silla, J. M., García-Sanz, V., Fernández-Alonso, M., & Montiel-Company, J. M. (2020). Antibacterial Properties of Nanoparticles in Dental Restorative Materials. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicina*, 56(2), 55. <https://doi.org/10.3390/medicina56020055>
- Gaviria, L., Salcido, J., Guda, T., & Ong, J. L. (2014). Current Trends in Dental Implants. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 40(2), 50. <https://doi.org/10.5125/jkaoms.2014.40.2.50>
- George, S. (2017). Nanotechnology in Dentistry- A Review. *Iosr Journal of Dental and Medical Sciences*. <https://doi.org/10.9790/0853-1601079095>
- Gomes, S. I. L., Caputo, G., Pinna, N., Scott-Fordsmand, J. J., & Amorim, M. J. (2015). Effect of 10 Different TiO₂ and ZrO₂ (Nano)materials on the Soil Invertebrate *Enchytraeus Crypticus*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(10), 2409–2416. <https://doi.org/10.1002/etc.3080>
- Gomez-Florit, M., Pacha-Olivenza, M. A., Fernández-Calderón, M. C., Córdoba, A., González-Martín, M. L., Monjo, M., & Ramis, J. M. (2016). Quercitrin-Nanocoated Titanium Surfaces Favour Gingival Cells Against Oral Bacteria. *Scientific Reports*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep22444>
- Gotfredson, K., Wennerberg, A., Johansson, C., Skovgaard, L. T., & Hjørting-Hansen, E. (1995). Anchorage of TiO₂-blasted, HA-coated, and machined implants: An experimental study with rabbits. *Journal of Biomedical Materials Research*, 29(10), 1223–1231.
- Gupta, N., Fischer, A. R., & Frewer, L. J. (2015). Ethics, Risk and Benefits Associated With Different Applications of Nanotechnology: A Comparison of Expert and Consumer Perceptions of Drivers of Societal Acceptance. *Nanoethics*, 9(2), 93–108. <https://doi.org/10.1007/s11569-015-0222-5>
- Gürsoy, E., & Yilmaz, H. (2023). Nanoparticles and Their Application in Prosthetic Dentistry. *Clinical and Experimental Health Sciences*, 13(3), 685–695. <https://doi.org/10.33808/clinexphhealthsci.1144865>
- Halamoda-Kenzaoui, B., Box, H., Elk, M. v., Gaitan, S., Geertsma, R. E., Lafuente, E. G., Owen, A., Pozo, Á. d., Roesslein, M., & Bremer-Hoffmann, S. (2020). Launching Stakeholder Discussions on Identified Regulatory Needs for Nanotechnology-Enabled Health Products. *Precision Nanomedicine*, 3(2). <https://doi.org/10.33218/001c.13521>
- Harrison, B. S., & Sirivisoot, S. (2011). *Applications of Nanotechnology for Regenerative Medicine*. 529–540. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-381422-7.10030-6>

- Heboyan, A., Zafar, M. S., Rokaya, D., & Khurshid, Z. (2022). Insights and Advancements in Biomaterials for Prosthodontics and Implant Dentistry. *Molecules*, 27(16), 5116. <https://doi.org/10.3390/molecules27165116>
- Jain, P., Farooq, U., Hassan, N., Albratty, M., Alam, M. S., Makeen, H. A., Mirza, M. A., & Iqbal, Z. (2022). Nanotechnology Interventions as a Putative Tool for the Treatment of Dental Afflictions. *Nanotechnology Reviews*, 11(1), 1935–1946. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2022-0115>
- Jain, S. (2024). Application of Nanotechnology in Clinical Dentistry Type of Manuscript: Review Article. *International Dental Journal of Student Research*, 11(4), 141–145. <https://doi.org/10.18231/j.idjsr.2023.031>
- Joseph, A. M., Joseph, S., Mathew, N., & Koshy, A. T. (2018). Small Things Have a Big Impact: New Trends in Implant Dentistry. *The Libyan Dental Journal*, 8. <https://doi.org/10.5542/ldj.v8i0.201812002>
- Kanaparthi, R., & Kanaparthi, A. (2011). The Changing Face of Dentistry: Nanotechnology. *International Journal of Nanomedicine*, 2799. <https://doi.org/10.2147/ijn.s24353>
- Karim, M. R. (2024). *Nanotechnology and Prosthetic Devices: Integrating Biomedicine and Materials Science for Enhanced Performance and Adaptability*. 3(3). <https://doi.org/10.57197/jdr-2024-0019>
- Kasraei, S., Sami, L., Hendi, S., Alikhani, M. Y., Rezaei-Soufi, L., & Khamverdi, Z. (2014). Antibacterial Properties of Composite Resins Incorporating Silver and Zinc Oxide Nanoparticles On Streptococcus Mutans and Lactobacillus. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 39(2), 109. <https://doi.org/10.5395/rde.2014.39.2.109>
- Khan, A. S., Aamer, S., Chaudhry, A. A., Wong, F. S. L., & Rehman, I. U. (2013). Synthesis and Characterizations of a Fluoride-Releasing Dental Restorative Material. *Materials Science and Engineering C*, 33(6), 3458–3464. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.04.029>
- Khurshid, Z., Zafar, M. S., Qasim, S. S. B., Shahab, S., Naseem, M., & AbuReqaiba, A. (2015). Advances in Nanotechnology for Restorative Dentistry. *Materials*. <https://doi.org/10.3390/ma8020717>
- Kulkarni, M. S., Flašker, A., Lokar, M., Mrak-Poljšak, K., Mazare, A., Artenjak, A., Čučnik, S., Kralj, S., Velikonja, A., Schmuki, P., Kralj-Iglič, V., Sodin-Šemrl, S., & Iglič, A. (2015). Binding of Plasma Proteins to Titanium Dioxide Nanotubes With Different Diameters. *International Journal of Nanomedicine*, 1359. <https://doi.org/10.2147/ijn.s77492>
- Kuşçu, H. Y. Y. (2023). Utilization of Nanomaterials in Prosthetic Dental Treatment. *HRU Int J Dent Oral Res*. <https://doi.org/10.61139/ijdor.1270852>
- Kutluk, A., & Öngül, D. (2023). Monolitik CAD CAM Seramik Materyallerinin Yapay Yaşlandırma Sonrası Aşınma ve Kırılma Dayanımlarının Araştırılması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Dergisi*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.51122/neudentj.2023.52>

- Kuzma, J. (2010). Nanotechnology in Animal Production—Upstream Assessment of Applications. *Livestock Science*, 130(1–3), 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.006>
- Kwon, J., Kim, J. Y., Mangal, U., Seo, J., Lee, M.-J., Jin, J., Yu, J. H., & Choi, S. (2021). Durable Oral Biofilm Resistance of 3d-Printed Dental Base Polymers Containing Zwitterionic Materials. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1), 417. <https://doi.org/10.3390/ijms22010417>
- Lai, D. Y. (2011). Toward Toxicity Testing of Nanomaterials in the 21st Century: A Paradigm for Moving Forward. *Wiley Interdisciplinary Reviews Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 4(1), 1–15. <https://doi.org/10.1002/wnan.162>
- Lal, A., Alam, M. K., Ahmed, N., Maqsood, A., Al-Qaisi, R. K., Shrivastava, D., Alkhalaf, Z. A., Alanazi, A. M., Alshubrmi, H. R., Sghaireen, M. G., & Srivastava, K. C. (2021). Nano Drug Delivery Platforms for Dental Application: Infection Control and TMJ Management—A Review. *Polymers*, 13(23), 4175. <https://doi.org/10.3390/polym13234175>
- Lavenus, S., Louarn, G., & Layrolle, P. (2010). Nanotechnology and Dental Implants. *International Journal of Biomaterials*, 2010, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2010/915327>
- Li, X., Liang, X., Wang, Y., Wang, D., Teng, M., Xu, H., Zhao, B., & Han, L. (2022). Graphene-Based Nanomaterials for Dental Applications: Principles, Current Advances, and Future Outlook. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.804201>
- Malik, S. (2023). Emerging Applications of Nanotechnology in Dentistry. *Dentistry Journal*, 11(11), 266. <https://doi.org/10.3390/dj11110266>
- Mandhalkar, R., Paul, P., & Reche, A. (2023). Application of Nanomaterials in Restorative Dentistry. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.33779>
- Mangano, F., & Veronesi, G. (2018). Digital Versus Analog Procedures for the Prosthetic Restoration of Single Implants: A Randomized Controlled Trial With 1 Year of Follow-Up. *Biomed Research International*, 2018, 1–20. <https://doi.org/10.1155/2018/5325032>
- Mangematin, V., & Walsh, S. (2012). The Future of Nanotechnologies. *Technovation*, 32(3–4), 157–160. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.01.003>
- Mansour, M. M., Al-Nassr, M. S., Shon, A. A., Fayad, M. I., & Abd-Allah, R. (2017). Effect of titanium dioxide nanoparticles on mechanical properties of denture base resin: an in vitro study. *Al-Azhar J. Dent. Sci*, 20, 261–265.
- Martis, E. A. F., Badve, R. R., & Degwekar, M. D. (2012). Nanotechnology Based Devices and Applications in Medicine: An Overview. *Chronicles of Young Scientists*, 3(1), 68. <https://doi.org/10.4103/2229-5186.94320>
- Melo, M. A. S., Guedes, S. F., Xu, H. H., & Rodrigues, L. K. A. (2013). Nanotechnology-Based Restorative Materials for Dental Caries Management. *Trends in Biotechnology*, 31(8), 459–467. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.05.010>

- Melo, M. A. S., Orrego, S., Weir, M. D., Xu, H., & Arola, D. (2016). Designing Multia-gent Dental Materials for Enhanced Resistance to Biofilm Damage at the Bonded Interface. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 8(18), 11779–11787. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b01923>
- Metryka, O., Wasilkowski, D., & Mrozik, A. (2021). Insight Into the Antibacterial Activity of Selected Metal Nanoparticles and Alterations Within the Antioxidant Defence System in Escherichia Coli, Bacillus Cereus and Staphylococcus Epidermidis. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 11811. <https://doi.org/10.3390/ijms222111811>
- Mok, Z. H., Proctor, G., & Thanou, M. (2020). Emerging Nanomaterials for Dental Treatments. *Emerging Topics in Life Sciences*, 4(6), 613–625. <https://doi.org/10.1042/etls20200195>
- Moreau, J. L., Sun, L., Chow, L. C., & Xu, H. H. (2011). Mechanical and Acid Neutralizing Properties and Bacteria Inhibition of Amorphous Calcium Phosphate Dental Nanocomposite. *Journal of Biomedical Materials Research Part B Applied Biomaterials*, 98B(1), 80–88. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.31834>
- Mutar, M. A., & Mahdi, M. S. (2019). Synthesis and Characterization of Novel Nanocomposites With Nanofillers Particles and Their Applications as Dental Materials. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (Pen)*, 7(3), 1512. <https://doi.org/10.21533/pen.v7i3.815>
- Neel, E. A. A., Bozec, L., Pérez, R. A., Kim, H., & Knowles, J. C. (2015). Nanotechnology in Dentistry: Prevention, Diagnosis, and Therapy. *International Journal of Nanomedicine*, 6371. <https://doi.org/10.2147/ijn.s86033>
- Noda, M., Okuda, Y., Tsuruki, J., Minesaki, Y., Takenouchi, Y., & Ban, S. (2010). Surface Damages of Zirconia by Nd:YAG Dental Laser Irradiation. *Dental Materials Journal*, 29(5), 536–541. <https://doi.org/10.4012/dmj.2009-127>
- Noworyta, M. (2023). Influence of the Type of Nanofillers on the Properties of Composites Used in Dentistry and 3D Printing. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 10549. <https://doi.org/10.3390/ijms241310549>
- Öner, M. A., Karaca, F., Beşer, S. G., & Yildirmaz, H. (2013). Comparison of Nanotechnology Acceptance in Turkey and Switzerland. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 10(02), 1340007. <https://doi.org/10.1142/s0219877013400075>
- Pai, U., Mundathaje, M., & Mallya, L. (2016). Applications of Nanotechnology in Dentistry. *Journal of International Medicine and Dentistry*, 2(3), 186–203. <https://doi.org/10.18320/jimd/201502.03186>
- Pajnič, M., Drasler, B., Šuštar, V., Krek, J. L., Štukelj, R., Šimundić, M., Kononenko, V., Makovec, D., Hägerstrand, H., Drobne, D., & Kralj-Iglič, V. (2016). Effect of Carbon Black Nanomaterial on Biological Membranes Revealed by Shape of Human Erythrocytes, Platelets and Phospholipid Vesicles. https://doi.org/10.1515/nano.12951_2015.39
- Parnia, F., Yazdani, J., Javaherzadeh, V., & Dizaj, S. M. (2017). Overview of Nanopartic-

le Coating of Dental Implants for Enhanced Osseointegration and Antimicrobial Purposes. *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 20, 148. <https://doi.org/10.18433/j3gp6g>

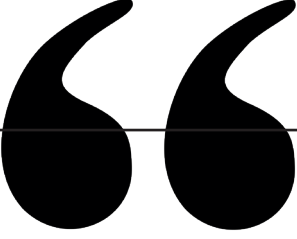
- Pokrowiecki, R., Szałaj, U., Fudala, D., Zaręba, T., Wojnarowicz, J., Łojkowski, W., Ty-ski, S., Dowgierd, K., & Mielczarek, A. (2022). Dental Implant Healing Screws as Temporary Oral Drug Delivery Systems for Decrease of Infections in the Area of the Head and Neck. *International Journal of Nanomedicine*, Volume 17, 1679–1693. <https://doi.org/10.2147/ijn.s333720>
- Pol, S. H. S. (2024). Recent Trends and Scope of Nanotechnology in Orthopaedic Surgery: A Narrative Review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2024/69980.19480>
- Polini, A., Bai, H., & Tomsia, A. P. (2013). Dental Applications of Nanostructured Bio-active Glass and Its Composites. *Wiley Interdisciplinary Reviews Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 5(4), 399–410. <https://doi.org/10.1002/wnan.1224>
- Pop, D., Buzatu, R., Moacă, E.-A., Watz, C., Pinzaru, S. C., Tudoran, L. B., Nekvapil, F., Avram, Ștefana, Dehelean, C., Cretu, M., Nicolov, M., Suzhanek, C., & Jivănescu, A. (2021). Development and Characterization of Fe₃O₄@Carbon Nanoparticles and Their Biological Screening Related to Oral Administration. *Materials*, 14(13), 3556. <https://doi.org/10.3390/ma14133556>
- Rahnama-Hezavah, M. (2023). How Can Imbalance in Oral Microbiota and Immune Response Lead to Dental Implant Problems? *International Journal of Molecular Sciences*, 24(24), 17620. <https://doi.org/10.3390/ijms242417620>
- Ramos, D., & Almeida, L. (2022). Overview of Standards Related to the Occupational Risk and Safety of Nanotechnologies. *Standards*, 2(1), 83–89. <https://doi.org/10.3390/standards2010007>
- Rasouli, R., Barhoum, A., & Uludağ, H. (2018). A Review of Nanostructured Surfaces and Materials for Dental Implants: Surface Coating, Patterning and Functionalization for Improved Performance. *Biomaterials Science*, 6(6), 1312–1338. <https://doi.org/10.1039/c8bm00021b>
- Rattan, S., Fawcett, D., Tennant, M., Granich, J., & Poinern, G. E. J. (2021). Progress of Nanomaterials in Preventative and Restorative Dentistry. *RPM*, 3(1). <https://doi.org/10.21926/rpm.2101007>
- Rayannavar, S. (2024). Osseointegrative and Antimicrobial Properties of Graphene Oxide Nano Coated Dental Implants: A Systematic Review. *F1000research*, 13, 281. <https://doi.org/10.12688/f1000research.148180.1>
- Rosa, V., Malhotra, R., Agarwalla, S. V, Morin, J., Luong-Van, E., Han, Y., Chew, R. J. J., Seneviratne, C. J., Silikas, N., Tan, K. S. W., Nijhuis, C. A., & Neto, A. H. C. (2021). Graphene Nanocoating: High Quality and Stability Upon Several Stressors. *Journal of Dental Research*, 100(10), 1169–1177. <https://doi.org/10.1177/002203452111024526>
- Sachdeva, S., Mani, A., Mani, S., Vora, H., Gholap, S. S., & Sodhi, J. K. (2021). Nano-Robotics: The Future of Health and Dental Care. *Ip International Journal*

- of Periodontology and Implantology*, 6(1), 6–10. <https://doi.org/10.18231/j.ijpi.2021.002>
- Salas, M. F., Porras, P. C., Vargas, M. J. C., Molina, J. A. P., Rojas, M. C., & Redondo, G. M. (2023). Nanotechnological Applications in Dermocosmetics. *European Journal of Pharmaceutical Research*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.24018/ejpharma.2023.3.1.38>
- Scribante, A., Bollardi, M. A., Chiesa, M., Poggio, C., & Colombo, M. (2019). Flexural Properties and Elastic Modulus of Different Esthetic Restorative Materials: Evaluation After Exposure to Acidic Drink. *Biomed Research International*, 2019, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2019/5109481>
- Selvaraj, S., & Dorairaj, J. (2015). Nanosilver Weds Acrylic Resin: A Fit or Misfit? A Review. *Journal of Advanced Oral Research*, 6(3), 11–15. <https://doi.org/10.1177/2229411220150302>
- Seven, P. T., Seven, İ., Baykalır, B. G., Mutlu, S. İ., & Salem, A. Z. (2018). Nanotechnology and Nano-Propolis in Animal Production and Health: An Overview. *Italian Journal of Animal Science*, 17(4), 921–930. <https://doi.org/10.1080/1828051x.2018.1448726>
- Shah, M. S., Duraisamy, R., Sindhuja, S., & Kumar, S. (2020). Recent Advances in Implant Biomaterials - A Review. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, 11(4), 6962–6965. <https://doi.org/10.26452/ijrps.v11i4.3702>
- Shankar, A. N., Farouq, M. M., Bondinuba, F. K., Singh, V. K., Aliyu, D. S., & Ganvir, V. Y. (2022). Critical Review on the Impact of Nanotechnology in Concrete Materials. *Advances in Science and Technology*. <https://doi.org/10.4028/p-2o26jd>
- Sharifi, S., Alipour, M., Abedi, A., Saadat, Y. R., & Dizaj, S. M. (2023). *Advances in Dentistry Nanopharmacology*. 168–194. <https://doi.org/10.2174/9789815079692123010010>
- Sharifi, S., Mahmoud, N. N., Voke, E., & Landry, M. P. (2022). Importance of Standardizing Analytical Characterization Methodology for Improved Reliability of the Nanomedicine Literature. *Nano-Micro Letters*, 14(1). <https://doi.org/10.1007/s40820-022-00922-5>
- Sharma, S., Bharti, G., Singh, R., Gupta, P., Basnet, B. D., Sharma, S., Crown, Bridge, J., Kashmir, I., & Orthodontics, Y. N. M. (2020). Implant Surface Microtopography – A Review. *Asian Pacific Journal of Health Sciences*, 7(2), 48–53. <https://doi.org/10.21276/apjhs.2020.7.2.12>
- Silva, R. C. S., Agrelli, A., Andrade, A. N. d., Mendes-Marques, C. L., Arruda, I. R., Santos, L. R. L., Vasconcelos, N. F., & Machado, G. (2022). Titanium Dental Implants: An Overview of Applied Nanobiotechnology to Improve Biocompatibility and Prevent Infections. *Materials*, 15(9), 3150. <https://doi.org/10.3390/ma15093150>
- Singh, S., & Singh, A. (2013). Current Status of Nanomedicine and Nanosurgery. *Anesthesia Essays and Researches*, 7(2), 237. <https://doi.org/10.4103/0259-1162.118976>

- Sivolella, S., Stellini, E., Brunello, G., Gardin, C., Ferroni, L., Bressan, E., & Zavan, B. (2012). Silver Nanoparticles in Alveolar Bone Surgery Devices. *Journal of Nanomaterials*, 2012(1). <https://doi.org/10.1155/2012/975842>
- Skallevold, H. E., Rokaya, D., Khurshid, Z., & Zafar, M. S. (2019). Bioactive Glass Applications in Dentistry. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(23), 5960. <https://doi.org/10.3390/ijms20235960>
- Skorulska, A., Piszko, P., Rybak, Z., Szymonowicz, M., & Dobrzyński, M. (2021). Review on Polymer, Ceramic and Composite Materials for CAD/CAM Indirect Restorations in Dentistry—Application, Mechanical Characteristics and Comparison. *Materials*, 14(7), 1592. <https://doi.org/10.3390/ma14071592>
- Sree, K. S., Abhishek, V., Sidhartha, S., Srikanth, L., Ramakrishna, M. V., & Lakshmi, K. (2021). Nanotechnology in Prosthodontics. *Ip Annals of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, 7(1), 22–28. <https://doi.org/10.18231/j.aprd.2021.005>
- Sreenivasalu, P. K. P., Dora, C. P., Swami, R., Jasthi, V. C., Shiroorkar, P. N., Sreeharsha, N., Asdaq, S. M. B., & Anwer, Md. K. (2022). Nanomaterials in Dentistry: Current Applications and Future Scope. *Nanomaterials*, 12(10), 1676. <https://doi.org/10.3390/nano12101676>
- Sultana, A., Aleem Uddin, M., Maseera, R., & Gulzar Ahmed, M. (2023). Scope of nanotechnology in nutraceuticals, cosmeceuticals and dentistry. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 14(1), 56–61. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.14\(1\).56-61](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.14(1).56-61)
- Sun, J., Petersen, E. J., Watson, S. S., Sims, C. M., Kassman, A., Frukhtbeyn, S. A., Škrtić, D., Ok, M. T., Jacobs, D., Reipa, V., Ye, Q., & Nelson, B. C. (2017). Biophysical Characterization of Functionalized Titania Nanoparticles and Their Application in Dental Adhesives. *Acta Biomaterialia*, 53, 585–597. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2017.01.084>
- Sun, Y. (2023). Nanotechnology and Biomaterials in Orthopaedic Medical Applications. *Highlights in Science Engineering and Technology*, 73, 88–95. <https://doi.org/10.54097/hset.v73i.12844>
- Terriza, A., Vilches-Pérez, J. I., González-Caballero, J. L., Orden, E. d. I., Yubero, F., Barranco, Á., González-Elipe, A. R., Vilchés, J., & Salido, M. (2014). Osteoblasts Interaction With PLGA Membranes Functionalized With Titanium Film Nanolayer by PECVD. In Vitro Assessment of Surface Influence on Cell Adhesion During Initial Cell to Material Interaction. *Materials*, 7(3), 1687–1708. <https://doi.org/10.3390/ma7031687>
- Thakral, G. K. (2014). Nanosurface – The Future of Implants. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2014/8764.4355>
- Uyaner, M., & Yar, A. (2019). Nano Elyaf Takviyeli Nanokompozit Üretimi ve Karakterizasyonu. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 10–19. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/neufmbd/issue/44699/518455>
- Vasiliu, S., Racovita, S., Gugoasa, I., Lungan, M.-A., Popa, M., & Desbrieres, J. (2021). The Benefits of Smart Nanoparticles in Dental Applications. *International Jour-*

nal of Molecular Sciences. <https://doi.org/10.3390/ijms22052585>

- Vignesh, N., Kumari, K. S., & Abraham, A. (2023). Nanoparticles: A Boon to Dentistry. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 7(1), 74–79. <https://doi.org/10.30574/msarr.2023.7.1.0024>
- Wang, W., Liao, S., Zhu, Y., Liu, M., Zhao, Q., & Fu, Y. (2015). Recent Applications of Nanomaterials in Prosthodontics. *Journal of Nanomaterials*, 2015(1). <https://doi.org/10.1155/2015/408643>
- Wei, L. (2017). The Role of Cell Autophagy in Toxicity Caused by Dental Nanomaterials. *Nanotechnology Nanomedicine & Nanobiotechnology*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.24966/ntmb-2044/100011>
- Wong, P. K., Ho, Y. P., & Chan, C. K. (2007). Internationalization and Evolution of Application Areas of an Emerging Technology: The Case of Nanotechnology. *Scientometrics*, 70(3), 715–737. <https://doi.org/10.1007/s11192-007-0309-z>
- Xu, V. W., Nizami, M. Z. I., Yin, I. X., Lung, C. Y. K., Yu, O. Y., & Chu, C. H. (2022). Caries Management With Non-Metallic Nanomaterials: A Systematic Review. *International Journal of Nanomedicine*, Volume 17, 5809–5824. <https://doi.org/10.2147/ijn.s389038>
- Xu, Y., Meng, F., & Tang, Z. (2024). Application of Nanomaterials for Surface Modification of Dental Implants. *Journal of Materials Processing and Design*, 8(1). <https://doi.org/10.23977/jmpd.2024.080108>
- Yin, I. X., Zhang, J., Zhao, I. S., Mei, M. L., Li, Q., & Chu, C. H. (2020). The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry. *International Journal of Nanomedicine*, Volume 15, 2555–2562. <https://doi.org/10.2147/ijn.s246764>
- Yudaev, P., Chuev, V. P., KLYUKIN, B. V, Kuskov, A., Mezhuev, Ya. O., & Chistyakov, E. M. (2022). Polymeric Dental Nanomaterials: Antimicrobial Action. *Polymers*. <https://doi.org/10.3390/polym14050864>
- Zakrzewski, W., Dobrzyński, W., Zawadzka-Knefel, A., Janecki, M., Kurek, K., Lubojański, A., Szymonowicz, M., Rybak, Z., & Wiglusz, R. J. (2021). Nanomaterials Application in Orthodontics. *Nanomaterials*, 11(2), 337. <https://doi.org/10.3390/nano11020337>
- Zhang, Y., Gulati, K., Li, Z., Di, P., & Liu, Y. (2021). Dental Implant Nano-Engineering: Advances, Limitations and Future Directions. *Nanomaterials*, 11(10), 2489. <https://doi.org/10.3390/nano11102489>
- Zidan, S., Silikas, N., Haider, J., & Yates, J. (2020). Effect of Cleansers on the Colour Stability of Zirconia Impregnated PMMA Bio-Nanocomposite. *Nanomaterials*, 10(9), 1757. <https://doi.org/10.3390/nano10091757>
- Ziębowski, A., Sambok-Kiełbowski, A., Walke, W., Mzyk, A., Kosielski, K., Kubacki, J., Bączkowski, B., Pawlyta, M., & Ziębowski, B. (2021). Evaluation of Bacterial Adhesion to the ZrO₂ Atomic Layer Deposited on the Surface of Cobalt-Chromium Dental Alloy Produced by DMLS Method. *Materials*, 14(5), 1079. <https://doi.org/10.3390/ma14051079>



Bölüm 5

LAZERİN ENDODONTİDEKİ YERİ

Cansu Onat¹

Mehmet Eskibağlar²

1 Cansu Onat, Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye, 0009-0003-1140-6233

2 Mehmet Eskibağlar, Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye, 0000-0003-0183-3824

Lazer nedir, nasıl çalışır

Lazer, kelime olarak “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” kelimelerinin baş harflerinden oluşur ve “uyarılmış ışınım ile ışığın yükseltilmesi” anlamına gelir (Miller & Truhe, 1993). İlk lazer 1960 yılında Theodor Maiman tarafından, bir katı madde lazeri olarak rubin kristali ile üretilmiştir. Bütün lazer sistemlerinde lazer ışını maddedeki atomların ışık yaymaya başlayınca kadar enerjiyle pompalanması sonucu ortaya çıkar. Bu ışık daha sonra aynalar aracılığıyla güçlendirilir (Miller & Truhe, 1993). Lazer cihazları, içlerinde bulunan bu maddeye göre isimlendirilir. Gaz ve buharlardaki serbest atomlar, iyonlar, moleküller, sıvı içinde çözünmüş boya maddeleri, katı cisimlerdeki atom ve iyonlar, yarı iletkenler ve serbest elektronları olan pek çok maddeden lazer ışığı elde edilebilmektedir.

Lazer cihazının çalışabilmesi için öncelikle bir pompalama sistemine ihtiyaç vardır. Lazer aktif maddesinin atomlarında bulunan elektronlar pompalama sisteminin verdiği enerji ile bir üst seviyeye çıkar, bu elektronlar daha sonra eski yerlerine dönerken yayılırlar ve bu sırada bir foton açığa çıkar (Pick, 1993). Pompalama sistemi çalıştığında lazer ortamındaki bir atom uyarılır ve alabileceği en yüksek enerji ile yüklenir. Bu atom kendisinininkine eşit enerjide bir ışık dalgasıyla çarpışınca, zorunlu olarak enerjisini ışık dalgası olarak verir ve çarpıştığı dalga ile aynı frekans ve fazda iki ışık dalgası yayılır. Cihazın karşılıklı iki kenarına paralel iki ayna yerleştirilerek çarpışmaların sayısı artırılır ve böylece daha çok ışık kazanılır. Bu aynalardan birine rastlantısal olarak dik bir açıyla çarpan ışık dalgası, karşıdaki aynaya yansıtılır ve ardından ışık iki ayna arasında sürekli gidip gelir. Işık parçacıkları, lazerin yapımında kullanılan maddenin içinden geçerken, yolunun üzerindeki enerji yüklü diğer atomlarla karşılaşır ve onların da yüklendikleri enerjiyi ışık olarak açığa çıkarmalarını sağlarlar (Miller & Truhe, 1993). Böylece, ışıldayan atomların sayısı ve bununla birlikte ışığın miktarı sürekli olarak artar. Lazer cihazının içindeki iki aynadan biri yarı geçirgen özelliğe sahiptir. İki ayna arasında gidip gelerek yoğunlaşan ışığın bir bölümü, yarı geçirgen özellikteki ayna aracılığıyla dışarıya çıkar. Bu ışık “lazer” ışığıdır.

Lazer ışığının üç temel özelliği vardır. Öncelikle bu ışık dalgalarının tümü aynı renktedir, buna “**monokromasi**” denir. Bütün ışık parçacıkları zaman ve yön bakımından aynı fazdadırlar, buna “**koherens**” denir. Ayrıca ışını oluşturan dalgalar tamamen birbirine paralel ilerler, bu özelliğin adı ise “**kolimasyon**”dur. Kolimasyon özelliği nedeni ile lazer ışığını mercek aracılığıyla daha da yoğunlaştırmak mümkündür. Lazer ışığı dağılmadığı için çok hassas işlemlerde kullanılabilir (Miller & Truhe, 1993).

Lazer enerjisi sürekli (continuous wave), atımlı (pulsasyon) ya da dalgalı şekilde açığa çıkabilir. Diğer bir deyişle lazer ışınları sürekli olarak uygulanabileceği gibi kısa atımlara da dönüştürülebilir. Bu şekilde oluşturulan kısa

atımlarla, çok büyük bir enerji açığa çıkar. Ortaya çıkan gücün bir noktaya odaklanması sonucunda, mikro hassaslıktaki kesme ve delme işlemleri yapılabilir. Lazer atımları uygulandığı alana hızla ulaşır ve kaybolur, böylece sıcaklık ışının gönderildiği alana yayılamaz. Yumuşak ve sert dokularda farklı lazer tipleri kullanılmaktadır. Yumuşak dokuda lazer sürekli dalgalar (cw) şeklinde kullanılırken, sert dokularda ısısal zarar vermemek amacı ile atımlı lazer kullanılır. Lazerlerde enerji, enerji yoğunluğu, atım süresi, atım sayısı ve toplam etki süresi bakımından çeşitli varyasyonlar oluşturmak mümkündür (Dederich, 1993; Y Kimura et al., 2000).

Lazer ışını biyolojik bir dokuya temas ettiğinde ortamda 4 temel olay meydana gelir. Bunlardan biri ışının dokudan “yansımadır”. Böylece ışının enerjisi dokudan uzaklaşır. İkinci olarak ışın doku içerisinde “saçılabilir”. Burada ışın hedef dokudan sapmış ve doku tarafından absorbe edilemeden komşu dokulara saçılmıştır. Üçüncü olarak ışının enerjisi hedef doku tarafından “absorbe edilebilir” ve bunun sonucunda da dokuda ısı artışı gözlenir. Dördüncü olarak ışının enerjisi dokunun içinden geçer ve altındaki dokuya kadar “iletilir”(Zakariassen & Dederich, 1991)

Lazer diş hekimliğinde hem yumuşak dokuda hem diş ve kemik dokusu gibi sert dokularda etkin olması, dokulara doğrudan temas etmemesi ve titreşime neden olmaması, kanama ya da ağrı olmadan hızlı ve etkili tedavi olanağı sunması nedeniyle ilgi görmüştür ve diş hekimliğinin birçok alanında kullanılmaya başlanmıştır.

Lazer Tipleri

1. Nd:YAG lazer

Neodymium:yttrium-aluminyum-garnet (Nd:YAG) lazer, diş hekimliğinde ilk kez 1985 yılında Dr. Terry Myers’ın mine dokusu üzerinde çalışmasıyla kullanılmaya başlanmıştır. Nd:YAG lazer daha sonra ince bir fiber optik uç yardımı ile kök kanallarının şekillendirmesi ve sterilizasyonunun sağlanması amacıyla kullanılmıştır (Dederich, 1993; Myers, 1991; Önal, 1993; Pick, 1993). Birçok çalışmada Nd:YAG lazerin biyomekanik şekillendirmeden sonra oluşan smear tabakasını ve debrisini uzaklaştırabildiği gösterilmiştir (Anić et al., 1996; Goodis et al., 1993; Harashima et al., 1997). Suda ve hidroksiapatite iyi absorbe olamamaktadır. Dolayısıyla bu lazer ışını diş sert dokuları tarafından iyi absorbe edilememektedir (Anić et al., 1996; Harashima et al., 1997). Nd:YAG lazer temel olarak hedef dokuyu ısıtır ve buharlaştırır. Suda iyi absorbe edilememesine karşın pigment dokular tarafından iyi absorbe edilir. Nd:YAG lazer ağız dokularında 4 mm’ye kadar penetre olabilir (Dederich, 1993; Y Kimura et al., 2000; Miller & Truhe, 1993; Pick, 1993; Rooney et al., 1994).

Nd:YAG lazer pigmente bakterilerin DNA'larını bozarak bakterisit etki gösterir. Lazerin kök kanalının sterilizasyonundaki etkisi, mikroorganizmaları doğrudan buharlaştırmasına ve lokalize ısınma sağlamasına bağlanmaktadır. Nd:YAG lazer uygulanırken, ışının oluşturduğu ısının yayılabilmesi nedeni ile, fiber optik ucun mikroorganizmalara direkt temas etmesi gerekmemektedir. Lazer enerjisi yayılarak dentinin içerisinde derin tabakalara kadar ulaşmaktadır. Dentinin derin tabakalarında ve dentin kanalcıkları içerisinde yayılan indirekt lazer ışınları sayesinde bakterisidal etki elde edilebilmektedir (Gerek et al., 2010; Pick, 1993). Nd:YAG lazer yumuşak doku cerrahisinde de kullanılır, yumuşak dokulara herhangi bir zarar vermeden etki eder ve işlem sonrası yara iyileşmesi çok hızlı gerçekleşir. İşlem sırasında daha az ağrıya neden olduğu için anesteziye duyulan gereksinim azalır (Dederich & Bushick, 2004).

2. Diod lazer

Son yıllarda Diod lazerin antimikrobiyal özellikleri nedeniyle endodontik tedavide kullanımı yaygınlaşmıştır. Diod lazer cihazlarının ince ve esnek fiber uçlarının olması kök kanallarında kullanımını kolaylaştırmaktadır. Diod lazerin penetrasyon derinliği (810 nm ve 980 nm), Nd:YAG lazerin penetrasyon derinliğinden (1.064 nm) daha az ısısal yan etkileri de azdır (Gerek et al., 2010; Judy et al., 1993).

3. Er:YAG lazer

2940 nm dalga boyunda bir katı kristal lazeridir. Çürük dokunun uzaklaştırılması ve diş preparasyonunda kullanılmaktadır. Mine ve dentinde temiz ve keskin yüzeyler oluşturur. Bu amaçla kullanıldığında anestezi gerekmez (Nair et al., 2003). Hidroksiapatit ve suda çok fazla absorbe edilir. Bu nedenle mikroorganizmalar üzerine olan etkisi çoğunlukla ana kanalla sınırlı kalır ve endodontide kullanımı uygun değildir. Ancak organik dokuları ve smear tabakasını uzaklaştırabilir. Kök kanalları hipoklorit ile dolu iken kanala Er:YAG lazer uygulanmasının kanal içinde akustik şok dalgaları yaratarak dezenfeksiyon sağladığı bildirilmiştir (Bader & Krejci, 2006).

4. Er,Cr:YSGG lazer

2780 nm dalga boyunda bir katı kristal lazeridir. Mine ve dentinde pürüzlü bir yüzey oluşturur. Dentinde smear tabakasını uzaklaştırır böylece rezinle olan bağlantıyı artırır. Buna karşın mine tabakasındaki bağlantı yeterli değildir ve ilave olarak asit uygulamasını gerektirir. Pulpa üzerine olumsuz etkisi yoktur (Hossain et al., 1999). Endodontide antimikrobiyal amaçla kullanımı uygun değildir. Organik doku ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında kullanılabilir.

5. CO₂ lazer

Kök kanallarının dezenfeksiyonu açısından yeterli etkinliğe sahip değildir(Matsumoto & Kimura, 2007) CO₂ lazer beyazlatma amacıyla kullanılmış olsa da pulpal hassasiyete neden olması ve klinikte bu amaçla kullanıldığında kontrol edilebilirliğinin az olması nedeniyle kullanımı önerilmemektedir (Affairs, 1998)

6. Argon lazer

Aktif maddesi Argon gazıdır. Diş hekimliğinde 488 nm ve 514 nm dalga boylarında kullanılmaktadır. Çürük lezyonların teşhisinde kullanımı uygundur (Önal, 1993)

Lazerin endodontideki kullanım alanları

1. Vital pulpa tedavileri
2. Dentin hassasiyetinin giderilmesi
3. Pulpal kan akımının belirlenmesi
4. Kök kanallarının şekillendirilmesi
5. Kök kanallarının dezenfeksiyonu ve irigasyonun aktivasyonu
6. Kök kanal dolgu malzemeleri ve kanal içi medikamanların uzaklaştırılması
7. Endodontik cerrahide lazer kullanımı
8. Diş beyazlatması

1.Vital pulpa tedavileri

Lazerlerin diş hekimliğinin kullanımına girmesiyle CO₂, Nd:YAG, Er:YAG ve diyet gibi çeşitli lazerlerin çürüğün uzaklaştırmasını; kuafaj ve pulpotomi işlemleri sırasında dentin ve pulpa dokusu üzerinde meydana getirdikleri değişiklikleri inceleyen çalışmalar yapılmaya başlamıştır (Y Kimura et al., 2000). Yapılan araştırmalar pulpanın yanlılıkla açıldığı ve/veya pulpanın yüzeysel olarak kontamine olduğu durumlarda dekontaminasyon, koagülasyon ve biostimülasyon amacıyla lazerlerin kullanılmasının işlemi kolaylaştıran kanamasız bir alan; bunun ötesinde steril bir yara yüzeyi oluşturarak tedavinin başarısını olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur (Y Kimura et al., 2000; Melcer, 1986; Olivi & Genovese, 2006; Suzuki et al., 2005; Suzuki et al., 2011)

Direkt kuafaj uygulamalarında yaralanan pulpa bölgesinde kanamanın kontrol edilmesi, kuafajın başarısını etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Suzuki et al., 2011; Todea et al., 2008). Kanamanın kontrol edilmesi amacıyla

CO₂ lazerlerin kullanılmasının iyi sonuçlar verdiği, yara iyileşmesini arttırdığı (Pescheck & Moritz, 2006); süper atımlı CO₂ lazerlerin ise daha az ısı açığa çıkardığı ve daha iyi vaporizasyon etki gösterdiği bildirilmiştir (Suzuki et al., 2005; Suzuki et al., 2011).

CO₂ lazerin direkt kuafaj etkinliğinin kalsiyum hidroksit ile karşılaştırıldığı çalışmada, Moritz ve ark. CO₂ lazerini (10,6 µm; 1 W; 0,1 s; 1 Hz) pulpa üzerinde kullanmış ve yüzeyi kalsiyum hidroksit ile örtülemişlerdir. 1 yıl sonunda dişlerin %89'u herhangi bir semptom göstermez ve canlılığını korurken sadece kalsiyum hidroksit uygulanan grupta bu oran %68 olarak kaydedilmiştir (Moritz et al., 1998). CO₂ lazerin (10,6 µm; 0,5 W; 3 s; 0,698 J/cm²) sıçan pulpalarına direkt kuafaj tedavisi sırasında açık pulpadaki kanamanın durdurulması, koagüle edilmesi ve ortamın dezenfeksiyonu amacıyla kullanıldığı bir başka çalışmada, süper atımlı CO₂ lazer kanamanın durdurulmasında etkin bulunmuş ancak kalsiyum hidroksit ile karşılaştırıldığında dentin oluşumunu geciktirdiği belirtilmiştir (Suzuki et al., 2011).

Yasuda ve ark. sıçan pulpa hücrelerini değişik sürelerde CO₂ lazeriyle (10,6 µm; 2 W; 20,40,60 s) ışınlamış ve 24 saat sonra hücrelerin canlılığını kontrol ettiklerinde 20 ve 40 saniye süreyle ışınlanan pulpalarda herhangi bir kayıp olmazken, 60 saniye süreyle ışınlanan pulpa hücrelerinde %20'ye varan canlılık kaybı oluştuğunu gözlemlemiştir. Araştırma sonuçları CO₂ lazer ile ışınlamanın, pulpa hücrelerinde mineralizasyon miktarını arttırdığını ancak ışınlama süresi arttıkça enerji yoğunluğunun da artarak hücre yaralanmalarına neden olabileceğini göstermektedir (Yasuda et al., 2009). Özellikle sürekli dalga modunda uygulanan CO₂ lazerlerin zaman zaman kontrol edilemeyen ısı artışlarına neden olmaları, bu lazerlerin sert doku uygulamalarının pratikte sınırlı kalacağını düşündürmektedir (Moritz et al., 2006).

CO₂ lazerler gibi Nd:YAG lazerlerin de kuafaj uygulamalarında kullanılabileceğini gösteren çalışmalar yapılmıştır (Beldüz et al., 2010; Oskoe et al., 2013; SANTUCCI, 1999; Todea et al., 2008; Türkmen et al., 2000; White et al., 1994). Nd:YAG lazer ile desteklenen direkt kuafajın başarısını konvansiyonel yöntemle karşılaştıran Santucci yaptığı retrospektif çalışmada 29'u kalsiyum hidroksit, 64'ü Nd:YAG lazer uygulamasını takiben vitrebond ile örtülenen toplam 93 dişi, 54 ay boyunca takip etmiştir. Nd:YAG lazer ve vitrebond ile direkt kuafaj yapılan grupta 54 ay sonunda başarı oranı %90,3 olarak kaydedilirken bu oran yalnızca kalsiyum hidroksit uygulanan grupta %43,6 olarak kalmıştır (SANTUCCI, 1999).

Pulpanın canlılığının korunduğu en etkili lazer yöntemini bulmak için histolojik ve klinik bir çalışma yapan Todea ve ark. ise, çalışmaya pulpası kazara açılmış 120 adet dişi dahil etmiştir. Kuafaj uygulamaları CO₂ lazer + kalsiyum hidroksit; Nd:YAG lazer + kalsiyum hidroksit ve yalnızca kalsiyum hidroksit kullanılarak gerçekleştirilmiş; çalışmanın sonucunda kazara açıl-

mış pulpalar üzerinde en başarılı sonucu CO₂ lazer uygulamasının verdiği belirtilmiştir (Todea et al., 2008).

Hem yumuşak dokuda hem diş sert dokularında hem de sudan zengin çürük dokusunda etkili bir ablyasyon yeteneği bulunan ve büyük oranda su tarafından emilerek dokuda yaklaşık 100 µ'luk yüzeysel bir etkiye neden olan Er:YAG lazerler bu özellikleri nedeniyle kuafaj alanında geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Olivi et al., 2007). Hashemina ve ark. ise kedi dişlerinde yaptıkları çalışmada açık pulpayı, çok uzun atımlı Er:YAG (2,94 µm; 200 mJ/atım; 700 µs; 3 Hz) lazer ile ışınlayıp MTA koyarak, Er:YAG lazer ile ışınlayıp kalsiyum hidroksit uygulayarak ve üzerine sadece MTA koyarak kapatmışlardır. 4 ay sonraki histolojik inceleme sonuçlarına göre, gruplar arasında hiperemi, nekroz, odontoplastik tabaka ve dentin bariyeri oluşumu açısından anlamlı fark bulunmadığını; Er:YAG ile desteklenen MTA uygulamasında iyileşmenin daha iyi olduğunu ve direkt pulpa kuafajında kullanılabileceğini göstermişlerdir (Hashemina et al., 2010).

Son yıllarda, düşük doz lazer tedavisinin (LLLT) in vivo ve in vitro olarak fotostimülator ve fotobiyomodülator etkisinin olduğu, hücre büyümesini stimüle ettiği, hücre rejenerasyonunu sağladığı ve antienflamatuvar yanıtı başlattığı rapor edilmiştir (Kneebone et al., 2006). Bu nedenle özellikle travma sonrası pupa kuafajında düşük doz lazer tedavisinin kullanılmasının faydalı olabileceği belirtilmiştir (Ferriello et al., 2010). Bununla birlikte düşük doz diyet lazerin (680 nm; 4 J/cm²; 60 s) kalsiyum hidroksit ve adeziv rezinlerle kombine olarak hücre proliferasyonu üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada Ferriello ve ark. düşük doz diyet lazer uygulamasının kuafaj materyallerinin performansını arttırmadığı sonucuna varmıştır (Ferriello et al., 2010). Fekrazad ve ark. ise 2014 yılında düşük doz diyet lazeri (810 nm; 0,3 W; 4 J/cm²; 9 s) ve MTA'yı kök ucu gelişimi tamamlanmamış köpek dişlerinde pulpotomi yapmak amacıyla kullanmış; çalışma sonucunda MTA ve diyet lazerlerin birlikte kullanılmasının dentinogenezis miktarını arttırarak kök ucu gelişimini hızlandırdığını bildirmişlerdir (Fekrazad et al., 2015).

Yazdanfar ve ark. yaptıkları klinik çalışmada, çürük nedeniyle açığa çıkan pulpa üzerinde konvansiyonel yöntemle ve diyet lazer (808 nm) ile destekleyerek yaptıkları kuafajların etkinliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada lazer, kanamanın durdurulması ve kavitenin dekontaminasyonunun sağlanması için kullanılmış ve 1 yıllık takip sonrasında konvansiyonel olarak kuafaj yapılan grupta başarı oranı %60; 808 nm diyet lazer ile desteklenen grupta ise %100 olarak kaydedilmiştir (Yazdanfar et al., 2015).

2. Dentin hassasiyetinin giderilmesi

Dentin yüzeyinin açığa çıkması sonucu oluşan dentin hipersensitivitesi (DH), toplumda yaygın olarak görülen ve kişilerin yaşam kalitesini etkileyen bir rahatsızlıktır. Ağrı çeken kişilerin büyük bir çoğunluğu, bu ağrının ara-

lıklılı ve keskin, kısa süreli, rahatsız edici ancak katlanılabilir olduğunu; daha küçük bir kısmı ise künt ve derin bir ağrıları olduğunu belirtmişlerdir (West, 2008). DH mekanizması birçok hipotezle açıklanmaya çalışılmıştır. Günümüzde kabul edilen hipotez, hidrodinamik teoridir. Brännström, hidrodinamik teori ile dentin-pulpa sınırındaki sinir sonlanmalarının dentin tübüllerinin içerisindeki sıvının hareketinden etkilenerek dentin hipersensitivitesine neden olabileceğini belirtmiştir (Brännström et al., 1967).

Lazerler; dalga boyu, enerji yoğunluğu ve hedef dokunun optik özelliklerine bağlı olarak farklı doku reaksiyonlarına neden olurlar (Ladalaro et al., 2004). Bundan dolayı her lazerin etki mekanizması farklılık göstermekte ve tek bir mekanizma ile açıklanamamaktadır.

DH tedavisinde düşük seviyeli lazerlerden biri olan diyot (GaAlAs) lazerin üç farklı dalga boyu (780, 830 ve 904 nm) kullanılmaktadır (Yuichi Kimura et al., 2000). Çalışmada 780 nm diyot lazer; 30 mW enerji çıkışında, CW modunda ve 0,5-3 dk süre ile uygulanmış ve tedavi etkinliği %85-100 olarak bulunmuştur (Matsumoto & Kimura, 2007). Diyot lazerlerin hassasiyet giderici etkisinin; sinir iletimini baskılamasına ve sklerotik dentin üretimine dayandığı düşünülmektedir (Walsh, 1997).

DH tedavisinde kullanılan Nd:YAG lazer (1064 nm) ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. Yüksek enerjiye sahip bu lazerlerin yüzey ısısını artırmasıyla dentin yüzeyinde erime oluştuğu ve sonrasında yüzeyin yeniden kristalize olarak dentin tübüllerini tıkadığı ve bu tıkanmanın dentin yüzeyinden pulpaya uyaran iletimini engellediği düşünülmektedir (De Magalhães et al., 2004; Lan et al., 2000; Lan & Liu, 1996; Liu et al., 1997). Etki mekanizmasının lazerin ısı etkisinin yanı sıra direkt sinir analjezisiyle de olduğu düşünülmektedir (Whitters et al., 1996). Bu analjezik etkinin, lazer enerjisinin sodyum pompası mekanizmasına müdahale ederek, hücre membran geçirgenliğini değiştirerek ve/veya duyu aksonlarının sonlanmalarını geçici olarak değiştirerek oluştuğu ileri sürülmektedir (Yuichi Kimura et al., 2000). DH tedavisinde kullanılan lazerlerden bir tanesi de CO₂ lazerdir. Etki mekanizması dentin tübüllerini tıkayarak, daraltarak ve geçirgenliği azaltarak gösterdiği, ayrıca dentinde kurumaya neden olarak dentin rehidrate olana kadar geçici bir rahatlama sağladığı ancak sinirler üzerine analjezik etkisinin olmadığı açıklanmıştır (Bonin et al., 1991; Fayad et al., 1996; Yuichi Kimura et al., 2000; Moritz et al., 1995).

Lazerin etkinliklerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda tüm lazerler, DH tedavisinde etkin olmakla birlikte Nd:YAG lazerin diğer lazerlere göre daha üstün olduğu görülmektedir (Birang et al., 2007; Dilsiz et al., 2010; Dilsiz et al., 2009; Gholami et al., 2011). Diğer grupların birbirleriyle karşılaştırıldığı az sayıdaki çalışmada etkinlikleri arasında bir fark belirlenememiştir (Aranha & de Paula Eduardo, 2012; Corrêa Aranha et al., 2005; Ipci et al., 2009; Yılmaz et al., 2011).

3. Pulpal kan akımının belirlenmesi

Pulpa, kalsifiye dokularla çevrili tamamen kapalı bir alanda konumlanmıştır. Herhangi bir şekilde pulpada bir hasar oluştuğunda, pulpada iltihabi mekanizma da işlemeye başlar ve bunun bir sonucu olarak vasküler değişiklikler gözlenir. Pulpanın sinir dokusu, pulpa iltihabına vasküler dokuya nazaran daha dayanıklıdır. Böyle bir durumda pulpada iltihabi olaylar başlamış olmasına karşın, canlı kalan sinir dokusu nedeni ile hassasiyet test teknikleri yanlış sonuçlar verebilir (Cohen & Liewehr, 2002; Pitt Ford & Patel, 2004; Rowe & Ford, 1990).

Lazer Doppler kan akımı ölçme tekniği, vasküler sistemdeki en ince kan damarlarından bile doğrudan kan akımı ölçümü yapabilen, invaziv olmayan, elektro-optik bir tekniktir. Bugüne kadar lazer ışın kaynağı olarak; helyum-neon (632,8 nm) ve diyot (780 veya 780-820 nm) lazerler kullanılmıştır. Bu cihaz “Doppler kayması” prensibine göre çalışmaktadır. Bu prensip, hareket eden nesneden yansıyan ışının frekansında meydana gelen değişim olarak tanımlanır (Adrian, 1993). Kan akımı ölçümlerinde Doppler kaymasına sebep olan hareketli nesnelere kan hücreleridir. Cihazın ölçüm derinliği 1 mm civarında olmasına rağmen, daimi dişte ortalama 2 ile 3,5mm kalınlıkta olan mine ve dentini aşarak, bir dişin pulpasının kan akımı ölçülebilmektedir.

4. Kök kanallarının şekillendirilmesi

Kök kanal preparasyonu, kanal tedavisinin en önemli aşamalarından biri olarak kabul edilmektedir (Peters, 2004). Kök kanallarının temizlenmesi ve şekillendirilmesi işlemleri ile kök kanallarında bulunan enfekte dentin, nekrotik veya canlı pulpa artıkları, mikroorganizmalar ve bunların ürünlerinin uzaklaştırılması, kanalların orijinal kurvatürünün korunarak apikale doğru daralan konik formda şekillendirilmesi amaçlanır (Carrotte, 2004; Ruddle, 2010).

Endodontide kök kanal tedavisi sırasında smear tabakasının kaldırılması ve şekillendirilmesi amacıyla günümüzde genellikle Nd:YAG, CO₂, Er:YAG veya Er,Cr:YSGG lazerler kullanılmaktadır. Bununla birlikte, Nd:YAG ve CO₂ lazerler diş sert dokularında özellikle kök kanal duvarlarında kalan smear tabakasını ve debrisyi uzaklaştırmada kullanılabilirler. Ancak, yüksek termal etkileri nedeniyle diş sert dokularında erime, karbonizasyon, fissur oluşumu ve çatlaklara neden olmalarından dolayı kök kanallarının şekillendirilmesinde kullanımları çok tercih edilmemektedir (van As, 2004; Wigdor et al., 1993). Bu nedenle günümüzde kök kanallarının şekillendirilmesinde hidroksiapatit ve su tarafından yoğun bir şekilde emilebilen Erbium lazerler [(Er:YAG (dalga boyu: 2940 nm) ve Er,Cr:YSGG (dalga boyu: 2780 nm)] kullanılmaktadır (van As, 2004). Bu tip lazerler ablasyon mekanizması ile sert dokularda etki gösterirler. Bu mekanizmada, Erbium lazerlerin enerjisi dokudaki su ve su içeren inorganik yapılar tarafından soğurulur. Bunun sonucun-

da moleküllerdeki ani ve aşırı ısınma ile mikro patlamalar meydana gelir. Bu esnada dokular arasındaki bağlar çözünür ve doku ortamdan buharlaşarak uzaklaşır(Kokuzawa et al., 2012).

Soares ve ark. Er,Cr:YSGG lazer ile yapılan kanal şekillendirme işleminin el ve döner NiTi eğeleriyle yapılan preparasyondan daha hızlı bir şekilde bitirildiğini bildirmişlerdir (Soares et al., 2008). Lazerlerle yapılan kök kanal preparasyonu sırasında çalışma boyu önem kazanmaktadır. Elle veya mekanik sistemlerle yapılan preparasyonlarda eğeler belirlenen çalışma boyunda kullanılırken, lazerler ile yapılan preparasyonda ilk kullanılan ince fiber optik uc belirlenen boyuttan yaklaşık 2 mm, sonrasında kullanılacak daha kalın fiber optik uc ise 3 mm kısa kullanılmalıdır. Çünkü lazer ışının etkisi fiber optik uçtan sonra bir miktar daha ileriye doğru devam etmektedir. Lazerin termal etkisi sonucu, apikal daralımın biraz gerisinde dentin parçacıklarının erimesi, füzyonu ve rekristalizasyonu sonucu oluşan apikal tıkaçı bozmamak, periapikal bölgeye zarar vermemek, daha kalın fiber optik ucun eğri kök kanallarında apikale doğru ilerletilmesi sonucu basamak ve fiber ucun kırılması veya sıkışması gibi komplikasyonlar oluşturmamak için bu şekilde bir kullanım önerilmektedir (Matsuoka et al., 2005; Minas et al., 2009). Lazerle yapılan kök kanal preparasyonunun avantajlarının yanı sıra maalesef dezavantajları da bulunmaktadır. En önemli dezavantajı kök kanallarında meydana gelebilen basamak, zip, perforasyon oluşumu ve boyut kaybıdır. Araştırmacılar çoğunlukla eğri kök kanallarında olmak üzere düz kanallarda da bu tip komplikasyonların görülebildiğini belirtmişlerdir (Jahan et al., 2006; Matsuoka et al., 2005; Minas et al., 2009). 10°'den az eğimli dişlerde lazer preparasyonun etkili olabildiği ancak eğim derecesi arttığında komplikasyonların oluşabildiği ve vaka seçiminde dikkatli olunması gerektiği bildirilmiştir. Lazerle yapılan preparasyon sırasında ısı artışı nedeniyle çevre dokularda meydana gelebilecek hasar önemli bir konudur. Bu nedenle lazer uygulanırken güç miktarı ve lazerin kanal içine uygulanma süresi önem kazanmaktadır. Eriksson ve Albrektsson 1 dk boyunca 10 °C'lik artışın kemik dokudaki geri dönüşümsüz hasar için eşik değeri olduğunu belirtmişlerdir (Eriksson & Albrektsson, 1983). Kök yüzeyindeki ısının en düşük düzeyde tutulabilmesi için özellikle apikal bölgede lazer uygulaması sırasında belirlenen çalışma boyundan birkaç mm kısa çalışılması, uygulama süresinin bir keredede 10 sn olacak şekilde planlanması ve su soğutması altında çalışılması tavsiye edilmektedir (Ali et al., 2005; Kokuzawa et al., 2012).

5. Kök kanallarının dezenfeksiyonu

Kök kanalının dezenfeksiyonu geleneksel olarak mekanik şekillendirme, dezenfeksiyon solüsyonlarının kullanımı ve seanslar arasında kanal içi medikamentlerin yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir (Bago et al., 2013). NaOCl, farklı konsantrasyonlarda temizleme, organik doku çözme, saponifikasyon (sabunlaştırma), aminleri kloraminlere dönüştürme ve antibakteriyel özel-

likleri nedeniyle kök kanal dezenfeksiyonunda en çok kullanılan irrigasyon solüsyonudur. NaOCl, hedef bakteriye direk temas ederek etki gösterir, dentine yeterli derecede penetre olamadığı için derin tabakalara yerleşen mikroorganizmalara etki edemez (Pirnat et al., 2011; Wang et al., 2007). Kök kanal dezenfeksiyonunda kullanılan lazer ışını ile geleneksel yöntemlerle ulaşılmayan dentin tübülleri, lateral kanal, isthmus gibi bölgelere ulaşabildiği düşünülmektedir.

Nd:YAG ve Diod lazerler dezenfeksiyon kabiliyetlerine bağlı olarak, lazer destekli endodontide klinik çalışmalarda değerlendirilip kullanılan ilk lazerlerdir (Schoop et al., 2004; Wang et al., 2007). Nd:YAG ve Diod lazer gibi NIR (yakın kızılotesi) lazerler ile bakterilerin yok edilmesi ile ilgili olarak iki muhtemel mekanizma üzerinde durulmaktadır. Birinci mekanizmada; lazer ışının bakterinin bağlandığı substrat (dentin vs.) tarafından absorbe olduğu ve substratta ortaya çıkan ısısında mikroorganizmanın ölümüne yol açacak yükseklikte lokal bir ısı artışına neden olduğu düşünülmektedir. İkinci mekanizma ise lazer ışınının bakteri tarafından absorbe edildiği ve bakteri hücrelerinde direk hasar meydana getirdiği şeklindedir (Pirnat et al., 2011).

Diod lazerin sterilizasyon etkisi Nd:YAG lazer ile benzerlik gösterir. Penetrasyon derinliği (810 nm), Nd:YAG lazerin penetrasyon derinliğinden (1064 nm) daha az olduğu için ısısal yan etkilerinin de daha az olduğu belirtilmiştir (Judy et al., 1993). Preethee ve ark, *E. faecalis* ile enfekte ettikleri dişlerde Diod lazerin çeşitli yıkama solüsyonlarıyla bir arada kullanıldığında bakterisidal etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda 908 nm Diod lazerin %1,3 NaOCl, MTAD ve %8,5 salinle birlikte yıkamanın sonucunda gruplarda *E. faecalis* bakterisinin tamamen eradike olduğu kültür metodu ile tespit edilmiştir (Preethee et al., 2012). Tüm Erbiyum lazerler dalga boylarının karakteri gereği su, hidroksiapatit ve kollojen dokuda yüksek absorpsiyon gösterirler (Walsh, 2003). Lazer ışını suda sert dokudan daha fazla absorbe olduğu için dokudaki ısı artışı daha az olmaktadır (Tanboga et al., 2011). Er:YAG lazer'in antimikrobiyal etkinliğini dokudaki suyu absorbe ederek meydana getirdiği buharlaşmanın ve buna bağlı olarak hücresel yıkımın bu şekilde gerçekleştiği düşünülmektedir (Vezzani et al., 2006). Yasuda ve ark, Er:YAG lazerin düz ve eğri kanallarda Nd:YAG lazerden daha üstün antibakteriyel etki gösterdiğini belirtmişlerdir (Yasuda et al., 2010).

Lazer enerjisi kök kanalı dezenfeksiyonunda doğrudan kullanıldığı gibi, ışığa duyarlı kimyasallarla birlikte kombine de kullanılabilir. Işığa duyarlı maddeler mikroorganizmalara bağlandığında düşük-enerjili lazer ışığı ile aktivasyon sonucu üretilen oksijen mikroorganizmanın DNA'sı ve hücre membranında hasar meydana getirmekte ve ölümüne neden olmaktadır. Bu mekanizma 'ışıkla aktive olan dezenfeksiyon (PAD)' veya 'fotodinamik terapi' olarak adlandırılır (Demidova & Hamblin, 2004; Kishen, 2010). Fotodinamik terapi kök kanalı enfeksiyonlarında sıkça görülen *F. nucleatum*, *P. intermedia*,

S. intermedius ve P. micros gibi mikroorganizmaların yanı sıra inatçı enfeksiyonlarda önemli rol oynayan E. faecalis' in eliminasyonunda da etkili olduğu belirtilmiştir (Lee et al., 2004; Meire et al., 2009). E. coli, C. albicans, E. faecalis, F. nucleatum, ve S. intermedius suşlarının planktonik süspansiyonlarında 30 sn süreyle ışınlama yapıldığında PAD'ye en fazla direnç gösteren mikroorganizmanın C. albicans olduğunu belirtilmiştir (Schlafer et al., 2010).

İlk kez 2009 da tanıtılan 'ışıkla başlatılan fotoakustik akım' (photon-initiated photoacoustic streaming-PIPS) isimli yeni bir teknik ile atımlı düşük enerjili bir lazerden çıkan akustik dalgaların yayılımı ile kok kanalında dezenfeksiyon solüsyonlarının hareketi ve aktivasyonunun sağlanacağı belirtilmiştir. (DiVito et al., 2012; Kishen, 2010) PIPS, Er:YAG lazerin düşük enerji seviyelerinde ve güçte (20mJ, 50 µs, 0,3 W) sadece koronel girişe izin verecek şekilde dizayn edilmiş özel bir endodontik uçla kullanıldığı tek sistemdir. Bu teknikte kok kanal sisteminde uc boyutlu hareket edebilecek etkili bir şok dalgası oluşturarak en üst seviyede güç deposu yaratmak hedeflenir (DiVito & Lloyd, 2012). Peters ve ark., NaOCl'nin lazerle aktivasyonunun (PIPS), %6 NaOCl (60 sn) ile irrigasyon ve NaOCl'nin 30 sn ultrasonik ile aktivasyonunu karşılaştırdıkları bir çalışmada biofilm tabakasını kaldırmada en etkili dezenfeksiyon metodun PIPS olduğunu belirtmişlerdir. Ancak çalışma sonucunda her iki tekniğin de apikal uçludaki kök kanallarından veya dentin tübüllerinden bakterileri tamamen uzaklaştıramadığı da belirtilmiştir. PIPS ve PAD gibi lazer esaslı yeni tekniklerin kullanımı ile yüksek güçte lazerlerin doku hasarı gibi ısısal yan etkilerinin önüne geçilmiş ve daha güçlü bir antimikrobiyal etki sağlandığı görülmüştür.

Matsumoto ve ark. Er:YAG lazer ile aktive edilen yıkama solüsyonunun ne kadar ileride kavitasyon meydana getirebileceğini incelemişlerdir (Kaiwar et al., 2013). Bu çalışmada da gaz kabarcığının oluşumu, genişlemesi ve göçmesi gösterilmiştir. Gaz kabarcığı göçtüktan sonra ikincil kavitasyon kabarcıklarının meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca lazer optik ucu 5 mm yukarıda aktive edildiğinde bile bu ikincil kavitasyon kabarcıklarının kök kanal modelinin tabanında gözlemlenmiştir. Bu lazer optik ucunun kök kanalı içerisinde çok fazla ilerletilmeden apikal bölgede yıkama solüsyonunda kavitasyonlar meydana getirebileceğini göstermesi açısından önemlidir. PIPS tekniğinde yüksek güç ayarları değil düşük güç ayarları kullanılmaktadır (maksimum güç 1 W). Teknikte fotoakustik ve fotomekanik etki oluşmaktadır. Böylece ErYAG lazerlerin termal yan etkileri, karbonizasyon ve çatlak oluşumu gibi komplikasyonları ortadan kalkmış olmaktadır. Apeks kadar optik ucun yerleştirildiği geleneksel lazer tekniklerinden farklı olarak optik ucun sadece pulpa odasına yerleştirilmesi yönüyle PIPS tekniği çok ilgi çekici hale gelmektedir.

6. Kök kanal dolgu malzemeleri ve kanal içi medikamentlerin uzaklaştırılması

Kanal tedavisinin yenilenmesinde lazerlerin kullanımı lazer ışınının termal etkisine dayanmaktadır. Yenilenen tedavide Er:YAG lazer fototermal ve fotoablasyon mekanizmalarıyla etki göstermektedir (Y Kimura et al., 2000). Fototermal etkinin, kanal dolgu materyalinin karbonizasyonu ile sonuçlanabileceği, buna karşın fotoablasyon mekanizması dentin yüzeyini etkileyerek kanal duvarlarından kanal dolgu artıklarının ayrılmasını sağlayacaktır. Böylelikle irrigasyon prosedürleri ile dolgu materyali kanaldan uzaklaştırılmış olacaktır (Mohammadi, 2009). Anjo ve ark. kök kanal dolgu materyalinin uzaklaştırılmasında Nd:YAG lazerin etkinliğini inceledikleri bir çalışmada, lazerin kanal dolgu materyalinin kaldırılmasında faydalı olduğunu ve geleneksel metoda (Gates-glidden frezi ve el eğesi kombinasyonu) göre daha az zaman gerektirdiğini belirtmişlerdir (Anjo et al., 2004). Keleş ve ark. kanal dolgu materyalinin uzaklaştırılmasında çeşitli sistemlerin (Er:YAG, Nd:YAG ve PIPS) etkinliğini değerlendirmişlerdir (Keleş et al., 2015). Kanal dolgu materyalinin kaldırılmasında NiTi döner alet kullanımından sonra lazer kullanımının dolgu materyalinin kaldırılmasında ilave yarar sağladığını rapor etmişlerdir. Lazerler kanal dolgu materyalinin uzaklaştırmak için geleneksel metotlara bir yardımcı olarak kullanılırken apikal daralıma ve periapikal dokulara zarar verme riskinden dolayı apikal bölgede kullanımından kaçınılmalıdır (Anjo et al., 2004). Bu yüzden lazer ucu kanal içerisinde apikal daralımdan birkaç milimetre uzaklığa kadar ilerletilmelidir.

Kaptan ve ark. kök kanalından KH'in uzaklaştırılmasında sodyum hipoklorit (NaOCl) ve etilen diamintetra asetik asit (EDTA) ile Er:YAG lazerin kombine kullanımını değerlendirmişlerdir (Kaptan et al., 2012). Er:YAG lazer, EDTA ve NaOCl kombinasyonunun, lazersiz EDTA ve NaOCl kombinasyonundan daha etkili olmadığını belirtmişlerdir. Arslan ve ark. yapay olarak oluşturdukları kanal düzensizliklerinden KH'nin uzaklaştırılmasında sonik, ultrasonik, photon-initiated photoacoustic streaming (Er:YAG lazer tabanlı PIPS) sistemi ve iğne irrigasyonunun etkinliğini değerlendirmişlerdir (Arslan et al., 2015). Çalışma sonucunda PIPS sisteminin, düz kök kanallarında yapay olarak oluşturulmuş düzensizliklerden KH'nin tamamen kaldırdığını, buna karşın diğer sistemlerin tamamen uzaklaştırmada yetersiz olduğunu tespit etmişlerdir.

7. Endodontik cerrahide lazer

Er:YAG lazer endodontik cerrahi işlemlerde kesme işleminde kullanılmak üzere özellikle döner alet sistemlerine oranla bir alternatif olarak gösterilmiştir. Bunun başlıca nedenleri hassas oluşu, titreşim olmaması, postoperatif rahatsızlığın daha az olması, bakteriyel azalmaya olanak tanınması ve dişhekimleri ve hastalar için daha az stresli oluşudur (Araki et al., 2006). Pa-

ghdivala çekilmiş dişler üzerinde yaptığı bir araştırmada Er-YAG lazeri ıslak ve kuru alanlarda 50-90 mJ/pulse gücünde uygulayarak endodontik tedavi görmüş çekilmiş dişlerde kök rezeksiyonu gerçekleştirmiştir (Paghdwala, 1993). Lazer uygulanmış olan yüzeyler optik mikroskop ve SEM'de incelendiğinde ıslak hiçbir yüzeyde kömürleşme gözlemlenmemişler ve düzgün ve temiz rezeke edilmiş yüzeyler oluştuğunu gözlemişlerdir. Araştırmacı Erbium: YAG lazerin endodontik periapikal lezyonlarda uygulama potansiyeli olan bir lazer türü olduğuna dikkati çekmiştir. Bunun yanısıra, yumuşak doku ve kemik yüzeylerine erbiyum lazer uygulaması sonucu oluşan termal hasar ve karbonizasyon alanlarının diğer lazerlere oranla anlamlı derecede daha az olduğunu, buna bağlı olarak bu lazer uygulamasının iyileşmeyi artırarak işlem sonrası ağrıyı azaltacağı sonucuna varmıştır.

Gouw-Soares tarafından yapılmış olan ve Er:YAG lazer, (2.94 microm dalga boyu puls modu), Nd:YAG lazer (1.064 microm puls modu), ve Ga-Al-As lazerin, (790 nm, sürekli dalga modu) endodontik cerrahi işlemlerinde değişik aşamalarda kullanıldığı klinik bir araştırmada araştırmacılar bu üç lazer türünün apikal cerrahideki avantajlarını şu şekilde özetlemişlerdir; Er:YAG lazer osteotomi ve kök rezeksiyonu işlemlerini titreşimsiz, rahatsızlık olmadan ve cerrahi bölgede en az kontaminasyon ve dentin yüzeyinde smear tabakası oluşmadan olacak şekilde gerçekleştirmektedir. Fiber aracılığıyla uygulanan Nd:YAG lazer, dentin tübüllerinin örtülmesini ve bakteriyel azalmayı sağlamaktadır. Bunun yanısıra, Ga-Al-As lazer ile elde edilen daha başarılı iyileşme ve daha olumlu post-operatif dönem, bu lazerlerinde bu işlemlerde uygun şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Çalışmada olgular 3 yıl süresince izlenmiş ve periapikal radyolüsent alanda belirgin azalma gözlenmiş, ayrıca olgularda klinik belirtilere ve semptomlara rastlanmamıştır (Gouw-Soares et al., 2001).

Lazer uygulanması sonucunda retrograd kavitelerdeki geçirgenliğin değerlendirilmesi ve lazer sistemlerinin apikal cerrahi işlemlerdeki çok önemli bir unsur olan sızdırmazlık açısından incelenmesi diğer çalışmalara da konu olmuştur. Bunlardan biri de 2004 yılında Oliveira tarafından gerçekleştirilmiştir (Oliveira et al., 2004). Araştırmacılar in vitro koşullarda ve çekilmiş dişlerde gerçekleştirilen araştırmalarında Er:YAG and Nd:YAG lazerleri kullanılarak yapılan apikal cerrahi ve retrograd kavite preparasyonlarındaki dentin ve marjinal geçirgenliği metilen mavisi uygulayarak incelemişlerdir. Ayrıca yüzey değişiklikleri de SEM kullanılarak gözlenmiştir. Çalışma sonucunda lazer uygulanan dişlerde kontrol grubuna oranla daha düşük boya penetrasyonu olduğu saptanmış, mikroskop görüntülerinin de bu sonucu destekler nitelikte olduğu vurgulanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre Er-YAG lazer kullanılarak yapılan rezeksiyon ve bunu takiben dentin yüzeyine Nd:YAG lazer kullanılarak yapılan yüzey ışınlanması ve retrograd kavite preparasyonunun dentin geçirgenliğini azaltma açısından oldukça yararlı olaca-

ğı belirtilmiştir. Er:YAG lazerin endodontik cerrahi işlemlerindeki başarısı Karlovic ve ark. tarafından da gösterilmiştir (Karlovic et al., 2005). Araştırmacılar Er-YAG lazer ve ultrasonik alet kullanarak benzer retrograd kavite-ler açmış ve farklı retrograd dolgu materyalleri ile doldurmuşlardır. Er-YAG kullanılarak hazırlanan kavite-ler, diğer test edilen tüm materyallere oranla daha az sızıntıya yol açmıştır. Kök yüzeyine lazer uygulamasının oluşturabileceği ısı artışları üzerinde özellikle durulmuş ve değişik dalga boylarında ve uygulama sürelerinde lazer kullanılarak bu etki açısından değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Bir in vitro çalışmada Er-YAG lazer ile oluşabilecek ısı artışları rezeksiyon sırasında 3 farklı pals süresi kullanılarak incelenmiştir. (50 µs, 100 µs, ve 300 µs). Çalışmanın bulguları 50 µs pals süresi ile uygulanan lazerde en az ısı artışı olduğunu ve apisektomi işlemini en hızlı şekilde gerçekleştirildiğini ortaya koymuştur. Yazarlar bunun yanı sıra, Er:YAG lazerin apisektomi işlemlerinde tüm puls sürelerinde yeterli miktarda su olduğunda güvenle kullanılabilceğini vurgulamışlardır (Bodrumlu et al., 2012).

8. Diş beyazlatmada lazer

Dişlerin beyazlatılmasını etkileyen başlıca faktörler beyazlatma ajanının tipi, konsantrasyon ve uygulama zamanı, ısı, ışık veya lazer gibi bir hızlandırıcının kullanımı şeklinde sıralanabilir. Beyazlatma ajanı ışık veya lazerle aktive edildiğinde belli dalga boylarının fotobiyomodülasyon etkisi yüzünden diş ve dişeti hassasiyeti tetiklenebilmektedir. Işık kaynağı kullanılan ve kullanılmayan peroksit preparatlarının in vitro deneysel çalışmalarında ışık kaynağı grubunun daha iyi olduğunu söyleyen ya da fark olmadığını gösteren çalışmalara rastlanmaktadır. Lazer uygulamalarının denendiği çalışmalar da benzer sonuçlar vermektedir. Catalayud ve ark.nın yaptıkları bir çalışmada peroksidin 380-530 nm dalga boyundaki diod lazerle aktivasyonunun beyazlatma etkinliğine bir katkısı olmadığı belirtilmiştir (Calatayud et al., 2010).

Benzer olarak, LED ışık ve Diod lazerin peroksit aktivasyonunun karşılaştırıldığı in vitro bir çalışmada LED ışık kaynağının yeterli derinlikte beyazlatma yaptığı lazerin ek bir faydasının olmadığı belirtilmiştir (Torres et al., 2011).Yapılan beyazlatmanın kalıcılığının denendiği bir çalışmada Hahn ve ark. %38'lik hidrojen perokside halojen lamba, LED ışık, lazer uygulamışlar, sonuçta en kalıcı beyazlığın halojen lamba ile sağlandığını yayınlamışlardır. Bu çalışmada en fazla pulpal ısı artışı ise halojen lamba ve lazer grubunda meydana gelmiş LED ve ışık kaynağı uygulanmayan grupta ise anlamlı bir ısı farkı belirtilmemiştir. Bu araştırmacılar 3 aylık beyazlatma kalıcılığı dikkate alındığında hiçbir ışık kaynağının sadece kimyasal uygulamayla yapılan yöntemde daha üstün olmadığı sonucuna varmışlardır (Hahn et al., 2013). Zhang ve ark. belki de ilk kez ND:YAG lazerin bir tipi olan KTP (potasyum titanil fosfat) lazerin karşılaştırılmalı olarak kullanıldığı hidrojen peroksit aktivasyon deneyinde KTP lazerin diod lazerden daha etkili olduğunu belirtmiştir (Zhang et al., 2007). Diod lazer 810 nm dalga boyuna sahipken KTP lazer 532

nm dalga boyuna sahiptir. İkisinin ortak özellikleri kızıl ötesine yakın gözle görülen ışın olmalarıdır.

Bu arada göz ardı edilmemesi gereken diğer bir konu da ışınla aktive edilen hidrojen peroksidin ısısının artmasıdır. Lagori ve ark. bu noktada diod lazerin pulpa hasarının ortaya çıkabileceği kritik ısı olan 10 °C'lik ısı artışına sebep olmadığını belirtmekle beraber KTP lazerin daha az ısı artışına sebep olduğunu belirtmişlerdir (Lagori et al., 2014). Yapılan çalışmalar yüksek konsantrasyon hidrojen peroksidin aktive edilmediği durumlarda bile hassasiyet oluşturduğunu göstermektedir. Aktive edildiğinde ise daha da fazla diş hassasiyeti kaçınılmaz olmaktadır (He et al., 2012). Bu nedenle hassasiyetten kaçınmak için ışık ya da lazer aktivasyonunun sadece düşük konsantrasyonda peroksit için gerektiği de kabul edilmiş bir kural gibi görünmektedir (He et al., 2012). KTP lazer Nd:YAG lazerin bir tipidir ve Nd:YAG lazerin sahip olduğu 1064 nm dalga boyunun tam yarısına yani 532 nm dalga boyu sahiptir. KTP lazerin görülebilen yeşil ışığı melanin ve hemoglobin tarafından iyi soğurulduğu ancak suda soğurulmadığı bilinmektedir (Kinoshita et al., 2009). KTP lazerin bu özelliği beyazlatma için çok avantajlı gibi görünmektedir. Çünkü dentinin büyük bir kısmı sudur ve bu sayede KTP dentinde hasar oluşturmayabilir. Gelecekteki çalışmalarla KTP lazerin diğer özellikleri de araştırılacak gibi görünmektedir (Kinoshita et al., 2009).

Uygun olmayan parametrelerde lazer kullanımı ve sonrasında oluşabilecek ısı artışı, soğuma esnasında diş dokularında istenmeyen mikro çatlaklar ve topografik değişiklikler oluşturabilmektedir (Joiner, 2007). Lazer cihazlarının pahalı oluşu ve tüm lazerlerin her olguda kullanılmıyor olması da dezavantajları arasındadır. Bu bilgiler ışığında endodontide lazer kullanımı ile ilgili detaylı in-vivo çalışmaların artırılması gerekmektedir.

Kaynakça

- Adrian, R. J. (1993). Selected papers on laser Doppler velocimetry.
- Affairs, A. C. O. S. (1998). Laser-assisted bleaching: An update. *The Journal of the American Dental Association*, 129(10), 1484-1487.
- Ali, M. N., Hossain, M., Nakamura, Y., Matsuoka, E., Kinoshita, J.-I., & Matsumoto, K. (2005). Efficacy of root canal preparation by Er, Cr: YSGG laser irradiation with crown-down technique in vitro. *Photomedicine and Laser Therapy*, 23(2), 196-201.
- Anić, I., Tachibana, H., Masumoto, K., & Qi, P. (1996). Permeability, morphologic and temperature changes of canal dentine walls induced by Nd: YAG, CO₂ and argon lasers. *International endodontic journal*, 29(1), 13-22.
- Anjo, T., Ebihara, A., Takeda, A., Takashina, M., Sunakawa, M., & Suda, H. (2004). Removal of two types of root canal filling material using pulsed Nd: YAG laser irradiation. *Photomedicine and Laser Therapy*, 22(6), 470-476.
- Araki, Â. T., Ibraki, Y., Kawakami, T., & Lage-Marques, J. L. (2006). Er: Yag laser irradiation of the microbiological apical biofilm. *Brazilian dental journal*, 17, 296-299.
- Aranha, A. C. C., & de Paula Eduardo, C. (2012). Effects of Er: YAG and Er, Cr: YSGG lasers on dentine hypersensitivity. Short-term clinical evaluation. *Lasers in medical science*, 27, 813-818.
- Arslan, H., Akcay, M., Capar, I., Saygili, G., Gok, T., & Ertas, H. (2015). An in vitro comparison of irrigation using photonitiated photoacoustic streaming, ultrasonic, sonic and needle techniques in removing calcium hydroxide. *International endodontic journal*, 48(3), 246-251.
- Bader, C., & Krejci, I. (2006). Indications and limitations of Er: YAG laser applications in dentistry. *American journal of dentistry*, 19(3), 178.
- 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.
- Beldüz, N., Yilmaz, Y., Özbek, E., Kalkan, Y., & Demirci, T. (2010). The effect of neodymium-doped yttrium aluminum garnet laser irradiation on rabbit dental pulp tissue. *Photomedicine and Laser Surgery*, 28(6), 747-750.
- Birang, R., Poursamimi, J., Gutknecht, N., Lampert, F., & Mir, M. (2007). Comparative evaluation of the effects of Nd: YAG and Er: YAG laser in dentin hypersensitivity treatment. *Lasers in medical science*, 22, 21-24.
- Bodrumlu, E., Keskiner, İ., Sumer, M., Sumer, A. P., & Telcioglu, N. T. (2012). Temperature variation during apicectomy with Er: YAG laser. *Photomedicine and Laser Surgery*, 30(8), 425-428.

- Bonin, P., Boivin, R., & Poulard, J. (1991). Dentinal permeability of the dog canine after exposure of a cervical cavity to the beam of a CO₂ laser. *Journal of Endodontics*, 17(3), 116-118.
- Brännström, M., Lindén, L., & Åström, A. (1967). The hydrodynamics of the dental tubule and of pulp fluid: a discussion of its significance in relation to dentinal sensitivity. *Caries research*, 1(4), 310-317.
- Calatayud, J. O., Calatayud, C. O., Zaccagnini, A. O., & Box, M. (2010). Clinical efficacy of a bleaching system based on hydrogen peroxide with or without light activation. *Eur J Esthet Dent*, 5.
- Carrotte, P. (2004). Endodontics: Part 7 Preparing the root canal. *British dental journal*, 197(10), 603-613.
- Cohen, S., & Liewehr, F. (2002). Diagnostic procedures. *Pathways of the pulp*, 8, 3-30.
- Corrêa Aranha, A. C., Domingues, F. B., Franco, V. O., Gutknecht, N., & De Paula Eduardo, C. (2005). Effects of Er: YAG and Nd: YAG lasers on dentin permeability in root surfaces: a preliminary in vitro study. *Photomedicine and Laser Therapy*, 23(5), 504-508.
- De Magalhães, M. F., Matson, E., De Rossi, W., & Bento Alves, J. (2004). A morphological in vitro study of the effects of Nd: YAG laser on irradiated cervical dentin. *Photomedicine and Laser Therapy*, 22(6), 527-532.
- Dederich, D. N. (1993). Laser/tissue interaction: what happens to laser light when it strikes tissue? *Journal of the American Dental Association* (1939), 124(2), 57-61.
- Dederich, D. N., & Bushick, R. D. (2004). Lasers in dentistry: separating science from hype. *The Journal of the American Dental Association*, 135(2), 204-212.
- Demidova, T., & Hamblin, M. (2004). Photodynamic therapy targeted to pathogens. *International journal of immunopathology and pharmacology*, 17(3), 245-254.
- Dilsiz, A., Aydin, T., Canakci, V., & Gungormus, M. (2010). Clinical evaluation of Er: YAG, Nd: YAG, and diode laser therapy for desensitization of teeth with gingival recession. *Photomedicine and Laser Surgery*, 28(S2), S-11-S-17.
- Dilsiz, A., Canakci, V., Ozdemir, A., & Kaya, Y. (2009). Clinical evaluation of Nd: YAG and 685-nm diode laser therapy for desensitization of teeth with gingival recession. *Photomedicine and Laser Surgery*, 27(6), 843-848.
- DiVito, E., & Lloyd, A. (2012). ER: YAG laser for 3-dimensional debridement of canal systems: use of photon-induced photoacoustic streaming. *Dentistry today*, 31(11), 122, 124-127.
- DiVito, E., Peters, O. A., & Olivi, G. (2012). Effectiveness of the erbium: YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers in medical science*, 27, 273-280.
- Eriksson, A., & Albrektsson, T. (1983). Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. *The Journal of prosthetic dentistry*, 50(1), 101-107.

- Fayad, M. I., Carter, J. M., & Liebow, C. (1996). Transient effects of low-energy CO₂ laser irradiation on dentinal impedance: implications for treatment of hyper-sensitive teeth. *Journal of Endodontics*, 22(10), 526-531.
- Fekrazad, R., Seraj, B., Ghadimi, S., Tamiz, P., Mottahary, P., & Dehghan, M.-M. (2015). The effect of low-level laser therapy (810 nm) on root development of immature permanent teeth in dogs. *Lasers in medical science*, 30, 1251-1257.
- Ferriello, V., Faria, M. R., & Cavalcanti, B. N. (2010). The effects of low-level diode laser treatment and dental pulp-capping materials on the proliferation of L-929 fibroblasts. *Journal of Oral Science*, 52(1), 33-38.
- Gerek, M., Asci, S., & Yaylali, D. (2010). Ex vivo evaluation of antibacterial effects of Nd: YAG and diode lasers in root canals. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 24(3), 2031-2034.
- Gholami, G. A., Fekrazad, R., Esmail-Nejad, A., & Kalhori, K. A. (2011). An evaluation of the occluding effects of Er; Cr: YSGG, Nd: YAG, CO₂ and diode lasers on dentinal tubules: a scanning electron microscope in vitro study. *Photomedicine and Laser Surgery*, 29(2), 115-121.
- Goodis, H., White, J., Marshall, S., & Marshall Jr, G. (1993). Scanning electron microscopic examination of intracanal wall dentin: hand versus laser treatment. *Scanning microscopy*, 7(3), 22.
- Gouw-Soares, S., Tanji, E., Haypek, P., Cardoso, W., & Eduardo, C. d. P. (2001). The use of Er: YAG, Nd: YAG and Ga-Al-As lasers in periapical surgery: a 3-year clinical study. *Journal of clinical laser medicine & surgery*, 19(4), 193-198.
- Hahn, P., Schondelmaier, N., Wolkewitz, M., Altenburger, M. J., & Polydorou, O. (2013). Efficacy of tooth bleaching with and without light activation and its effect on the pulp temperature: an in vitro study. *Odontology*, 101, 67-74.
- Harashima, T., Takeda, F. H., Kimura, Y., & Matsumoto, K. (1997). Effect of Nd: YAG laser irradiation for removal of intracanal debris and smear layer in extracted human teeth. *Journal of clinical laser medicine & surgery*, 15(3), 131-135.
- Hasheminia, S. M., Feizi, G., Razavi, S. M., Feizianfard, M., Gutknecht, N., & Mir, M. (2010). A comparative study of three treatment methods of direct pulp capping in canine teeth of cats: a histologic evaluation. *Lasers in medical science*, 25, 9-15.
- He, L.-B., Shao, M.-Y., Tan, K., Xu, X., & Li, J.-Y. (2012). The effects of light on bleaching and tooth sensitivity during in-office vital bleaching: a systematic review and meta-analysis. *Journal of dentistry*, 40(8), 644-653.
- Hossain, M., Nakamura, Y., Yamada, Y., Kimura, Y., Matsumoto, N., & Matsumoto, K. (1999). Effects of Er, Cr: YSGG laser irradiation in human enamel and dentin: ablation and morphological studies. *Journal of clinical laser medicine & surgery*, 17(4), 155-159.
- Ipci, S. D., Cakar, G., Kuru, B., & Yilmaz, S. (2009). Clinical evaluation of lasers and sodium fluoride gel in the treatment of dentine hypersensitivity. *Photomedicine*

and Laser Surgery, 27(1), 85-91.

- Jahan, K. R., Hossain, M., Nakamura, Y., Yoshishige, Y., Kinoshita, J.-I., & Matsumoto, K. (2006). An assessment following root canal preparation by Er, Cr: YSGG laser irradiation in straight and curved roots, in vitro. *Lasers in medical science*, 21, 229-234.
- Joiner, A. (2007). Review of the effects of peroxide on enamel and dentine properties. *Journal of dentistry*, 35(12), 889-896.
- Judy, M. M., Matthews, J. L., Aronoff, B. L., & Hulst, D. F. (1993). Soft tissue studies with 805 nm diode laser radiation: thermal effects with contact tips and comparison with effects of 1064 nm Nd: YAG laser radiation. *Lasers in surgery and medicine*, 13(5), 528-536.
- Kaiwar, A., Usha, H., Meena, N., Ashwini, P., & Murthy, C. S. (2013). The efficiency of root canal disinfection using a diode laser: In vitro: study. *Indian Journal of Dental Research*, 24(1), 14-18.
- Kaptan, F., Karapinar-Kazandag, M., Kayahan, M. B., Bora, T., & Bayirli, G. (2012). Potential of an Er: YAG laser in the removal of calcium hydroxide from root canals. *Photomedicine and Laser Surgery*, 30(5), 250-254.
- Karlovic, Z., Pezelj-Ribaric, S., Miletic, I., Jukic, S., Grgurevic, J., & Anic, I. (2005). Erbium: YAG laser versus ultrasonic in preparation of root-end cavities. *Journal of Endodontics*, 31(11), 821-823.
- Keleş, A., Arslan, H., Kamalak, A., Akçay, M., Sousa-Neto, M. D., & Versiani, M. A. (2015). Removal of filling materials from oval-shaped canals using laser irradiation: a micro-computed tomographic study. *Journal of Endodontics*, 41(2), 219-224.
- Kimura, Y., Wilder-Smith, P., & Matsumoto, K. (2000). Lasers in endodontics: a review. *International endodontic journal*, 33(3), 173-185.
- Kimura, Y., Wilder-Smith, P., Yonaga, K., & Matsumoto, K. (2000). Treatment of dentine hypersensitivity by lasers: a review. *Journal of Clinical Periodontology: Review article*, 27(10), 715-721.
- Kinoshita, J.-I., Jafarzadehb, H., & Forghanib, M. (2009). Vital bleaching of tetracycline-stained teeth by using KTP laser: a case report. *European journal of dentistry*, 3(03), 229-232.
- Kishen, A. (2010). Advanced therapeutic options for endodontic biofilms. *Endodontic Topics*, 22(1), 99-123.
- Kneebone, W. J., Cnc, D., & FIAMA, D. (2006). Practical applications of low level laser therapy. *Pract Pain Manag*, 6(8), 34-40.
- Kokuzawa, C., Ebihara, A., Watanabe, S., Anjo, T., Bolortuya, G., Saegusa, H., & Suda, H. (2012). Shaping of the root canal using Er: YAG laser irradiation. *Photomedicine and Laser Surgery*, 30(7), 367-373.
- Ladalaro, T. C. C. G. P., Pinheiro, A., Campos, R. A. d. C., Brugnera Júnior, A., Zanin, F., Albernaz, P. L. M., & Weckx, L. L. M. (2004). Laser therapy in the treatment

of dentine hypersensitivity. *Brazilian dental journal*, 15, 144-150.

- Lagori, G., Vescovi, P., Merigo, E., Meleti, M., & Fornaini, C. (2014). The bleaching efficiency of KTP and diode 810 nm lasers on teeth stained with different substances: An in vitro study. *Laser Therapy*, 23(1), 21-30.
- Lan, W.-H., Chen, K.-W., Jeng, J.-H., Lin, C.-P., & Lin, S.-K. (2000). A comparison of the morphological changes after Nd-YAG and CO₂ laser irradiation of dentin surfaces. *Journal of Endodontics*, 26(8), 450-453.
- Lan, W.-H., & Liu, H.-C. (1996). Treatment of dentin hypersensitivity by Nd: YAG laser. *Journal of clinical laser medicine & surgery*, 14(2), 89-92.
- Lee, M. T., Bird, P. S., & Walsh, L. J. (2004). Photo-activated disinfection of the root canal: a new role for lasers in endodontics. *Australian Endodontic Journal*, 30(3), 93-98.
- Liu, H.-C., Lin, C.-P., & Lan, W.-H. (1997). Sealing depth of Nd: YAG laser on human dentinal tubules. *Journal of Endodontics*, 23(11), 691-693.
- Matsumoto, K., & Kimura, Y. (2007). Laser Therapy of Dentin Hypersensitivity. *Journal of Oral Laser Applications*, 7(1).
- Matsuoka, E., Jayawardena, J. A., & Matsumoto, K. (2005). Morphological study of the Er, Cr: YSGG laser for root canal preparation in mandibular incisors with curved root canals. *Photomedicine and Laser Therapy*, 23(5), 480-484.
- Meire, M., De Prijck, K., Coenye, T., Nelis, H., & De Moor, R. (2009). Effectiveness of different laser systems to kill *Enterococcus faecalis* in aqueous suspension and in an infected tooth model. *International endodontic journal*, 42(4), 351-359.
- Melcer, J. (1986). Latest treatment in dentistry by means of the CO₂ laser beam. *Lasers in surgery and medicine*, 6(4), 396-398.
- Miller, M., & Truhe, T. (1993). Lasers in dentistry: an overview. *Journal of the American Dental Association (1939)*, 124(2), 32-35.
- Minas, N. H., Meister, J., Franzen, R., Gutknecht, N., Lampert, F., & Mir, M. (2009). In vitro preliminary study to evaluate the capability of Er, Cr: YSGG laser in posterior teeth root-canal preparation with step-back technique. *Lasers in medical science*, 24, 7-12.
- Mohammadi, Z. (2009). Laser applications in endodontics: an update review. *International dental journal*, 59(1), 35-46.
- Moritz, A., Gutknecht, N., Schoop, U., Wernisch, J., Lampert, F., & Sperr, W. (1995). Effects of CO₂ laser irradiation on treatment of hypersensitive dental necks: results of an in vitro study. *Journal of clinical laser medicine & surgery*, 13(6), 397-400.
- Moritz, A., Schoop, U., Goharkhay, K., & Sperr, W. (1998). The CO₂ laser as an aid in direct pulp capping. *Journal of Endodontics*, 24(4), 248-251.
- Moritz, A., Schoop, U., Strassl, M., & Wintner, E. (2006). Cavity preparation. Oral laser application,

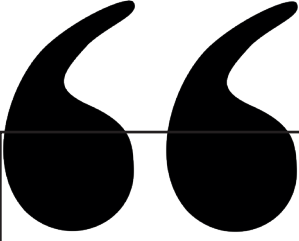
- Myers, T. (1991). Lasers in dentistry; their application in clinical practice. *JADA*, 122, 47-50.
- Nair, P. R., Baltensperger, M. M., Luder, H. U., & Eyrich, G. K. (2003). Pulpal response to Er: YAG laser drilling of dentine in healthy human third molars. *Lasers in surgery and medicine*, 32(3), 203-209.
- Oliveira, R., Gouw-Soares, S., Baldochi, S., & Eduardo, C. (2004). Scanning electron microscopy (SEM) and optical microscopy: effects of Er: YAG and Nd: YAG lasers on apical seals after apicoectomy and retrofill. *Photomedicine and Laser Therapy*, 22(6), 533-536.
- Olivi, G., Genovese, M., Maturo, P., & Docimo, R. (2007). Pulp capping: advantages of using laser technology. *Eur J Paediatr Dent*, 8(2), 89-95.
- Olivi, G., & Genovese, M. D. (2006). Erbium chromium laser in pulp capping treatment. *Journal of Oral Laser Applications*, 6(4).
- Oskoe, S. S., Oskoe, P. A., Navimipour, E. J., Ajami, A. A., Azar, F. P., Rikhtegaran, S., & Amini, M. (2013). Comparison of the effect of Nd: YAG and diode lasers and photodynamic therapy on microleakage of class V composite resin restorations. *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects*, 7(2), 74.
- Önal, B. (1993). Diş sert dokularında laser kullanımı. *Diş Hek K Derg*, 2, 61-64.
- Paghdiwala, A. (1993). Root resection of endodontically treated teeth by erbium: YAG laser radiation. *Journal of Endodontics*, 19(2), 91-94.
- Pescheck, A., & Moritz, A. (2006). Pulp capping and pulpotomy in permanent and primary teeth. *Oral Laser Application. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH*, 315-331.
- Peters, O. A. (2004). Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *Journal of Endodontics*, 30(8), 559-567.
- Pick, R. M. (1993). Using lasers In clinical denial practice. *The Journal of the American Dental Association*, 124(2), 37-47.
- Pirnat, S., Lukac, M., & Ihan, A. (2011). Study of the direct bactericidal effect of Nd: YAG and diode laser parameters used in endodontics on pigmented and non-pigmented bacteria. *Lasers in medical science*, 26, 755-761.
- Pitt Ford, T. R., & Patel, S. (2004). Technical equipment for assessment of dental pulp status. *Endodontic Topics*, 7(1), 2-13.
- Preehee, T., Kandaswamy, D., Arathi, G., & Hannah, R. (2012). Bactericidal effect of the 908 nm diode laser on *Enterococcus faecalis* in infected root canals. *Journal of conservative dentistry*, 15(1), 46-50.
- Rooney, J., Midda, M., & Leeming, J. (1994). A laboratory investigation of the bactericidal effect of a NdYAG laser. *British dental journal*, 176(2), 61-64.
- Rowe, A., & Ford, T. P. (1990). The assessment of pulpal vitality. *International endodontic journal*, 23(2), 77-83.
- Ruddle, C. J. (2010). Filling root canal systems: the Calamus 3-D obturation technique.

Dent Today, 29(4), 78-81.

- SANTUCCI, P. J. (1999). Dycal versus Nd: YAG laser and Vitrebond for direct pulp capping in permanent teeth. *Journal of clinical laser medicine & surgery*, 17(2), 69-75.
- Schlafer, S., Vaeth, M., Hørsted-Bindslev, P., & Frandsen, E. V. (2010). Endodontic photoactivated disinfection using a conventional light source: an in vitro and ex vivo study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 109(4), 634-641.
- Schoop, U., Kluger, W., Moritz, A., Nedjelik, N., Georgopoulos, A., & Sperr, W. (2004). Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*, 35(2), 111-116.
- Soares, F., Varella, C. H., Pileggi, R., Adewumi, A., & Guelmann, M. (2008). Impact of Er, Cr: YSGG laser therapy on the cleanliness of the root canal walls of primary teeth. *Journal of Endodontics*, 34(4), 474-477.
- Suzuki, M., Katsumi, A., Watanabe, R., Shirono, M., & Katoh, Y. (2005). Effects of an Experimentally Developed Adhesive Resin System and CO₂ Laser Irradiation on Direct Pulp Capping. *OPERATIVE DENTISTRY-UNIVERSITY OF WASHINGTON*, 30(6), 702.
- Suzuki, M., Ogisu, T., Kato, C., Shinkai, K., & Katoh, Y. (2011). Effect of CO₂ laser irradiation on wound healing of exposed rat pulp. *Odontology*, 99, 34-44.
- Tanboga, I., Eren, F., Altınok, B., Peker, S., & Ertugral, F. (2011). The effect of low level laser therapy on pain during dental tooth-cavity preparation in children. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 12, 93-95.
- Todea, C., Kerezi, C., Balabuc, C., Calniceanu, M., & Filip, L. (2008). Pulp Capping-from Conventional to Laser-assisted Therapy (I). *Journal of Oral Laser Applications*, 8(2).
- Torres, C. R. G., Barcellos, D. C., Batista, G. R., Borges, A. B., Cassiano, K. V., & Pucci, C. R. (2011). Assessment of the effectiveness of light-emitting diode and diode laser hybrid light sources to intensify dental bleaching treatment. *Acta Odontologica Scandinavica*, 69(3), 176-181.
- Türkmen, C., Günday, M., Karaçorlu, M., & Başaran, B. (2000). Effect of CO₂, Nd: YAG, and ArF excimer lasers on dentin morphology and pulp chamber temperature: an in vitro study. *Journal of Endodontics*, 26(11), 644-648.
- van As, G. (2004). Erbium lasers in dentistry. *Dental Clinics*, 48(4), 1017-1059.
- Vezzani, M. S., Pietro, R., Silva-Sousa, Y., Brugnera-Junior, A., & Sousa-Neto, M. D. (2006). Disinfection of root canals using Er: YAG laser at different frequencies. *Photomedicine and Laser Therapy*, 24(4), 499-502.
- Walsh, L. (1997). The current status of low level laser therapy in dentistry, Part 1. Soft tissue applications. *Australian dental journal*, 42(4), 247-254.
- Walsh, L. (2003). The current status of laser applications in dentistry. *Australian dental*

journal, 48(3), 146-155.

- Wang, Q.-q., Zhang, C.-f., & Yin, X.-z. (2007). Evaluation of the bactericidal effect of Er, Cr: YSGG, and Nd: YAG lasers in experimentally infected root canals. *Journal of Endodontics*, 33(7), 830-832.
- West, N. X. (2008). Dentine hypersensitivity: preventive and therapeutic approaches to treatment. *Periodontology 2000*, 48(1).
- White, J. M., Fagan, M. C., & Goodis, H. E. (1994). Intrapulpal temperatures during pulsed Nd: YAG laser treatment of dentin, in vitro. *Journal of Periodontology*, 65(3), 255-259.
- Whitters, C., Hall, A., Creanor, S., Moseley, H., Gilmour, W., Strang, R., Saunders, W., & Orchardson, R. (1996). A clinical study of pulsed Nd: YAG laser-induced pulpal analgesia. *Journal of dentistry*, 1(24), 151.
- Wigdor, H., Abt, E., Ashrafi, S., & Walsh Jr, J. T. (1993). The effect of lasers on dental hard tissues. *Journal of the American Dental Association (1939)*, 124(2), 65-70.
- Yasuda, Y., Kawamorita, T., Yamaguchi, H., & Saito, T. (2010). Bactericidal effect of Nd: YAG and Er: YAG lasers in experimentally infected curved root canals. *Photomedicine and Laser Surgery*, 28(S2), S-75-S-78.
- Yasuda, Y., Ohtomo, E., Tsukuba, T., Okamoto, K., & Saito, T. (2009). Carbon dioxide laser irradiation stimulates mineralization in rat dental pulp cells. *International endodontic journal*, 42(10), 940-946.
- Yazdanfar, I., Gutknecht, N., & Franzen, R. (2015). Effects of diode laser on direct pulp capping treatment: a pilot study. *Lasers in medical science*, 30, 1237-1243.
- Yilmaz, H. G., Kurtulmus-Yilmaz, S., Cengiz, E., Bayindir, H., & Aykac, Y. (2011). Clinical evaluation of Er, Cr: YSGG and GaAlAs laser therapy for treating dentine hypersensitivity: A randomized controlled clinical trial. *Journal of dentistry*, 39(3), 249-254.
- Zakariasen, K., & Dederich, D. (1991). Dental lasers and science. *Journal (Canadian Dental Association)*, 57(7), 570-573.
- Zhang, C., Wang, X., Kinoshita, J.-I., Zhao, B., Toko, T., Kimura, Y., & Matsumoto, K. (2007). Effects of KTP laser irradiation, diode laser, and LED on tooth bleaching: a comparative study. *Photomedicine and Laser Surgery*, 25(2), 91-95.



Bölüm 6

MELKERSSON-ROSENTHAL SENDROMU TANISI, ETİYOLOJİSİ VE TEDAVİ YÖNTEMLERİ : BİR DERLEME

Nazan KOÇAK TOPBAŞ¹

Lütfiye BAYSAL²

1 Doç. Dr. Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Radyolojisi,
0000-0002-3717-2098, nazannkocak@gmail.com

2 Dt. Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Radyolojisi,
0009-0007-8509-3523,lutfiyerose10@gmail.com

GİRİŞ

Melkersson–Rosenthal sendromu (MRS), yaşamın 2. ve 3. dekantlarında ortaya çıkan tekrarlayan orofasiyal ödem, tekrarlayan yüz felci ve fissürlü dil olmak üzere üç ana semptomla ilişkili nadir bir nöro-mukokutanöz granülo-matöz hastalıktır (1). MRS'nin dünya nüfusunun yaklaşık %0,08'ini etkilediği belirtilmiştir (2). Tarihsel olarak, bu hastalığın ilk vakası 1928'de Melkersson tarafından dudak ödemi ve aralıklı periferik yüz felci olan bir kadında gözlemlenmiştir; daha sonra, Rosenthal 1931'de bu tür hastalarda fissürlü dilin varlığını fark etmiş ve bunu semptomlar listesine ekleyerek MRS'yi tanımlamıştır (3-5). Etiyolojisi hala bilinmemektedir; viral enfeksiyonlar, immünolojik bozukluklar, alerjik faktörler ve kalıtsal genlerin hastalığın yayılmasıyla ilişkili olabileceği öne sürülmektedir. Birçok yazar anti-SS-A anti-RNP otoantikoruna yüksek pozitiflik ve anjiyotensin dönüştürücü enzimin serum seviyelerinin yükselmesi nedeniyle bunun bir otoimmün bozukluk olabileceğini öne sürmektedir (6-8). Orofasiyal şişlik, orofasiyal granülo-matozis (OFG) olarak da tanımlanır, hastanın tüm yüzünü ilgilendirebilen ve histolojik olarak "Sarkoidoz ve Crohn hastalığından ayırt edilemeyen kazeifiye olmayan epiteloïd hücre granülo-malarının ve lenfödem varlığı" ile tanımlanan yumuşak dokuların ödemi ile karakterize bir durumdur. Eğer şişlik dudaklarla ilgiliyse OFG'ye granülo-matöz keilit (GC) diyebiliriz ve bu MRS'nin ilk ve en yaygın semptomudur (3). Şişlik genellikle üst dudakta oluşur, ancak alt dudakta, dilde ve yanakta da görülebilir. Yüz şişliğinde ağrı ve çukurlaşma yoktur. Şişlik kısmi veya çözülmemiş ise yüzde uzun süreli deformasyona ve fibrozise neden olabilir (9). Nadiren görülen bir diğer semptom da yüz felcidir. Yüz felci sıklıkla klinik olarak Bell felciyle karıştırılır, bu tür felç iki taraflı olabilir ve Bell felcinden daha şiddetli olabilir. Çatlak dil veya "lingua plicata", doğuştan ve iyi huylu olabilen idiyopatik bir durumdur, ancak bu iki semptomdan en az biriyle (ve özellikle GC ile) ilişkiliyse MRS'nin karakteristiği olabilir. Epidemiyoloji açısından, MRS'nin görülme sıklığının ırksal ve/veya coğrafik bir tercihi olmamakla birlikte diğer otoimmün hastalıklar gibi kadınlarda daha sık görülür (3,10).

TARTIŞMA

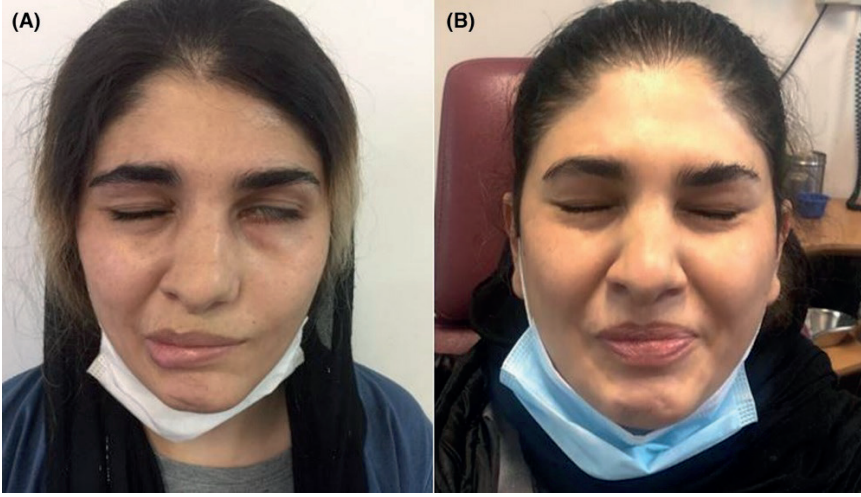
MRS mono- veya oligosemptomatik bir bozukluk olarak ortaya çıkabilir. Çoğu durumda MRS genellikle klasik klinik üçlüyü sunmaz ve monosemptomatik olarak karşımıza çıkar. Bu yüzden tanısı zordur (5,11). Tanısının zorluğundan dolayı eksik ve yanlış teşhis edilmiş hastalık olarak kabul edilmektedir. İnsidansı ise Wehl ve ark. ve Zewde'ye göre, daha çok yaşamın ikinci ve üçüncü onyıllarında ortaya çıkar ve erkeklerden çok kadınları tercih eder (2). En sık görülen semptom, MRS tanısının %80-100'ünde bildirilen orofasiyal granülo-matozistir (4). OFG baş ve boyun bölgesinin intra ve ekstraoral mukozal dokularını etkileyen, etiyolojisi bilinmeyen nadir ve kronik bir inflamatuvar durum olarak tanımlanır (4,11). En çok etkilediği yer üst dudaktır.

Vaka serileri hastaların %71-%96'sında dudaklarda ödem ve şişlik olduğunu bildirmektedir (12,13). Daha sonra alt dudağı, yanağı, bukkal mukozayı, göz kapağını etkileyebilir ve hatta hastanın tüm yüzünü daha geniş bir şekilde etkileyebilir (4,11). Sadece dudaklarda görölmesi durumunda, keilitis granü-lomatoza (CG) olarak adlandırılabilir. OFG ve CG'yi karakterize eden öde-min tipik olarak akut, ağrısız ve çukur oluşturmayan olduğu ve histopatolojik olarak kazeifiye olmayan epitelooid hücreli granülomların ve lenfödemin var-lığıyla belirgin olduğu literatürde desteklenmektedir (2). OFG ve CG tanımı konusunda literatürde fikir ayrılıkları vardır: CG, granülatöz inflamasyo-na bağlı olarak dudakların kronik şişmesidir ve ilk kez 1945 yılında Miescher tarafından tanımlanmıştır ve Miescher keilit olarak da adlandırılır (3,5). OFG, ilk kez 1985 yılında Wiesenfeld tarafından kullanılan ve hem MRS'yi hem de CG'yi kapsayan genel bir terimdir (3,5). Histopatolojik olarak, bu iki durum birbirine çok benzer ve Crohn hastalığı veya sarkoidozdan ayırt edilemeyen kazeifiye olmayan epitelooid hücre granülomları gösterebilir veya göstermeyebilirler. Bu nedenle histoloji CG veya OFG tanısı için altın stan-dart olarak kabul edilemez. Hem OFG hem de CG'nin MRS'nin monosemp-tomatik bir formunu temsil edebileceği anlaşılmıştır ve CG'nin en sık göröl-en semptom olduğu belirtilmiştir (3). Güncel literatüre göre, MRS'de orofasiyal ödem gelişiminde iki faz vardır. Birinci faz erken, tekrarlayan inflamatuvar faz ve sonunda ikinci faz sessiz, inflamatuvar olmayan fazdır. En az bir yıl boyunca semptomlarda kötölēme olmadığında, Worsae ve arkadaşları has-talığı inaktif ve inflamatuvar olmayan fazda olarak değerlendirdiler (14). Tıbbi tedavi tek başına makrokeiliyi düzeltmede genellikle yetersiz kalmakta ve kalıcı estetik ve işlevsel bozukluklara neden olmaktadır. Bu durum muhteme-len kısmen, lenfoplazmasitik inflamatuvar ve granülatöz infiltratlar fibroza ilerledikçe hastalık geliştikçe oluşan geri döndürülemez yumuşak doku deği-şikliklerinden kaynaklanmaktadır (15). Cerrahi tedavi, özellikle redüksiyon keioplastisi, tatmin edici uzun vadeli sonuçlarla kalıcı tıbbi tedaviye dirençli makrokeili için etkili bir tedavi olduğu gösterilmiştir. Kama rezeksiyonları, fissürler için z-plasti ile kama rezeksiyonu, transmodiolar labial süspansiyon sütürü ile fleur-de-lis rezeksiyonu, orbicularis'in tanjansiyel rezeksiyonu ile birlikte transvers yarım ay kesisi(conway yöntemi) ve Mouly yöntemi dahil olmak üzere birden fazla cerrahi yaklaşım tanımlanmıştır (16).



ŞEKİL 1: Keilitis granülomatoza (CG) (16)

MRS oligosemptomatik bir form olarak ortaya çıkabilir ve bu durumda yüz felci ikinci en yaygın semptomdur. Literatürde bulunan verilere göre, hastaların %30-80'inde yüz siniri felci görülmektedir (4,11). Klinik olarak Bell felci ile karıştırılabilir ve bu da MRS'nin yanlış tanısına yol açar. Yüz sinir felci daha çok yedinci sinirin tek taraflı ve tekrarlayan, kısmi veya tam felci olarak görülür. Felç atakları genellikle Bell felcinden daha uzun sürer ve bu tür felçler sinir dokusunun fibrozuna yol açabileceğinden daha kötü prognoza sahiptir (11). Tekrarlayan yüz felçlerinde yapılabilecek tedavilerden biri cerrahi yaklaşımdır. Total fasiyal sinir dekompresyonu, kombine trans-mastoid ve orta kranial fossa yaklaşımıyla yapılabilir. Fasiyal sinir, internal işitsel meatustan stilomastoid foramene kadar dekompresyona uğrattılır. Bu yaklaşımda iletim tipi işitme kaybı meydana gelebilir (17). Elektrofizyolojik bir çalışmaya göre, yüz felcinin sık görülen vakalarında, atak geçirenlere kıyasla aksiyon potansiyeli aralığının daha az olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte yüz felci gerçekleşme riski her tekrarlama artar; ikinci vakada %15'ten dördüncü vakada %50'ye çıkar. MRS'de yüz felcini tedavi etmek için cerrahi müdahalenin kullanılıp kullanılmaması hala tartışmalıdır. Araştırmaların çoğunluğu, uyarılmış elektromiyografinin (E-EMG) %90-%95'ten fazla yüz siniri dejenerasyonu göstermesi durumunda cerrahi müdahalenin faydalı olduğunu göstermiştir. Fisch'in çalışmasında, Bell felci hastalarının 14. günde %95'ten fazla tahriş etmeyen lif mevcutsa iyileşme olasılığı %50'den azken, cerrahi dekompresyon geçirenlerin %78,8'i iyi iyileşme göstermiştir (18). Bir çalışmada, Dai ve meslektaşları %95'ten fazla yüz siniri dejenerasyonu olan ve prednizolon tedavisi öyküsü olan hastaları incelemişlerdir. Ameliyattan sonra hastaların %87,5'i I veya II. derece HB'ye iyileşirken, üçü tamamen iyileştiği görülmüştür (19).



ŞEKİL 2: Bilateral periferik fasiyal paralizi (17)

MRS ile ilişkili son semptom lingua plicata veya skrotal veya fissürlü dildir. Genel popülasyonda tahmini %0,5-5 insidansı olan bir gelişimsel malformasyon olarak kabul edilir (9,11,20,21). Fissürlü dil idiyopatik de olabilir ve MRS'ye dahil olmayabilir, ancak literatürdeki verilere göre MRS'den şüphelenilen hastaların %30-80'inde fissürlü dil görülr (9,11,21).



ŞEKİL 3 : Fissürlü dil veya lingua plicata (2)

Bu üç semptomdan ikisinin varlığında MRS tanısı koyabilmek oldukça kolaydır. MRS klinik bir sendrom olarak tanımlanabilir (11,15,21-23). Bu, tanı koymak için histoloji gerektirmediği anlamına gelir. Daha önce de söylendiği gibi, MRS tanısını garanti edebilecek tipik histolojik özellikler yoktur ve aynı

zamanda, belirli bir tanıyı doğrulayabilecek spesifik biyobelirteçler veya görüntüleme testleri yoktur. Gaviano ve ark. tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışmada, MRS'den etkilenen 47 hastanın oral lezyonlarının histopatolojik yönleri incelenerek, MRS tanısının ihmal edilemez zorluğunun ardından histopatolojik özellikleri daha iyi tanımlanmıştır. Sonuçlar, en yaygın biyopsi bölgesinin üst dudak, ardından sırasıyla alt dudak, dış eti ve damak olduğunu göstermiştir. En önemli bulgular, iyi tanımlanmamış ve iyi biçimlenmiş granülomlardır. MRS'nin erken ve geç evrelerinde lenfoplazmasitik inflamatuvar infiltrat gözlemlenmiştir. Lamina propriada en sık görülen bulgular ödem, fibroz, vazodilatasyon ve konjesyondur. Dış eti ve palatinal muayenelerde de granümatöz infiltratlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, oral bulguların histopatolojik incelemesi MRS tanısında yardımcıdır; bununla birlikte granümatöz inflamasyonun olmaması sendromun tanısını dışlamaz. Nadir görülen gingival ve damak lezyonlarının klinik ve histopatolojik analizi önemlidir, çünkü hastalığın tüm histopatolojik bulguları bu bölgelerde bulunmuştur (11,22,23). MRS'li hastalar Crohn hastalığı açısından araştırılmalıdır, çünkü bu bozuklukla ilişkisi literatürde yer almaktadır (9). Sarkoidoz ve Crohn hastalığı gibi diğer bozuklukları ekarte etmek için histopatoloji kullanılabilir. Çok çekirdekli Langhans tipi dev hücreler, perivasküler mononükleer inflamatuvar infiltrasyon, ödem, kazeifiye olmayan epitel hücre granülomları ve fibrozis ayırt edici histolojik özellikler arasındadır (9,11). MRS hakkında yapılan hipotezlerden diğeri sistemik lupus eritematozus (SLE) veya sklerodermi gibi karma bağ dokusu hastalıklarının (MCTD) erken bir belirtisi olarak görülebileceğidir. Bu teoriye göre MRS · nörolojik fonksiyonların ve tüm vücudun daha fazla tutulumuyla, daha geniş bir hastalığın birincil belirtisi olarak görülebilir. Fakat bu teori hakkında daha fazla araştırma yapılarak detaylı analize ihtiyaç vardır (3,7). Viral veya bakteriyel bir enfeksiyonun hastalığın ortaya çıkışında tetikleyici olarak davranabileceğine ve bunun da bağışıklık sistemini harekete geçirerek kendine ait olmayan antijenlere karşı anormal bir tepkiye yol açabileceğine inanılmaktadır (11). Yapılan çalışmalarda SARS-Cov-2 virüsü ve MRS enfeksiyonu arasında ilginç bir ilişki ortaya atılmıştır. Hastalığın tipik pulmoner sunumunun ötesinde, tüm vücudu ve dolayısıyla ağzı da etkileyebileceği iyi bilinmektedir. Virüsün, akciğerlerde, tükürük bezlerinde ve dilin yüzeyinde aşırı derecede var olan anjiyotensin dönüştürücü enzim 2 (ACE-2) reseptörleri yoluyla insan hücrelerine girdiği güçlü bir şekilde desteklenmektedir (15,22). Virüs, birincil olarak dili etkilediği için oral lezyonlara da neden olabileceği oldukça açıktır. Bu nedenle, COVID-19 enfeksiyonunun orofaringeal yolda neden olduğu tipik lezyonlar, disgeuzi ve ageuzi, tüm oral kavite ve coğrafi dilde ülserasyonlar ve peteşilerdir (24). COVID-19 enfeksiyonu arasındaki ilişki şimdiye kadar literatürde birkaç vakada bildirilmiştir. Taşlıdere ve ark. 51 yaşında, MRS tanısı almış ve şiş dudak ve SARS-Cov-2 semptomlarıyla dikkatlerine gelen bir kadın vakasını bildirdi. Bir dizi laboratuvar testi, kadının COVID-19 enfeksiyonu geçirdiğini ve histopato-

lojik olarak granülomlar, Langhans dev hücreleri ve mast hücrelerini içeren iltihap alanları olarak tanımlanan şiş dudağın MRS'nin alevlenmesi olarak adlandırılabilceğini ortaya koydu. Mast hücrelerinin, bağışıklık tepkisinin oluşumundaki rolleri nedeniyle COVID-19 semptomlarının ortaya çıkışı ile MRS arasındaki bağlantı olduğuna inanılmaktadır (25). RCP, COVID-19 enfeksiyonuyla ilişkili MRS'nin ortaya çıkışında rol oynadığına inanılan sitokinlerin bir parçası olan proteindir. Yüksek RCP seviyeleri COVID-19 hastalarında ve MRS hastalarında da tespit edilir. Bununla birlikte, enfeksiyonlarla ve özellikle SARS-Cov-2 ile ilişkiye dair bu hipotezin daha fazla araştırmaya ihtiyaı vardır (24,26). Literatüre göre semptomatik MRS için standardize bir tedavi bulunmamaktadır. Genellikle yüz şişliğini azaltmak ve yedinci sinirin kompliyansını yeniden sağlamak için kortikosteroidler önerilmektedir. Topikal veya sistemik kortikosteroidlerin kullanımı hastalığın şiddetine bağlıdır (13). Genellikle prednizon veya triamsinolon ile uzun süreli tedavi (yaklaşık 3-6 hafta) reçete edilir (3,11). İlginç bir şekilde, literatürde MRS yüz felcinin antihistaminik ilaçlara yanıt vermediği ve bu faktörün ayırıcı tanıda Bell felcini ekarte etmeye katkıda bulunabileceği konusunda oldukça fazla fikir birliği vardır (10,11). Bu nedenle Zewde antihistaminik ilaçların MRS'de de tedavi olarak kullanılabilceğini bildirmektedir (4). Bu tartışmalı bir konudur ve daha fazla araştırmaya gereksinim vardır. COVID-19 ile ilişkili MRS durumunda olduğu gibi enfeksiyonlar tarafından tetiklendiğinde, birincil enfeksiyona yönelik bir tedavi prosedürü oluşturmak, Taslidere ve ark. tarafından gösterildiği gibi MRS'nin tüm semptomlarını azaltabilir ve ortadan kaldırabilir (25) . Son zamanlarda yapılan bir literatür taramasında glukokortikoidler, immünosüpresanlar (azatioprin, metotreksat, talidomid, takrolimus), antitüberküloz ilaçları (etambutol, izoniazid), antimalaryaller (klorokin), antilepra ilaçları (klofazimin ve dapson), metronidazol, monoklonal anti-TNF- antikorları (infliksimab, adalimumab), sülfasalazin, antibiyotikler ve nonsteroid antiinflatuar ilaçlar (NSAID'ler) dahil olmak üzere çeşitli tedavi seçenekleri tanımlanmıştır (27).

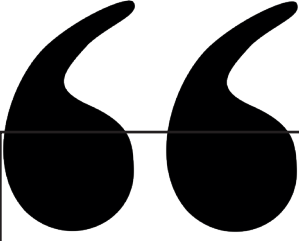
SONUÇ

Melkersson-Rosenthal sendromu, etiyolojisi henüz açıklığa kavuşturulamamış olup tanımlanması ve tedavisi zor olan nadir görülen ve yeterince teşhis edilmemiş bir hastalık sürecidir. Klinik bir sendrom olup çoğunlukla monosemp tomatik belirti gösterdiğinden yanlış teşhise oldukça açık bir hastalıktır. Sarkoidoz, Crohn gibi diğer granülomatöz hastalıkların ekarte edilmesi için histopatolojiye başvurulması önerilmektedir. Tedavisinde sempptomları azaltacak medikal yöntem ile birlikte estetik ve fonksiyonel yapının korunması için güncel literatürde cerrahi yaklaşımın önerildiği vakalar da mevcuttur.

KAYNAKÇA:

1. Liu, R., & Yu, S. (2013). Melkersson–Rosenthal syndrome: a review of seven patients. *Journal of clinical neuroscience*, 20(7), 993-995.
2. Pinna, M., Orrù, G., Denotti, G., Murgia, M. S., & Casu, C. (2024). Melkersson–Rosenthal syndrome: A case report. *Clinical Case Reports*, 12(2), e8075.
3. Wehl, G., & Rauchenzauner, M. (2018). A systematic review of the literature of the three related disease entities cheilitis granulomatosa, orofacial granulomatosis and Melkersson–Rosenthal syndrome. *Current pediatric reviews*, 14(3), 196-203.
4. Zewde, Y. Z. (2021). Melkersson–Rosenthal syndrome misdiagnosed as recurrent Bell’s palsy: a case report and review of literature. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*, 17, 1-4.
5. Brown, R., Farquharson, A., Cherry-Peppers, G., Lawrence, L., & Grant-Mills, D. (2020). A case of cheilitis granulomatosa/orofacial granulomatosis. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*, 219-224.
6. Kuang, W., Luo, X., Wang, J., & Zeng, X. (2021). Research progress on Melkersson–Rosenthal syndrome. *Zhejiang da xue bao. Yi xue ban= Journal of Zhejiang University. Medical Sciences*, 50(2), 148-154.
7. Jasinska, D., & Boczon, J. (2015). Melkersson–Rosenthal syndrome as an early manifestation of mixed connective tissue disease. *European journal of medical research*, 20, 1-3.
8. Orlando, M. R., & Atkins, J. S. (1990). Melkersson-rosenthal syndrome. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 116(6), 728-729.
9. Ozgursoy, O. B., Ozgursoy, S. K., Tulunay, O., Kemal, O., Akyol, A., & Dursun, G. (2009). Melkersson-Rosenthal syndrome revisited as a misdiagnosed disease. *American journal of otolaryngology*, 30(1), 33-37.
10. Elias, M. K., Mateen, F. J., & Weiler, C. R. (2013). The Melkersson–Rosenthal syndrome: a retrospective study of biopsied cases. *Journal of neurology*, 260, 138-143.
11. Savasta, S., Rossi, A., Foadelli, T., Licari, A., Elena Perini, A. M., Farello, G., ... & Marseglia, G. L. (2019). Melkersson–Rosenthal syndrome in childhood: report of three paediatric cases and a review of the literature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(7), 1289.
12. Glickman, L. T., Gruss, J. S., Birt, B. D., & Kohli-Dang, N. (1992). The surgical management of Melkersson-Rosenthal syndrome. *Plastic and reconstructive surgery*, 89(5), 815-821.
13. Gavioli, C. F., Florezi, G. P., Lourenço, S. V., & Nico, M. M. (2021). Clinical profile of Melkersson-Rosenthal syndrome/orofacial granulomatosis: a review of 51 patients. *Journal of Cutaneous Medicine and Surgery*, 25(4), 390-396.

14. Worsaae, N., Christensen, K. C., Schipdt, M., & Reibel, J. (1982). Melkersson-Rosenthal syndrome and cheilitis granulomatosa: a clinicopathologic study of thirty-three patients with special reference to their oral lesions. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 54(4), 404-413.
15. Gavioli, C. F. B., Nico, M. M. S., Florezi, G. P., & Lourenço, S. V. (2020). The histopathological spectrum of Melkersson-Rosenthal syndrome: analysis of 47 cases. *Journal of Cutaneous Pathology*, 47(11), 1010-1017.
16. Xu, H., Haravu, P. N., Reid, R. R., & Bauer, B. (2024). Combined wedge resection for lower lip debulking in Melkersson-Rosenthal syndrome. *Pediatric Discovery*, e74.
17. Asghari, A., Nasoori, Y., Daneshi, A., Kianiasiabar, M., & Dehghani Firouzabadi, F. (2024). Endoscopic trans-canal facial nerve decompression in Melkersson-Rosenthal syndrome: A novel approach. *Clinical Case Reports*, 12(6), e9032.
18. Fisch, U. (1981). Surgery for Bell's palsy. *Archives of otolaryngology*, 107(1), 1-11.
19. Dai, C., Li, J., Yang, S., Zhao, L., Feng, S., Li, Y., ... & Zhao, K. (2014). Subtotal facial nerve decompression for recurrent facial palsy in Melkersson Rosenthal syndrome. *Acta Oto-Laryngologica*, 134(4), 425-428.
20. Lazzerini, M., Bramuzzo, M., & Ventura, A. (2014). Association between oro-facial granulomatosis and Crohn's disease in children: systematic review. *World Journal of Gastroenterology: WJG*, 20(23), 7497.
21. Mansour, M., Mahmoud, M. B., Zaouali, J., & Mrissa, R. (2019). Melkersson-Rosenthal syndrome: About a Tunisian family and review of the literature. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 185, 105457.
22. Lygidakis, C., Tsakanikas, C., Ilias, A., & Vassilopoulos, D. (1979). Melkersson-Rosenthal's syndrome in four generations. *Clinical genetics*, 15(2), 189-192.
23. Xu, X. G., Guan, L. P., Lv, Y., Wan, Y. S., Wu, Y., Qi, R. Q., ... & Chen, H. D. (2017). Exome sequencing identifies FATP1 mutation in Melkersson-Rosenthal syndrome. *Journal of the European Academy of Dermatology & Venereology*, 31(5).
24. Fleagle, J., & Lorch, M. (2021). Facial swelling in the presence of a COVID-19 diagnosis: case report. *Oral*, 1(2), 102-107.
25. Taşlıdere, B., Mehmetaj, L., Özcan, A. B., Gülen, B., & Taşlıdere, N. (2021). Melkersson-Rosenthal syndrome induced by COVID-19. *The American Journal of Emergency Medicine*, 41, 262-e5.
26. Swain, S. K., Debta, P., Sahu, A., & Lenka, S. (2021). Oral cavity manifestations by COVID-19 infections: a review. *Int J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*, 7(8), 1391-7.
27. Galdiero, M. R., Maio, F., Arcoleo, F., Boni, E., Bonzano, L., Brussino, L., ... & Bova, M. (2021). Orofacial granulomatosis: clinical and therapeutic features in an Italian cohort and review of the literature. *Allergy*, 76(7), 2189-2200.



Bölüm 7

GÜNCEL İRRİGASYON AKTİVASYON YÖNTEMLERİ

Neslihan YILMAZ ÇIRAKOĞLU¹

¹ Doç. Dr.; Karabük Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı,
neslihaniymazciraoglu@karabuk.edu.tr ORCID No: 0000-0002-8316-3133

Giriş

İrrigasyon, kök kanal sisteminin temizlenmesi ve dezenfekte edilmesinin birincil yolu olarak kabul edilir. Kök kanal sisteminin anatomik karmaşıklıklarında bulunan biyofilmlerdeki bakterilerin organizasyonu ve bunları ortadan kaldırmanın zorluğu, irrigantlar için temel problemdir. Sodyum hipoklorit, günümüzde tercih edilen birincil irrigant olmaya devam etmektedir, ancak bir şelatörle desteklenmesi gerekir. İrrigantların bir şırınga ve iğne kullanılarak verilmesi ve ultrasonik bir uçla aktivasyonu en popüler irrigasyon yöntemleridir. Bu bölümün amacı şu anda kullanılan güncel irrigasyon yöntemlerini eleştirel bir şekilde değerlendirmek, mevcut çalışmalardaki bilgi boşluklarını ve metodolojik sınırlamaları vurgulamak ve gelecekteki gelişmeler için öngörü sağlamaktır.

İrrigasyon Yöntemlerinin İstenen Özellikleri

İdeal irrigasyon yöntemi için istenen özellikler şu şekilde sıralanabilir;

- İrrigasyon solüsyonunu hedeflenen yüzeyle yakın temas halinde olacak şekilde tüm kök kanal sistemine iletmek;
- Tüketimini telafi etmek için irrigasyonu sık sık yenilemek;
- Temizlenen içeriği ve tükenmiş irrigasyonu kök kanal sisteminden dışarı taşımak için ters akış geliştirmek;
- İrrigasyonun apikal foramenden dışarı taşmasını önlemek.

Şırınga ile İrrigasyon Yöntemi

Şırınga irrigasyonu, endodontistler ve genel diş hekimleri arasında kök kanallarının içine irrigantların verilmesi için en popüler teknik olmaya devam etmektedir (Dutner vd., 2012; de Gregorio vd., 2015; Savani vd., 2014; Willershausen vd., 2015). Şırınga irrigasyonunun etkinliği, iğnelerin kök kanalının apikal ucuna yakınlığına (Boutsioukis vd., 2010a, 2010b; Chen vd., 2014), apikal üçte birlik kısımdaki mevcut alana (Boutsioukis vd., 2010c; Boutsioukis & Gutierrez Nova, 2021) ve bazı durumlarda irrigantın akış hızına (Boutsioukis & Gutierrez Nova, 2021; Boutsioukis vd., 2009; Pereira vd., 2021) bağlıdır; bu parametreler birçok çalışmada hala göz ardı edilmektedir.

Mevcut kanıtlar, irrigasyon iğnelerinin iki tip olduğunu göstermektedir: irrigantın, şekli ne olursa olsun, uçlarından düz bir şekilde akmasına izin veren iğneler (açık uçlu) ve irrigantın bir veya daha fazla yan delikten akmasını sağlayan, ucu kapalı iğneler (kapalı uçlu) (Boutsioukis ve diğerleri, 2010a). Oluşturulan irrigasyon akımının yönü ve yoğunluğu nedeniyle, açık uçlu iğneler, aynı boyuttaki kapalı uçlu iğnelere göre irrigasyon penetrasyonu açısından daha etkili görünmektedir (Boutsioukis & Gutierrez Nova, 2021; Boutsioukis ve ark., 2010a, 2010b; Shen vd., 2010; Verhaagen ve ark., 2012), ancak aynı zamanda apikal foramenden yanlışlıkla irrigasyonun taşma riski daha

yüksektir (Psimma ve ark., 2013a, 2013b). Açık uçlu iğneler için optimum pozisyon, çalışma uzunluğundan 2-3 mm kısalıktadır; kapalı uçlu iğnelerin ise çalışma uzunluğundan 1 mm kısa mesafeye kadar yerleştirilmesi gerekir (Boutsioukis vd., 2010a, 2010b, 2010c; Chen vd., 2014). Bu nedenle, eğimli kök kanallarında bu pozisyonlara ulaşabilen esnek ince iğneler (27-31G) kullanılması zorunludur. Günümüzde, 30G iğne klinik standart olarak kabul edilebilir, ancak kök kanal enstrümantasyonundaki yeni eğilimler (Gluskin vd., 2014) göz önüne alındığında, 31G iğneler yakın gelecekte standart haline gelebilir. Geçmişte yaygın olarak kullanılan büyük iğnelerin (21-25G) (Brown & Doran, 1975; Chow, 1983; Druttman & Stock, 1989; Ram, 1977; Salzgeber & Brilliant, 1977; Teplitzky ve diğerleri, 1987) irrigantın yalnızca kök kanalının orta üçlük alanına kadar ulaşmasına izin verdiği ve etkin bir irrigasyon sağlamadığı görülmüştür. 30-31G iğneler kullanıldığında, apikal boyutun en az 30-35'e kadar genişletilmesi gerekir. Bu boyuta kadar genişletme, irrigantın iğneye apikal olarak nüfuz etmesi için de önemlidir çünkü irrigantın viskozitesi kök kanal sisteminin dar alanlarındaki akışı sınırlar (Boutsioukis, 2019; Boutsioukis vd., 2010c; Boutsioukis ve Gutierrez Nova, 2021; Hsieh vd., 2007). Irrigant, iğnenin tipi ve boyutundan bağımsız olarak apikal boyutu 25 veya daha küçük olarak hazırlanan kök kanallarında çalışma boyuna kadar ulaşamaz (Boutsioukis ve Gutierrez Nova, 2021). Penetrasyon daha geniş kök kanallarında daha iyi olacağından (Boutsioukis vd., 2010c; Chen vd., 2014) irrigantın antimikrobiyal aktivitesini daha iyi göstermesine olanak tanır. Klinik bir çalışma, apikal boyutu 20-25'e kadar genişletme ve % 2,5 NaOCl veya tuzlu irrigasyonla enstrümantasyondan sonra bakteri sayılarının azalmasında önemli bir fark bulmamıştır, ancak 35-50 boyutuna kadar genişletme sonrası bakteri sayısı önemli oranda azalmıştır (Rodrigues vd., 2017). Apikal boyuttaki artış ayrıca apikal foramenden yanlışlıkla irrigant ekstrüzyonu riskini de azaltır (Psimma vd., 2013a). Öte yandan kök kanalının konikliği, apikal üçte birlik kısımda irrigant penetrasyonu için daha az önemli görünmektedir (Boutsioukis vd., 2010d).

İrigasyon akış hızı, kök kanal irrigasyonunda belki de en çok göz ardı edilen parametrelerden biridir. Öncelikle akış hızı, irrigasyonun kapalı uçlu bir iğneye apikal olarak nüfuz etmesini etkiler; akış hızları $<0,05$ mL/s olduğunda, irrigasyon iğnenin ucuna kadar neredeyse hiç ulaşmazken, akış hızı $0,15-0,20$ mL/s'ye çıkarıldığında apikal uca 1-1,5 mm'ye kadar ulaşabilir (Boutsioukis & Gutierrez Nova, 2021; Boutsioukis vd., 2009; Verhaagen vd., 2012). Açık uçlu iğneler kullanıldığında, irrigasyon penetrasyonu akış hızındaki değişikliklere karşı daha az hassastır (Boutsioukis ve Gutierrez Nova, 2021; Park vd., 2013). İkinci olarak, akış hızı, kullanılan iğnenin türünden bağımsız olarak kök kanal duvarı yakınındaki hız gradyanını ve dolayısıyla mekanik temizleme etkisinden sorumlu olan duvar kayma gerilimini etkiler (Boutsioukis & Gutierrez Nova, 2021). Nispeten yüksek bir irrigasyon akış

hızı (0,17 mL/s) ve bunun sonucunda oluşan mekanik temizlik, in vitro şırınga irrigasyonu sırasında biyofilm eliminasyonu açısından NaOCl konsantrasyonundan daha önemli görünmektedir (Pereira vd., 2021).

Yukarıda belirtilen gereklilikler karşılandığında, şırınga irrigasyonu ana kök kanalında oldukça etkili görünmektedir. Birkaç ex vivo çalışma ve bir klinik deneme, şırınga irrigasyonu ile negatif basınçlı irrigasyon, sonik ve ultrasonik aktivasyon dahil olmak üzere çeşitli yöntemler arasında, yumuşak doku kalıntılarının, sert doku kalıntılarının, bakterilerin veya biyofilmin ana kök kanalından uzaklaştırılması veya tek kök kanalı ve nispeten basit anatomiye sahip dişlerdeki apikal periodontitisin iyileşmesi açısından önemli bir fark bulamamıştır (Adcock vd., 2011; Bhuva vd., 2010; Brito vd., 2009; Howard vd., 2011; Johnson vd., 2012; Klyn vd., 2010; Liang vd., 2013; Sarno vd., 2012; Versiani vd., 2016). Buna karşılık, karşıt sonuca ulaşan çalışmalar genellikle kanalları yeterli boyuta genişletmemiş veya iğneleri çalışma boyundan çok uzağa yerleştirmiştir (Azim vd., 2016; Hockett vd., 2008; Huang vd., 2008; Kishen vd., 2018; McGill vd., 2008; Nielsen & Baumgartner, 2007; Villalta-Briones vd., 2021). Bu nedenle, şırıngayla irrigasyon yöntemi, tek kök kanalı ve basit anatomisi olan dişler için yeterli bir irrigasyon yöntemi gibi görünmektedir. Ancak bu yöntemle irrigantlar lateral kanallar, isthmuslar gibi anatomik düzensizliklerin içine çok fazla nüfuz edemeyeceğinden daha karmaşık anatomiye sahip vakalarda irrigasyon aktivasyon yöntemleri faydalı olabilir (Avcı vd., 2024; Leoni vd., 2017; Paqué vd., 2011; Versiani vd., 2016; Al-Jadaa vd., 2009a).

Ultrasonik Aktivasyon

Ultrasonik aktivasyon şu anda en popüler irrigasyon aktivasyon yöntemi ve ikinci en popüler irrigasyon yöntemidir (Dutner vd., 2012; de Gregorio vd., 2015; Savani vd., 2014; Willershausen vd., 2015). Uzun yıllar boyunca bu yöntem hatalı bir şekilde “pasif aktivasyon” veya “pasif ultrasonik irrigasyon” olarak tanımlanmıştır, çünkü önceleri ultrasonik uçların kök kanalında duvarla herhangi bir fiziksel temas kurmadan aktivasyon sağladığına inanılıyordu (Jensen vd., 1999; van der Sluis vd., 2007). Fakat bu hipotez defalarca çürütüldü (Al-Jadaa vd., 2009b; Boutsoukis & Tzimpoulas, 2016; Boutsoukis vd., 2013b; Kanaan vd., 2020; Retsas vd., 2016).

Sık duvar temasına rağmen (Boutsoukis vd., 2013b), ultrasonik cihazlar ana kök kanalıyla sınırlı kalacak doğrudan fiziksel bir etki yerine, öncelikle çevredeki irrigantı çalkalayarak etki eder. Sistemin ~30 kHz'deki salınımlı hareketleri akustik akış üretir (Jiang vd., 2010a; Verhaagen vd., 2014a), bu akustik hareket ana kanaldaki irrigantı harekete geçirir, irrigantı kök kanal sisteminin daha uzak bölgelerine taşır ve yüzey kayma gerilimini artırarak mekanik temizliği iyileştirir (Retsas ve Boutsoukis, 2019). Belirli koşullar altında, hızla değişen irrigant basıncı geçici akustik kaviteasyona da yol açabilir,

bu yolla yayılan şok dalgaları, daha yüksek kayma gerilimi ve sonokimyasal etki üreterek yerel olarak artan basınç ve sıcaklık nedeniyle özellikle yararlı olabilir (Brennen, 1995; Macedo vd., 2014a, 2014b; Tiong ve Price, 2012). Aktivasyon sırasında kinetik enerjinin bir kısmı ısıya dönüştürülür (Cameron, 1988; Zeltner vd., 2009), bu durum kimyasal reaksiyonları hızlandırabilir (Sirtes vd., 2005; Stojicic vd., 2010). Bu amaçla çeşitli ultrasonik eğeler, pürüzsüz uçlar ve iğneler kullanılmıştır ancak bunlardan herhangi biri diğerlerinden belirgin olarak üstün değildir. İçlerinde K- ve Irrisafe uçları en popüler olanlardır (aput vd., 2019). Akışın kök kanalının apikal ucuna ulaşması için uçların çalışma boyundan 2-3 mm geriye kadar ilerletilmesi gerekir (Maliki vd., 2012). Engelsiz bir salınım için o konumda yeterli çalışma alanı olmalıdır, bu nedenle aktivasyon yalnızca kimyasal-mekanik hazırlık tamamlandıktan sonra uygulanmalı ve küçük boyutlu ultrasonik uçlar tercih edilmelidir. Bu frekansta (~50–80 μm) uygulandığında ortalama salınım göz önüne alındığında, minimum apikal hazırlık boyutu 30–35 olarak tahmin edilebilir (Retsas & Boutsoukis, 2019).

Ultrasonik aktivasyon sırasında ortaya çıkan sonuçlar ultrason cihazının g ayarına bağlıdır. Daha yüksek güç daha yoğun akışla ve daha iyi temizlikle sonuçlanır (Jiang ve ark., 2011), ancak uç kırılması (Ahmad ve Roy, 1994; Craig Rhodes, 2021) ve yanlışlıkla fazla dentin uzaklaştırılması (Boutsoukis ve Tzimpoulas, 2016; Retsas ve ark., 2016) riskleri de hesaba katılmalıdır. Fazla dentin kaldırılması, her tip ultrasonik cihaz için genel bir sorundur. Çoğu retici, irrigant aktivasyonu için maksimum gücün yaklaşık % 30-50'sinin kullanılmasını önerir (Acteon-Satelec, 2018; Electro Medical Systems, 2012; NSK, 2017).

Kısa süreli aralıklı aktivasyon, aralarda şırınga ve iğne ile taze irrigant verilmesiyle birlikte, sürekli aktivasyondan daha yaygın olarak kullanılmaktadır (aput vd., 2019). Salınımın tekrar tekrar başlatılması, temizleme etkinliğini ve biyofilmin kaldırılmasını, aynı süre boyunca kesintisiz aktivasyona kıyasla daha çok artırır (Jiang vd., 2010b; Retsas vd., 2022; van der Sluis vd., 2006, 2009, 2010) Ayrıca sık irrigant yenilemesi, kimyasal reaksiyonlardaki tüketimi (Macedo vd., 2014c) ve pulpa odasından sıçrama nedeniyle kaybolan irrigantı telafi eder (Macedo vd., 2014a). Aralıklı aktivasyon için en yaygın protokol; 20 saniyelik 3 periyottur, ancak daha kısa protokoller de kullanılmaktadır (3×10 saniye) (aput vd., 2019). şu anda, yüksek akış hızında sürekli iletim ve ultrasonik olarak salınan bir uçla yüksek güçte irrigantın eş zamanlı aktivasyonunun; yaygın olarak kullanılan aralıklı aktivasyon protokollerinden daha etkili olup olmadığı belirsizliğini korumaktadır.

Ultrasonik aktivasyonun etkinliği erken in vitro ve ex vivo çalışmalarda yaygın olarak gösterilmiştir (van der Sluis vd., 2007), bu durum yöntemin endodontistlerin ve genel diş hekimlerinin büyük bir kısmı tarafından erken benimsenmesine neden olmuştur. Mevcut kanıtlar, ultrasonik aktivasyonun

dallanmaların, istmusların ve lateral kanalların debridmanı konusunda şırınga irrigasyonundan belirgin olarak daha etkili olduğunu göstermektedir, ancak bu alanlardaki antimikrobiyal etkisi hakkında sınırlı bilgi mevcuttur ve henüz hiçbir klinik çalışma uzun vadeli tedavi sonuçlarında farklılık bulamamıştır (Căpută vd., 2019; Retsas ve Boutsoukis, 2019).

Sonik Aktivasyon

Düşük frekansta salınan plastik uçlar kullanan cihazlar, ultrasonik cihazlara alternatif olarak irrigasyon aktivasyonu için uzun yıllardır önerilmiştir (Jiang vd., 2010a; Neuhaus vd., 2016). Sonik irrigasyon, üçüncü en popüler irrigasyon yöntemi olarak benimsenmesine rağmen (Dutner vd., 2012; de Gregorio vd., 2015), bu yöntemin avantajları belirsizliğini korumaktadır. Bu plastik uçlarla irrigasyon ana kök kanalında salınımlı bir akış yaratır, ancak akustik akışa veya geçici akustik kaviteasyona yol açabilecek frekans çok düşüktür ve salınım gücü çok büyüktür (Jiang vd., 2010a; Macedo vd., 2014b; Verhaagen vd., 2014a). EndoAktivator uçlarının (Dentsply Sirona, Charlotte, NC, ABD) salınım gücü yaklaşık 1.200 μm 'dir (Jiang vd., 2010a) ve daha yakın zamanda tanıtılan EDDY'nin (VDW, Münih, Almanya) salınım genliği ise yaklaşık 350 μm 'dir (Neuhaus ve diğerleri, 2016; Swimberghe ve diğerleri, 2019b). Bu nedenle, kök kanalının içinde engelsiz salınımları için sırasıyla çalışma boyundan 1–2 mm kısa mesafede en az 2.550 μm ve 900 μm serbest alana ihtiyaç vardır. Bu durum nadiren uygulanabilir, bu nedenle çok sık duvar teması kaçınılmazdır (Jiang vd., 2010a). Bu doğrultuda in vitro ve ex vivo olarak ana kök kanalında oluşan temizlik ve dezenfeksiyonun büyük bir kısmı irrigasyon aktivasyonundan ziyade bu doğrudan fiziksel etkiden kaynaklanıyor olabilir. Böyle bir etki ana kök kanalının ötesine ulaşamayacağı ve mekanik preparasyon ve şırınga irrigasyonu ile sağlanabildiğinden sonik aktivasyon gereksiz görünmektedir (Hoedke vd., 2021). Ayrıca uçların duvara teması salınımı azaltır; bu plastik uçlar dentini kesebilir ve bir leke tabakası oluşturabilir (Kanaan vd., 2020).

Bu yaklaşımın etkinliğine ilişkin olarak, bir dizi ex vivo çalışma, EndoAktivator (160-190 Hz'de salınımlı) ile enjeksiyon irrigasyonu arasında ana kök kanalının, dallanma veya istmusların temizlenmesi açısından önemli bir fark bulamamıştır (Brito vd., 2009; Duque vd., 2017; Klyn vd., 2010; Rödig vd., 2018; Varela vd., 2019). EndoAktivator, aynı zaman diliminde uygulandığında ultrasonik aktivasyondan daha az etkili bulunmuştur (Al-Jadaa vd., 2009b; Jiang vd., 2010a; Varela vd., 2019). Buna karşılık, daha yüksek frekansta (~6 kHz) ve daha küçük genlikte salınan EDDY'nin performansının şırıngayla irrigasyondan daha iyi olduğu ve ultrasonik aktivasyonun etkinliğine yakın olduğu bildirilmiştir (Conde vd., 2017; Swimberghe vd., 2019b)-çelişkili sonuçlar da yayınlanmış olsa da- (Linden vd., 2020). Sonuç olarak, salınım frekansındaki artış ve buna bağlı genlikteki azalma irrigasyon aktivasyon sistemlerinin performansını iyileştirmektedir.

Diğer Teknikler

Çeşitli diğer irrigasyon teknikleri şu anda kullanımdadır, ancak bunlar belirli ülkeler dışında pek fazla ilgi gormemiştir (Dutner vd., 2012; de Gregorio vd., 2015; Virdee vd., 2020; Willershausen vd., 2015). Örneğin, negatif basınçlı irrigasyon, irrigantı kök kanalına iletmek için uygun ancak aktivasyon için uygun bir yöntem değildir. Bu yöntem çalışma boyunun yakınına yerleştirilen ince bir kanül aracılığıyla basınç uygulayarak irrigantı pulpa odasından kök kanalına eker (Adorno vd., 2016; Nielsen ve Baumgartner, 2007). Negatif basınçlı sistemler genellikle birkaç bileşen, tp ve konnektör içerdiğinden karmaşık olabilir. İrrigant penetrasyonu, şırınga irrigasyonuyla elde edilene benzer veya daha düşüktür (Adorno vd., 2016) ve maksimum akış hızı sınırlıdır, bu nedenle kök kanalının içindeki irrigant değişimi daha yavaştır ve mekanik temizleme etkisi azalır (Boutsioukis vd., 2007; Brunson vd., 2010; Chen vd., 2014). şu anda, çok özel vakalar dışında negatif basınçlı irrigasyonun şırınga irrigasyonundan daha üstün olduğuna dair net bir kanıt yoktur (Konstantinidi vd., 2017). Başlıca avantajı, apikal foramenden daha az irrigantın ekstrüze olmasını sağlamasıdır. (Boutsioukis vd., 2013a). Bu fark, rutin kanal tedavisi vakalarında klinik olarak önemli olmayabilir, ancak daha önce bir NaOCl kazası meydana geldiğinde aynı dişi içeren başka bir kaza riski olduğundan önemli hale gelebilir (Psimma & Boutsioukis, 2019).

Lazerle aktive edilen irrigasyon (LAI), Er:YAG veya Er, Cr:YSGG lazerleri tarafından irrigantın hızla ısıtılmasına dayanır, bu durum optik kavitasyona neden olur (de Groot ve ark., 2009; Matsumoto vd., 2011; Meire vd., 2014). Laboratuvar alışmaları, lazer ucu çalışma boyuna yakın yerleştirildiğinde, bu tekniğin biyofilmin (De Meyer vd., 2017) veya sert doku kalıntılarının (De Moor vd., 2010; de Groot vd., 2009) uzaklaştırılması açısından ultrasonik aktivasyondan daha etkili olduğunu göstermiştir. LAI'nin, farklı cihaz ayarları ve pulpa odasına yerleştirilen özel lazer uçları kullanan Foton Başlatmalı Fotoakustik Akış (PIPS) ve şok Dalgası Geliştirilmiş Emisyonlu Fotoakustik Akış (SWEEPS) gibi varyantları, minimal şekilli kök kanallarının temizlenmesi için ortaya atılmıştır (DiVito vd., 2012; Yang vd., 2020), ancak kanıtlar hala sınırlıdır ve çelişkili sonuçlar bulunmaktadır. Bazı alışmalar, PIPS'in LAI'den daha düşük etkili olduğunu ve bazı durumlarda NaOCl kullanıldığında şırınga irrigasyonuyla eşit derecede etkili olduğunu bulmuştur (De Meyer vd., 2017; Deleu vd., 2015; Pedull vd., 2012), ancak diğerleri PIPS ve LAI arasında bir fark tespit edememiştir (Verstraeten vd., 2017). Lazer ucunun kök kanalının apikal üçte biri yerine pulpa odasına yerleştirilmesi, en azından PIPS'in antimikrobiyal etkisi için sınırlayıcı bir faktör gibi görünmektedir (De Meyer vd., 2017). Aynı şekilde, SWEEPS ile PIPS arasındaki karşılaştırmalarda da çelişkili sonuçlar ortaya konmuştur (Galler vd., 2019; Yang vd., 2020). Ek olarak, lazer aktivasyonu, uçların enine salınımına dayanan tekniklere göre apikal foramenden daha fazla irrigant taşırıyor gibi g-

rünmektedir (Yost vd., 2015).

Multisonik aktivasyon (GentleWave; Sonendo, Laguna Hills, CA, ABD) herhangi bir kök kanal hazırlığı gerektirmeden kök kanalını tamamen temizlemek ve dezenfekte etmek için tek başına bir irrigasyon yöntemi olarak tanımlanmıştır (Zhang vd., 2019), ancak yayınlanmış çalışmaların çoğunda kök kanalları genellikle apikal boyut 15–25 olacak şekilde genişletilmiştir (Chan vd., 2019; Molina vd., 2015; Ordinola-Zapata vd., 2022; Sigurdsson vd., 2016, 2018; Zhang vd., 2019). Bu tekniğin temel yeniliği, hidrodinamik kaviteasyon kabarcıklarının çökmesi sırasında geniş bir frekans aralığına sahip akustik dalgaların üretilmesidir. Bu dalgaların kök kanalının temizlenmesine ve dezenfeksiyonuna katkıda bulunduğu inanılmaktadır (Sigurdsson vd., 2016, 2018). İlk çalışmalar çok ümit verici sonuçlar bildirmiş ve bu tekniğin şırınga irrigasyonundan ve ultrasonik aktivasyondan açıkça daha üstün olduğu sonucuna varmıştır (Molina vd., 2015; Zhang vd., 2019), ancak bağımsız araştırma grupları tarafından yapılan daha yakın tarihli çalışmalar karşıt sonuçlara ulaşmıştır (Chan vd., 2019; Ordinola-Zapata vd., 2022).

İyi sıkışan gutta-perka noktalarının itme-çekme hareketleriyle irrigantı aktive etmek için “manuel dinamik çalkalama” adı verilen basit bir teknik de önerilmiştir (Machtou, 2015) ve şırınga irrigasyonuna kıyasla istmus ve lateral kanalların temizliğini iyileştirdiği görülmektedir (Deleu vd., 2015; Jiang vd., 2012; Passalidou vd., 2018). Ancak, apikal foramenden önemli miktarda irrigantı dışarı taşıdığı da görülmektedir (Boutsoukis vd., 2014b).

Önerilen Irrigasyon Protokolü

NaOCl, tercih edilen birincil irrigasyon maddesi olmaya devam etmektedir ve mikroorganizmaları öldürmek, biyofilmi parçalamak, pulpa dokusu kalıntılarını çözmek, smear tabakasının organik bileşenlerini kaldırmak ve aletleri debristen temizlemek için kemomekanik preparasyon boyunca kullanılmalıdır (Gulabivala vd., 2005; Zehnder, 2006). Kök kanal sisteminin anatomik karmaşıklığı ve tipik bir tedavi seansının zaman kısıtlaması göz önüne alındığında, NaOCl’yi en azından tüm ana kök kanalına ulaştırmak için irrigasyon maddesi akışının kullanılması tavsiye edilir. Çalışma boyunca yakın yerleştirilmiş ince bir iğne ile şırınga irrigasyonu, en uygun maliyetli irrigasyon yöntemi gibi görünmektedir. Organik maddeyle reaksiyonlarda serbest mevcut klorun hızlı tüketimini telafi etmek için bol miktarda NaOCl verilmelidir. Sert doku artıklarını temizleme ihtiyacı olmasına rağmen, enstrümantasyon sırasında NaOCl ve güçlü şelatörlerin sıralı kullanımı kontrendikedir (Grawehr vd., 2003; Wright vd., 2020a; Zehnder vd., 2005a). Bunun yerine, kök kanalı, biriken sert doku artıklarını ve smear tabakasının inorganik bileşenlerini temizlemek ve kısmen de olsa biyofilm matrisini bozmak için enstrümantasyondan sonra EDTA gibi bir şelatörle yıkanmalıdır. Bununla birlikte, bu adım son yıkama olarak düşünülmemelidir. Kalan

şelatörü temizlemek, enstrümantasyon yapılmamış alanlara ulaşmak, dentin artıklarından ve smear tabakasından temizlenmiş dentin tübüllerine daha fazla nüfuz etmek ve kalan biyofilm üzerine etki etmek için NaOCl ile kök kanal sistemi yeniden yıkanmalıdır. Literatürdeki son kanıtlar, son durulama için NaOCl yerine CHX veya başka bir irrigant kullanımını desteklememektedir. EDTA'dan sonra NaOCl ile son durulamaya karşı çıkan ana argüman, NaOCl'nin açığa çıkan dentin kolajenine saldırması ve kök kanal duvarında erozyona neden olmasıdır (Haapasalo vd., 2012). Ancak, bahsedilen erozyonun klinik önemi belirsizliğini korumaktadır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda bu durumun kırılma riskini artırdığına veya dentin yüzeyinin morfolojik değişiminden daha fazlası olduğuna dair bir kanıt yoktur. Aktivasyonun gerekli olduğu düşünülürse, aralıklı ultrasonik irrigasyon aktivasyonu en makul seçenek gibi görünmektedir son yıkama adımında uygulanmalıdır. Bu irrigasyon protokolü, NaOCl ve EDTA'nın, kimyasal-mekanik hazırlık boyunca kullanılabilen bir NaOCl ve HEDP gibi zayıf bir şelatör karışımıyla değiştirilmesiyle daha da basitleştirilebilir (Wright vd., 2020a; Zehnder vd., 2005a). Ancak, böyle bir yaklaşıma ilişkin klinik kanıtlar hala sınırlıdır.

Güncel Problemler

Kök kanal irrigasyonunda en önemli sorun özellikle uzun vadeli tedavi sonucuna odaklanan randomize klinik çalışmaların nadir olmasıdır. Çoğu çözüm ve tekniğin kullanımı tamamen, en düşük kanıt seviyesi olarak kabul edilen (Haapasalo, 2016) ve “mekanizma tabanlı” akıl yürütme kategorisine giren (Howick vd., 2010; OCEBM Kanıt Düzeyleri Çalışma Grubu, 2022) laboratuvar çalışmalarının bulgularına dayanmaktadır. Bir irrigasyonu veya irrigasyon yöntemini klinik bir sonuçla bağlayan çıkarımsal zincir genellikle eksiktir. Ayrıca, kullanılan laboratuvar modelleri nadiren doğrulanır ve bazı durumlarda belirgin şekilde aşırı basitleştirilmiştir ve gerçekçi olmayabilir (Boutsoukis vd., 2022). Bu nedenle, laboratuvar çalışmalarının bulgularının klinik ortama yansıtılması büyük dikkat gerektirir.

Klinik denemelerin eksikliği kaçınılmaz olarak çalışmaların sonuçlarını da etkilemektedir. Apikal periodontitisin önlenmesi ve iyileşmesi klinik endodontolojide ilgi duyulan birincil sonuçtur (Azarpazhooh vd., 2022; Örs-tavik, 2019), ancak deneysel çalışmalarda genellikle ameliyat sonrası gözlem süresini kısaltmak ve laboratuvarda yürütülmesini kolaylaştırmak için ölçülmesi daha kolay olan parametreler tercih edilir. Kanal içi mikrobiyal yükün azaltılması en ilişkili ölçüm parametresidir ve en azından bir dereceye kadar apikal periodontitisin iyileşmesiyle ilişkili olduğuna dair kanıtlar vardır (Sjögren vd., 1997). Pulpa dokusu kalıntılarının, sert doku kalıntılarının veya smear tabakasının uzaklaştırılması gibi yaygın olarak kullanılan diğer parametreler; birincil sonuçla doğrudan ilişkilendirilmemiştir. Bunun yerine, kullanımları onları mikrobiyal yükün azaltılmasına bağlayan bir dizi hipotez ve varsayımına dayanmaktadır. Pulpa dokusu kalıntıları hayatta kalan bakteri-

ler için besin görevi görebilir (Love, 2012) ve ayrıca irrigantlarla etkileşime girerek etkilerini sınırlandırabilir (Haapasalo vd., 2007). Birikmiş sert doku artıkları, irrigantların istmuslarda ve diğer kompleks alanlarda bulunan biyofilme erişimini engelleyebilir (Gulabivala vd., 2005; Paqué vd., 2009; Siqueira vd., 2018; Gulabivala vd., 2005; Paqué vd., 2009). Yapılan çalışmalarda çıkarımsal zincir tutarlı olmalı ve hipotezlerden ziyade kanıtlara dayanmalıdır (Howick vd., 2010). Farklı ölçüm yöntemleri kullanılarak irrigasyon yöntemleri karşılaştırıldığında çelişkili bulgular elde edilmesi nadir değildir (Căpută vd., 2019) Ek olarak, smear tabakasının kaldırılmasına yönelik SEM çalışmaları, temel metodolojik sınırlamaları nedeniyle eleştirilmiştir (De-Deus vd., 2011; Gulabivala vd., 2005; Zehnder, 2012), ve sonuçları güvenilir olarak kabul edilmemektedir (Boutsoukis vd., 2022).

Farklı irrigasyon yöntemlerine ilişkin iki yakın tarihli sistematik inceleme (Căpută vd., 2019; Konstantinidi vd., 2017) bir araya getirilen bulguları, literatürde bu konudaki son durumu tahmin etmeye yardımcı olabilir. Hem klinik hem de laboratuvar çalışmaları olmak üzere toplam 107 çalışmaya ulaşıldı. Bu çalışmaların yalnızca % 1'i apikal periodontitisin iyileşmesini değerlendirdi, %22'si antimikrobiyal etkiye odaklandı, %36'sı pulpa dokusu kalıntılarının veya sert doku kalıntılarının uzaklaştırılmasını araştırdı ve dikkate değer bir şekilde % 41'i smear tabakasının çıkarılmasını SEM altında inceledi. Bu nedenle, belirli irrigasyon solüsyonlarının veya yöntemlerinin etkinliği hakkında hatalı sonuçlara neden olabilecek doğrulanmamış veya güvenilir olmayan parametrelere aşırı güvenildiği görülmektedir.

Etkili irrigasyon için en önemli gereksinimler; irrigantın biyofilme ulaşması ve bu tabakaya fiziksel ve kimyasal olarak etki etmesidir. Bu nedenle, gelecekteki laboratuvar çalışmalarının öncelikle özellikle de çoklu kök kanalları ve karmaşık anatomisi olan dişlerde irrigant penetrasyonuna ve anti-biyofilm etkisine odaklanması zorunludur. Yeni keşfedilen ve umut verici irrigantlar ve irrigasyon yöntemleri, apikal periodontitisin iyileşmesine odaklanan klinik çalışmalarla daha fazla test edilmelidir.

Bir diğer yaygın sorun da örneklem büyüklüğünden kaynaklanır. Gerekliliği örneklem büyüklüğünün önceden hesaplanması hem klinik hem de laboratuvar çalışmaları için evrensel bir gerekliliktir (Nagendrababu vd., 2020, 2021). Yakın zamanda yapılan randomize kontrollü bir klinik çalışma (Verma vd., 2019), kök kanal tedavisini takiben apikal periodontitisin iyileşmesi açısından iki irrigantı (%1 ve %5 NaOCl) karşılaştırdı ve önemli bir fark bulamadı. Bununla birlikte, sonuçların yakından incelenmesi, yüksek konsantrasyonlu grup lehine başarı oranında aslında % 9,3'lük bir fark olduğunu ortaya koymaktadır, ancak ki kare testi, önceden yapılan örneklem büyüklüğü tahminine rağmen 0,31'lik bir P değeri üretti. Bir güç analizi, çalışmanın iki grup arasındaki başarı oranında en az % 21'lik bir farkı tespit etmek için yeterli güce ($\geq 0,80$) sahip olduğunu gösterir, ki %10'luk bir fark bile birçok kişi

tarafından klinik olarak tespit edilmeye değer önemli bir fark olarak kabul edilir. Güç analizi doğru yapılmayan çalışmaların irrigantlar veya irrigasyon yöntemleri arasında klinik olarak önemli büyüklükteki gerçek farkları tespit etmesi olası değildir ve başarılı olsalar bile, etkinin kesin olmayan tahminlerini üretme eğilimindedirler. Başarı/başarısızlık gibi ikili bir sonuç değişkeni için, iki bağımsız grup arasında % 20'lik bir farkı tespit etmek için gereken minimum örneklem büyüklüğü grup başına 49 hastadır. % 10 veya %5'lik bir fark ilgi çekiciyse, sayı 250 ve 1094 hastaya çıkar. Bu nedenle, bu tür hipotezleri doğrulamak veya çürütmek için büyük örneklem gruplu klinik çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu kadar çok sayıda hastayı tek bir kurumda toplamak zor olabilir, bu da iş birliğinin ve çok merkezli çalışmaların değerini vurgular.

Yeni yapılacak bir çalışmada, ister laboratuvar çalışması ister klinik çalışma olsun, karşılaştırılacak irrigantların veya irrigasyon yöntemlerinin seçimi büyük önem taşır. Sadece 15 farklı ana irrigant veya irrigasyon yöntemi olduğunu ve bunlardan dördünün her çalışmada karşılaştırıldığını varsayarsak, aynı dört irrigant veya yöntemin karşılaştırılmasını tekrarlamadan, her bir parametre için 1365 orijinal çalışma yürütmek gereklidir. Böyle bir yaklaşımın faydasızlığı açıktır. Yine de, bazı özel irrigantların veya yöntemlerin henüz aynı çalışmada karşılaştırılmamış olması, daha fazla araştırmayı haklı çıkarmak için yaygın olarak kullanılan bir argümandır. Endodontinin diğer alanlarında olduğu gibi (Herbst vd., 2019), çok fazla potansiyel kombinasyon olduğunda, belirli karşılaştırıcılar klinik kıstaslar olarak hizmet eder ve çalışmalarda daha sık yer alır, böylece ortak bir referans noktası sağlar. Kök kanal irrigasyonunda da, iyi belirlenmiş klinik standartlar vardır. NaOCl, EDTA, şırınga irrigasyonu ve ultrasonik irrigasyon aktivasyonu en yaygın kullanılan irrigasyonlar ve irrigasyon yöntemleridir (Dutner vd., 2012; Eleazer vd., 2016; de Gregorio vd., 2015; Savani vd., 2014; Willershausen vd., 2015). Bu nedenle, her çalışmanın belirli odak noktasına bağlı olarak bulgularının yorumlanmasına yardımcı olmak için bu klinik standartlardan bir veya daha fazlasını çalışmalara dahil etmek esastır. Nadiren kullanılan iki irrigant veya bu irrigantlar ile hiç irrigasyon yapılmaması arasındaki karşılaştırma çok az yararlı bilgi sağlar. Ayrıca, klinik standartlar da dahil olmak üzere çoğu irrigant ve irrigasyon yöntemi için oybirliğiyle kabul edilmiş protokollerin olmadığı da akılda tutulmalıdır. Protokollerdeki geniş çeşitlilik olası bir önyargı kaynağıdır. Örneğin, yeni bir irrigant veya yöntemin performansı, fikir birliğine varılamamış bir protokole uygun bir klinik standartla karşılaştırıldığında sonuçları şüpheli olabilir (Konstantinidi vd., 2017). Bu nedenle, bu klinik standartlar karşılaştırma olarak kullanıldığında optimize edilmiş protokollerin izlenmesi zorunludur. Son olarak, irrigantlar ve irrigasyon yöntemleri, tam potansiyellerini göstermek için yeterli bir zorlukla (örneğin ulaşılması zor alanlarda bulunan olgun birçok türlü ex vivo biyofilm veya belirgin klinik belirtileri olan uzun süreli bir in vivo kök kanal enfeksiyonu ile) karşı karşıya

kalmalıdır. Karşılaştırılan tüm irrigasyon maddeleri veya yöntemleri tarafından eşit derecede iyi bir şekilde gerçekleştirilen kolay bir görev, böyle bir karşılaştırma için anlamlı değildir ve eşdeğerlik konusunda yanlış bir sonuca varılmasına yol açabilir.

Gelecekteki Yönler

Şırınga ve iğne ile geleneksel irrigasyon uygulaması muhtemelen yakın gelecekte ultrasonik gibi uygun aktivasyon sistemleriyle birlikte yaygın olarak kullanılmaya devam edecektir. Şimdiye kadar kök kanal sisteminin temizliğini ve dezenfeksiyonunu artırmanın yolları olarak irrigasyon protokollerini basitleştirmenin irrigasyon uygulaması ve aktivasyon/çalkalama yönteminin çeşitli kombinasyonları önerilmiştir (Gutarts vd., 2005; Malentacca vd., 2018; Rödig vd., 2010b; Sigurdsson vd., 2016). Bu eğilim sonunda aktivasyon yöntemlerinin kombinasyonlarına yol açabilir. Ultrasonik ve lazer aktivasyon, kavitasyonun oluşumunu ve yerini daha doğru bir şekilde kontrol etmek için başka alanlarda başarılı bir şekilde birleştirildikleri için böyle bir yaklaşım için potansiyel adaylardır (Feng vd., 2015).

Gelecekte kök kanal irrigasyonunda devrim yaratabilecek bir diğer yön ise özelleştirilmiş irrigasyon protokollerinin geliştirilmesidir. Şu anda, klinisyenlerin her bir vakanın tanısına bağlı olarak biraz farklı protokoller kullanması alışılmadık bir durum değildir. Bakteri örnekleme ve tespit yöntemlerindeki gelecekteki ilerlemeler ve biyofilm fizyolojisi ve konakçı ile etkileşimi hakkında daha derin bir anlayış, protokollerin optimize edilmesine ve hatta her bir vakadaki mikrobiyoma göre özelleştirilmesine olanak tanıyabilir. Kök kanal sisteminin anatomisine göre irrigasyon protokolünün değiştirilmesi fikri de önerilmiştir (Gulabivala vd., 2019; Gulabivala ve Ng, 2014). Kısa vadede, farklı kök kanal sistemi tiplerinde ex vivo irrigasyonun etkinliği üzerine sistematik araştırmalar, her tip için en uygun protokol konusunda bazı kılavuzlar sağlayabilir. Açıkça, önemli bir engel, her klinik vakada kök kanal sistemi tipinin doğru şekilde tanımlanması olacaktır. Başlangıç olarak, bu sorun operasyon mikroskopu altında gözlemlene ve kök kanal anatomisi üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen bilgilerle çözülebilir. Daha sonra, düşük radyasyonlu bir CBCT veya manyetik rezonans görüntüleme gibi iyonlaştırıcı olmayan radyasyona dayanan bir yöntem kullanılarak kök kanal sisteminin yüksek çözünürlüklü üç boyutlu taraması her vaka için standart haline getirilebilir. Bu ayrıntılı tarama, mikrobiyolojik verilerle birlikte bir bilgisayar algoritmasına aktarılarak özelleştirilmiş spesifik bir hasta irrigasyon protokolü sağlayabilir. Bireysel hastalarda farklı tedavi stratejilerinin sonuçlarının ameliyat öncesi bilgisayar tabanlı simülasyonları günümüzde vasküler cerrahide tedavi planlamasına yardımcı olarak kullanılmaktadır. (Chiastra vd., 2016; Chung ve Cebra, 2015). Benzer uygulamaların endodontik tedavilerde de uygulanmaya başlanması gelecekte umut vaat edici olacaktır.

Sonuç

Kök kanal irrigasyonu endodontik literatürde yaygın bir konudur. Ancak debris artıklarının ve smear tabakasının uzaklaştırılması gibi bazı konular çok kapsamlı bir şekilde araştırılırken, irrigantların kök kanal sistemine ve biyofilm üzerine nüfuz etmesi ve uzun vadeli tedavi sonucu üzerindeki etkileri gibi konular çok daha az ilgi görmüştür. Bu nedenle bu alandaki araştırma önceliklerinin yeniden tanımlanmasına ihtiyaç vardır. Yeni çalışmalar ayrıca klinik olarak ilgili karşılaştırmalara odaklanmalı, metodolojik kusurlardan kaçınmalı ve geçerli sonuçlara ulaşmak için yeterince büyük örneklem boyutlarına sahip olmalıdır. Bu nedenle daha fazla çalışma üretmeye çalışmak yerine daha etkin çalışmalar üretmeye odaklanılmalıdır.

Mevcut bilgi birikimine göre, şırınga ve iğne ile kanala gönderilen ve ultrasonik uç ile aktive edilen irrigasyon solüsyonları (NaOCl ve EDTA) kök kanal irrigasyon protokollerinin temel taşı olmaya devam ediyor. Gelecekte Kimya, Mikrobiyoloji ve Akışkanlar Dinamiği gibi diğer bilimlerden gelen bilgileri birleştiren multidisipliner çalışmalarla kök kanal sistemindeki biyofilm daha fazla etki edecek antimikrobiyal ajanlar ve aktivasyon yöntemleri geliştirilebilir.

Kaynaklar

- Adorno, C.G., Fretes, V.R., Ortiz, C.P. et al. (2016) Comparison of two negative pressure systems and syringe irrigation for root canal irrigation: an *ex vivo* study. *International Endodontic Journal*, 49, 174–183.
- Ahmad, M. & Roy, R.A. (1994) Some observations on the breakage of ultrasonic files driven piezoelectrically. *Endodontics and Dental Traumatology*, 10, 71–76.
- Al-Jadaa, A., Paqué, F., Attin, T. & Zehnder, M. (2009a) Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in simulated accessory canals: impact of canal location and angulation. *International Endodontic Journal*, 42, 59–65.
- Al-Jadaa, A., Paqué, F., Attin, T. & Zehnder, M. (2009b) Acoustic hypochlorite activation in simulated curved canals. *Journal of Endodontics*, 35, 1408–1411.
- Altman, D.G. (1994) The scandal of poor medical research. *British Medical Journal*, 308, 283–284.
- Avcı, M., Elbay, Ü. Ş., & Kaşıkçı, S. (2024). Effects of different irrigation activation methods on root canal treatment of primary teeth. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 48(3).
- Azarpazhooh, A., Sgro, A., Cardoso, E., Elbarbary, M., Laghapour Lighvan, N., Baddewy, R. et al. (2022) A scoping review of 4 decades of outcomes in nonsurgical root canal treatment, nonsurgical retreatment, and apexification studies-part 2: outcome measures. *Journal of Endodontics*, 48, 29–39.
- Azim, A.A., Aksel, H., Zhuang, T., Mashtare, T., Babu, J.P. & Huang, G.T. (2016) Efficacy of 4 irrigation protocols in killing bacteria colonized in dentinal tubules examined by a novel confocal laser scanning microscope analysis. *Journal of Endodontics*, 42, 928–934.
- Baumgartner, J.C., Johal, S. & Marshall, J.G. (2007) Comparison of the antimicrobial efficacy of 1.3% NaOCl/BioPure MTAD to 5.25% NaOCl/15% EDTA for root canal irrigation. *Journal of Endodontics*, 33, 48–51.
- Bhuva, B., Patel, S., Wilson, R., Niazi, S., Beighton, D. & Mannocci, F. (2010) The effectiveness of passive ultrasonic irrigation on intraradicular *Enterococcus faecalis* biofilms in extracted single-rooted human teeth. *International Endodontic Journal*, 43, 241–250.
- Boutsioukis, C. (2019) Internal tooth anatomy and root canal irrigation. In: Versiani, M.A., Basrani, B. & Sousa-Neto, M.D. (Eds.) *The root canal anatomy in permanent dentition*. New York, NY, USA: Springer, pp. 303–321.
- Boutsioukis, C., Arias-Moliz, M.T. & Chávez de Paz, L.E. (2022) A critical analysis of research methods and experimental models to study irrigants and irrigation systems. *International Endodontic Journal* In press. <https://doi.org/10.1111/iej.13710>
- Boutsioukis, C., Gogos, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E. & van der Sluis, L.W. (2010c) The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals

- evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *International Endodontic Journal*, 43, 874–881.
- Boutsioukis, C., Gogos, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E. & van der Sluis, L.W.M. (2010d) The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *International Endodontic Journal*, 43, 909–916.
- Boutsioukis, C. & Gutierrez Nova, P. (2021) Syringe irrigation in minimally shaped root canals using 3 endodontic needles: a computational fluid dynamics study. *Journal of Endodontics*, 47, 1487–1495.
- Boutsioukis, C., Kastrinakis, E., Lambrianidis, T., Verhaagen, B., Versluis, M. & van der Sluis, L.W. (2014a) Formation and removal of apical vapor lock during syringe irrigation: a combined experimental and computational fluid dynamics approach. *International Endodontic Journal*, 47, 191–201.
- Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., Kastrinakis, E. & Bekiaroglou, P. (2007) Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal *ex vivo* with three endodontic needles. *International Endodontic Journal*, 40, 504–513.
- Boutsioukis, C., Lambrianidis, T. & Kastrinakis, E. (2009) Irrigant flow within a prepared root canal using different flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. *International Endodontic Journal*, 42, 144–155.
- Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., Verhaagen, B. et al. (2010b) The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of Endodontics*, 36, 1664–1668.
- Boutsioukis, C., Psimma, Z. & van der Sluis, L.W. (2013a) Factors affecting irrigant extrusion during root canal irrigation: a systematic review. *International Endodontic Journal*, 46, 599–618.
- Boutsioukis, C., Psimma, Z. & Kastrinakis, E. (2014b) The effect of flow rate and agitation technique on irrigant extrusion *ex vivo*. *International Endodontic Journal*, 47, 487–496.
- Boutsioukis, C. & Tzimpoulas, N. (2016) Uncontrolled removal of dentin during *in vitro* ultrasonic irrigant activation. *Journal of Endodontics*, 42, 289–293.
- Boutsioukis, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., Wesseling, P. & van der Sluis, L.W.M. (2010a) Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Journal of Endodontics*, 36, 875–879.
- Boutsioukis, C., Verhaagen, B., Walmsley, A.D., Versluis, M. & van der Sluis, L.W. (2013b) Measurement and visualization of file-to-wall contact during ultrasonically activated irrigation in simulated canals. *International Endodontic Journal*, 46, 1046–1055.
- Brito, P.R., Souza, L.C., Machado de Oliveira, J.C., Alves, F.R.F., De-Deus, G., Lopes, H.P. et al. (2009) Comparison of the effectiveness of three irrigation techniques

- es in reducing intracanal *Enterococcus faecalis* populations: an *in vitro* study. *Journal of Endodontics*, 35, 1422–1427.
- Brown, J.I. & Doran, J.E. (1975) An *in vitro* evaluation of the particle flotation capability of various irrigating solutions. *Journal of the California Dental Association*, 3, 60–63.
- Brunson, M., Heilborn, C., Johnson, J.D. & Cohenca, N. (2010) Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *Journal of Endodontics*, 36, 721–724.
- Cameron, J.A. (1988) The effect of ultrasonic endodontics on the temperature of the root canal wall. *Journal of Endodontics*, 14, 554–559.
- Căpută, P.E., Retsas, A., Kuijk, L., Chávez de Paz, L.E. & Boutsoukis, C. (2019) Ultrasonic Irrigant Activation during root canal treatment: a systematic review. *Journal of Endodontics*, 45, 31–44.
- Chan, R., Versiani, M.A., Friedman, S., Malkhassian, G., Sousa-Neto, M.D., Leoni, G.B. et al. (2019) Efficacy of 3 supplementary irrigation protocols in the removal of hard tissue debris from the mesial root canal system of mandibular molars. *Journal of Endodontics*, 45, 923–929.
- Chen, J.E., Nurbakhsh, B., Layton, G., Bussmann, M. & Kishen, A. (2014) Irrigation dynamics associated with positive pressure, apical negative pressure and passive ultrasonic irrigations: a Computational Fluid Dynamics analysis. *Australian Endodontic Journal*, 40, 54–60.
- Chiastra, C., Wu, W., Dickerhoff, B. et al. (2016) Computational replication of the patient-specific stenting procedure for coronary artery bifurcations: From OCT and CT imaging to structural and hemodynamics analyses. *Journal of Biomechanics*, 49, 2102–2111.
- Chow, T.W. (1983) Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *Journal of Endodontics*, 9, 475–479.
- Chung, B. & Cebal, J.R. (2015) CFD for evaluation and treatment planning of aneurysms: review of proposed clinical uses and their challenges. *Annals of Biomedical Engineering*, 43, 122–138.
- Craig Rhodes, S. (2021) Ultrasonic device complications in endodontics: an analysis of adverse events from the Food and Drug Administration manufacturer and user facility device experience. *Journal of Patient Safety* In press. <https://doi.org/10.1097/PTS.00000000000000909>.
- De Meyer, S., Meire, M.A., Coenye, T. & De Moor, R.J. (2017) Effect of laser-activated irrigation on biofilms in artificial root canals. *International Endodontic Journal*, 50, 472–479.
- De Moor, R.J., Meire, M., Goharkhay, K., Moritz, A. & Vanobbergen, J. (2010) Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. *Journal of Endodontics*, 36, 1580–1583.
- De-Deus, G., Reis, C. & Paciornik, S. (2011) Critical appraisal of published smear la-

- yer-removal studies: methodological issues. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 112, 531–543.
- DiVito, E., Peters, O.A. & Olivi, G. (2012) Effectiveness of the Erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers in Medical Science*, 27, 273–280.
- Druttman, A.C.S. & Stock, C.J.R. (1989) An *in vitro* comparison of ultrasonic and conventional methods of irrigant replacement. *International Endodontic Journal*, 22, 174–178.
- Duque, J.A., Duarte, M.A., Canali, L.C. et al. (2017) Comparative effectiveness of new mechanical irrigant agitating devices for debris removal from the canal and isthmus of mesial roots of mandibular molars. *Journal of Endodontics*, 43, 326–331.
- Dutner, J., Mines, P. & Anderson, A. (2012) Irrigation trends among American Association of Endodontists members: a web-based survey. *Journal of Endodontics*, 38, 37–40.
- Eleazer, P.D., Gilbert, G.H., Funkhouser, E. et al. (2016) Techniques and materials used by general dentists during endodontic treatment procedures: findings from the National Dental Practice-Based Research Network. *Journal of the American Dental Association*, 147, 19–27.
- Feng, Y., Qin, D. & Wan, M. (2015) Laser-induced cavitation and photoacoustic cavitation. In: Wan, M., Feng, Y. & ter Haar, G. (Eds.) *Cavitation in biomedicine: principles and techniques*. London, UK: Springer, pp. 431–455.
- Galler, K.M., Grubmüller, V., Schlichting, R., Widbiller, M., Eidt, A., Schuller, C. et al. (2019) Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *International Endodontic Journal*, 52, 1210–1217.
- Gluskin, A.H., Peters, C.I. & Peters, O.A. (2014) Minimally invasive endodontics: challenging prevailing paradigms. *British Dental Journal*, 216, 347–353.
- Grawehr, M., Sener, B., Waltimo, T. & Zehnder, M. (2003) Interactions of ethylenediaminetetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *International Endodontic Journal*, 36, 411–415.
- de Gregorio, C., Arias, A., Navarrete, N., Cisneros, R. & Cohenca, N. (2015) Differences in disinfection protocols for root canal treatments between general dentists and endodontists: A Web-based survey. *Journal of the American Dental Association*, 146, 536–543.
- de Gregorio, C., Estevez, R., Cisneros, R., Paranjpe, A. & Cohenca, N. (2010) Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an *in vitro* study. *Journal of Endodontics*, 36, 1216–1221.
- de Gregorio, C., Paranjpe, A., Garcia, A., Navarrete, N., Estevez, R., Esplugues, E.O. et al. (2012) Efficacy of irrigation systems on penetration of sodium hypochlorite to working length and to simulated uninstrumented areas in oval shaped root

- canals. *International Endodontic Journal*, 45, 475–481.
- de Groot, S.D., Verhaagen, B., Versluis, M., Wu, M.K., Wesselink, P.R. & van der Sluis, L.W. (2009) Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *International Endodontic Journal*, 42, 1077–1083.
- Gulabivala, K., Milesis, G. & Ng, Y.L. (2019) The lavage of pulpo-periapical wounds and its clinical outcomes. *ENDO-Endodontic Practice Today*, 13, 149–164.
- Gulabivala, K. & Ng, Y.-L. (2014) *Endodontics*, 4th edition. London, UK: Mosby, pp. 189–192.
- Gulabivala, K., Patel, B., Evans, G. & Ng, Y.-L. (2005) Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics*, 10, 103–122.
- Haapasalo, M., Qian, W. & Shen, Y. (2012) Irrigation: beyond the smear layer. *Endodontic Topics*, 27, 35–53.
- Haapasalo, M. (2016) Level of evidence in endodontics: what does it mean? *Endodontic Topics*, 34, 30–41
- Herbst, S.R., Krois, J. & Schwendicke, F. (2019) Comparator choice in studies testing endodontic instrument fatigue resistance: a network analysis. *Journal of Endodontics*, 45, 784–790.
- Hockett, J.L., Dommisch, J.K., Johnson, J.D. & Cohenca, N. (2008) Antimicrobial efficacy of two irrigation techniques in tapered and nontapered canal preparations: an *in vitro* study. *Journal of Endodontics*, 34, 1374–1377.
- Hoedke, D., Kaulika, N., Dommisch, H., Schlafer, S., Shemesh, H. & Bitter, K. (2021) Reduction of dual-species biofilm after sonic-or ultrasonic-activated irrigation protocols: a laboratory study. *International Endodontic Journal*, 54, 2219–2228.
- Howard, R.K., Kirkpatrick, T.C., Rutledge, R.E. & Yaccino, J.M. (2011) Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *Journal of Endodontics*, 37, 1301–1305.
- Howick, J., Glasziou, P. & Aronson, J.K. (2010) Evidence-based mechanistic reasoning. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 103, 433–441.
- Hsieh, Y.D., Gau, C.H., Kung Wu, S.F., Shen, E.C., Hsu, P.W. & Fu, E. (2007) Dynamic recording of irrigating fluid distribution in root canals using thermal image analysis. *International Endodontic Journal*, 40, 11–17.
- Huang, T.Y., Gulabivala, K. & Ng, Y.L. (2008) A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *International Endodontic Journal*, 41, 60–71.
- Jensen, S.A., Walker, T.L., Hutter, J.W. & Nicoll, B.K. (1999) Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of Endodontics*, 25, 735–738.
- Jiang, L.M., Verhaagen, B., Versluis, M. & van der Sluis, L.W.M. (2010a) Evaluation of a sonic device designed to activate irrigant in the root canal. *Journal of Endo-*

dontics, 36, 143–146.

- Jiang, L.M., Verhaagen, B., Versluis, M., Zangrillo, C., Cuckovic, D. & van der Sluis, L.W.M. (2010b) An evaluation of the effect of pulsed ultrasound on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. *Journal of Endodontics*, 36, 1887–1891.
- Jiang, L.M., Verhaagen, B., Versluis, M., Langedijk, J., Wesselink, P. & van der Sluis, L.W. (2011) The influence of the ultrasonic intensity on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. *Journal of Endodontics*, 37, 688–692.
- Johnson, M., Sidow, S.J., Looney, S.W., Lindsey, K., Niu, L.N. & Tay, F.R. (2012) Canal and isthmus debridement efficacy using a sonic irrigation technique in a closed-canal system. *Journal of Endodontics*, 38, 1265–1268.
- Kanaan, C.G., Pelegrine, R.A., da Silveira Bueno, C.E., Shimabuko, D.M., Valamatos Pinto, N.M. & Kato, A.S. (2020) Can irrigant agitation lead to the formation of a smear layer? *Journal of Endodontics*, 46, 1120–1124.
- Kishen, A., Shrestha, A. & Del Carpio-Perochena, A. (2018) Validation of biofilm assays to assess antibiofilm efficacy in instrumented root canals after syringe irrigation and sonic agitation. *Journal of Endodontics*, 44, 292–298.
- Konstantinidi, E., Psimma, Z., Chávez de Paz, L.E. & Boutsoukias, C. (2017) Apical negative pressure irrigation versus syringe irrigation: a systematic review of cleaning and disinfection of the root canal system. *International Endodontic Journal*, 50, 1034–1054.
- Leoni, G.B., Versiani, M.A., Silva-Sousa, Y.T., Bruniera, J.F., Pécora, J.D. & Sousa-Neto, M.D. (2017) *Ex vivo* evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. *International Endodontic Journal*, 50, 398–406.
- Liang, Y.H., Jiang, L.M., Jiang, L., Chen, X.-B., Liu, Y.-Y., Tian, F.-C. et al. (2013) Radiographic healing after a root canal treatment performed in single-rooted teeth with and without ultrasonic activation of the irrigant: a randomized controlled trial. *Journal of Endodontics*, 39, 1218–1225.
- Linden, D., Boone, M., De Bruyne, M., De Moor, R., Versiani, M.A. & Meire, M. (2020) Adjunctive steps for the removal of hard tissue debris from the anatomic complexities of the mesial root canal system of mandibular molars: a micro-computed tomographic study. *Journal of Endodontics*, 46, 1508–1514.
- Love, R.M. (2012) Biofilm-substrate interaction: from initial adhesion to complex interactions and biofilm maturity. *Endodontic Topics*, 22, 50–57.
- Macedo, R.G., Verhaagen, B., Fernandez Rivas, D., Gardeniers, J., van der Sluis, L., Wesselink, P.R. et al. (2014a) Sonochemical and high-speed optical characterization of cavitation generated by an ultrasonically oscillating dental file in root canal models. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 324–335.
- Macedo, R., Verhaagen, B., Rivas, D.F., Versluis, M., Wesselink, P. & van der Sluis, L. (2014b) Cavitation measurement during sonic and ultrasonic activated irrigation. *Journal of Endodontics*, 40, 580–583.

- Macedo, R.G., Verhaagen, B., Wesselink, P.R., Versluis, M. & van der Sluis, L.W. (2014c) Influence of refreshment/activation cycles and temperature rise on the reaction rate of sodium hypochlorite with bovine dentine during ultrasonic activated irrigation. *International Endodontic Journal*, 47, 147–154.
- Machtou, P. (2015) Manual dynamic activation (MDA). In: Basrani, B. (Ed.) *Endodontic irrigation: Chemical disinfection of the root canal system*. New York, NY, USA: Springer, pp. 149–155.
- Malentacca, A., Uccioli, U., Mannocci, F., Bhuvu, B., Zangari, D., Pulella, C. et al. (2018) The comparative effectiveness and safety of three activated irrigation techniques in the isthmus area using a transparent tooth model. *International Endodontic Journal*, 51(Suppl 1), e35–e41.
- Malki, M., Verhaagen, B., Jiang, L.M., Nehme, W., Naaman, A., Versluis, M. et al. (2012) Irrigant flow beyond the insertion depth of an ultrasonically oscillating file in straight and curved root canals: visualization and cleaning efficacy. *Journal of Endodontics*, 38, 657–661.
- Matsumoto, H., Yoshimine, Y. & Akamine, A. (2011) Visualization of irrigant flow and cavitation induced by Er:YAG laser within a root canal model. *Journal of Endodontics*, 37, 839–843.
- McGill, S., Gulabivala, K., Mordan, N. & Ng, Y.L. (2008) The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an *ex vivo* model. *International Endodontic Journal*, 41, 602–608.
- Meire, M.A., Poelman, D. & De Moor, R.J. (2014) Optical properties of root canal irrigants in the 300–3,000- nm wavelength region. *Lasers in Medical Science*, 29, 1557–1562.
- Molina, B., Glickman, G., Vandrangi, P. & Khakpour, M. (2015) Evaluation of root canal debridement of human molars using the Gentlewave system. *Journal of Endodontics*, 41, 1701–1705.
- Nagendrababu, V., Duncan, H.F., Bjørndal, L., Kvist, T., Priya, E., Jayaraman, J. et al. (2020) PRIRATE 2020 guidelines for reporting randomized trials in Endodontics: a consensus-based development. *International Endodontic Journal*, 53, 764–773.
- Nagendrababu, V., Murray, P.E., Ordinola-Zapata, R., Peters, O.A., Rôças, I.N., Siqueira, J.F. et al. (2021) PRILE 2021 guidelines for reporting laboratory studies in Endodontology: A consensus-based development. *International Endodontic Journal*, 54, 1482–1490.
- Neuhaus, K.W., Liebi, M., Stauffacher, S., Eick, S. & Lussi, A. (2016) Antibacterial efficacy of a new sonic irrigation device for root canal disinfection. *Journal of Endodontics*, 42, 1799–1803.
- Nielsen, B.A. & Baumgartner, J.C. (2007) Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *Journal of Endodontics*, 33, 611–615.

- NSK. (2017) Tip guide. pp.1–30. Available at: https://www.NSK.-dental.com/admin/wp-content/uploads/oral_hygiene_tip_guide.pdf [Accessed 2021 Oct 27]
- OCEBM Levels of Evidence Working Group. (2022) *The Oxford Levels of Evidence 2*. Available at: <https://www.cebm.ox.ac.uk/resources/level-2-of-evidence/ocebm-level-2-of-evidence> Accessed 2022 Mar 18.
- Ordinola-Zapata, R., Mansour, D., Saavedra, F., Staley, C., Chen, R. & Fok, A.S. (2022) In vitro efficacy of a non-instrumentation technique to remove intracanal multispecies biofilm. *International Endodontic Journal* In press. <https://doi.org/10.1111/iej.13706>.
- Ørstavik, D. (2019) *Essential Endodontology: prevention and treatment of apical periodontitis*, 3rd edition. Oxford, UK: Blackwell Science, pp. 1–10.
- Paqué, F., Boessler, C. & Zehnder, M. (2011) Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. *International Endodontic Journal*, 44, 148–153.
- Paqué, F., Laib, A., Gautschi, H. & Zehnder, M. (2009) Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *Journal of Endodontics*, 35, 1044–1047.
- Park, E., Shen, Y., Khakpour, M. & Haapasalo, M. (2013) Apical pressure and extent of irrigant flow beyond the needle tip during positive-pressure irrigation in an *in vitro* root canal model. *Journal of Endodontics*, 39, 511–515.
- Passalidou, S., Calberson, F., De Bruyne, M., De Moor, R. & Meire, M.A. (2018) Debris removal from the mesial root canal system of mandibular molars with Laser-activated Irrigation. *Journal of Endodontics*, 44, 1697–1701.
- Pedullà, E., Genovese, C., Campagna, E., Tempera, G. & Rapisarda, E. (2012) Decontamination efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming (PIPS) of irrigants using low-energy laser settings: an *ex vivo* study. *International Endodontic Journal*, 45, 865–870.
- Pereira, T.C., Boutsoukis, C., Dijkstra, R.J.B., Petridis, X., Versluis, M., de Andrade, F.B. et al. (2021) Biofilm removal from a simulated isthmus and lateral canal during syringe irrigation at various flow rates: a combined experimental and Computational Fluid Dynamics approach. *International Endodontic Journal*, 54, 427–438.
- Psimma, Z., Boutsoukis, C., Vasiliadis, L. & Kastrinakis, E. (2013a) A new method for real-time quantification of irrigant extrusion during root canal irrigation *ex vivo*. *International Endodontic Journal*, 46, 619–631.
- Psimma, Z. & Boutsoukis, C. (2019) A critical view on sodium hypochlorite accidents. *ENDO-Endodontic Practice Today*, 13, 165–175.
- Ram, Z. (1977) Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 44, 306–312.

- Retsas, A. & Boutsoukias, C. (2019) An update on ultrasonic irrigant activation. *ENDO-Endodontic Practice Today*, 13, 115–129.
- Retsas, A., Dijkstra, R.J.B., van der Sluis, L. & Boutsoukias, C. (2022) The effect of the ultrasonic irrigant activation protocol on the removal of a dual-species bio-film from artificial lateral canals. *Journal of Endodontics* In press. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2022.03.005>
- Retsas, A., Koursoumis, A., Tzimpoulas, N. & Boutsoukias, C. (2016) Uncontrolled removal of dentin during in vitro Ultrasonic Irrigant Activation in curved root canals. *Journal of Endodontics*, 42, 1545–1549.
- Rödig, T., Bozkurt, M., Konietschke, F. & Hülsmann, M. (2010b) Comparison of the Vibringe system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *Journal of Endodontics*, 36, 1410–1413.
- Rödig, T., Zimmermann, F., Konietschke, F., Sydow, H.G. & Wiegand, A. (2018) Comparison of the antibacterial efficacy of sonic-and two ultrasonic-activated irrigation techniques in reducing intracanal *Enterococcus faecalis* populations. *Quintessence International*, 49, 689–697.
- Rodrigues, R.C.V., Zandi, H., Kristoffersen, A.K., Enersen, M., Mdala, I., Ørstavik, D. et al. (2017) Influence of the apical preparation size and the irrigant type on bacterial reduction in root canal-treated teeth with apical periodontitis. *Journal of Endodontics*, 43, 1058–1063.
- Salzgeber, R.M. & Brilliant, J.D. (1977) An *in vivo* evaluation of the penetration of an irrigating solution in root canals. *Journal of Endodontics*, 3, 394–398.
- Sarno, M.U., Sidow, S.J., Looney, S.W., Lindsey, K.W., Niu, L.N. & Tay, F.R. (2012) Canal and isthmus debridement efficacy of the VPro EndoSafe negative-pressure irrigation technique. *Journal of Endodontics*, 38, 1631–1634.
- Savani, G.M., Sabbah, W., Sedgley, C.M. & Whitten, B. (2014) Current trends in endodontic treatment by general dental practitioners: report of a United States national survey. *Journal of Endodontics*, 40, 618–624.
- Shen, Y., Gao, Y., Qian, W., Ruse, N.D., Zhou, X., Wu, H. et al. (2010) Three-dimensional numeric simulation of root canal irrigant flow with different irrigation needles. *Journal of Endodontics*, 36, 884–889.
- Sigurdsson, A., Garland, R.W., Le, K.T. & Woo, S.M. (2016) 12-month healing rates after endodontic therapy using the novel GentleWave system: a prospective multicenter clinical study. *Journal of Endodontics*, 42, 1040–1048.
- Sigurdsson, A., Garland, R.W., Le, K.T. & Rassoulian, S.A. (2018) Healing of periapical lesions after endodontic treatment with the GentleWave procedure: a prospective multicenter clinical study. *Journal of Endodontics*, 44, 510–517.
- Siqueira, J.F., Pérez, A.R., Marceliano-Alves, M.F., Provenzano, J.C., Silva, S.G., Pires, F.R. et al. (2018) What happens to unprepared root canal walls: a correlative analysis using micro-computed tomography and histology/scanning electron

- microscopy. *International Endodontic Journal*, 51, 501–508.
- Sirtes, G., Waltimo, T., Schaetzle, M. & Zehnder, M. (2005) The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *Journal of Endodontics*, 3, 669–671.
- Sjögren, U., Figdor, D., Persson, S. & Sundqvist, G. (1997) Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *International Endodontic Journal*, 30, 297–306.
- van der Sluis, L.W.M., Gambarini, G., Wu, M.K. & Wesselink, P.R. (2006) The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *International Endodontic Journal*, 39, 472–476.
- 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. *International Endodontic Journal*, 40, 415–426.
- van der Sluis, L., Wu, M.K. & Wesselink, P. (2009) Comparison of 2 flushing methods used during passive ultrasonic irrigation of the root canal. *Quintessence International*, 40, 875–879.
- Stojicic, S., Zivkovic, S., Qian, W., Zhang, H. & Haapasalo, M. (2010) Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *Journal of Endodontics*, 36, 1558–1562.
- Swimberghe, R.C.D., De Clercq, A., De Moor, R.J.G. & Meire, M.A. (2019b) Efficacy of sonically, ultrasonically and laser-activated irrigation in removing a biofilm-mimicking hydrogel from an isthmus model. *International Endodontic Journal*, 52, 515–523.
- Tiong, T.J. & Price, G.J. (2012) Ultrasound promoted reaction of Rhodamine B with sodium hypochlorite using sonochemical and dental ultrasonic instruments. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19, 358–364.
- Varela, P., Souza, E., de Deus, G., Duran-Sindreu, F. & Mercadé, M. (2019) Effectiveness of complementary irrigation routines in debriding pulp tissue from root canals instrumented with a single reciprocating file. *International Endodontic Journal*, 52, 475–483.
- Verhaagen, B., Boutsoukis, C., Heijnen, G.L., van der Sluis, L.W.M. & Versluis, M. (2012) Role of the confinement of a root canal on jet impingement during endodontic irrigation. *Experiments in Fluids*, 53, 1841–1853.
- Verhaagen, B., Boutsoukis, C., van der Sluis, L.W. & Versluis, M. (2014a) Acoustic streaming induced by an ultrasonically oscillating endodontic file. *Journal of the Acoustical Society of America*, 135, 1717–1730.
- Verma, N., Sangwan, P., Tewari, S. & Duhan, J. (2019) Effect of different concentrations of sodium hypochlorite on outcome of primary root canal treatment: a randomized controlled trial. *Journal of Endodontics*, 45, 357–363.
- Versiani, M.A., Alves, F.R., Andrade-Junior, C.V. et al. (2016) Micro-CT evaluation

- of the efficacy of hard tissue removal from the root canal and isthmus area by positive and negative pressure irrigation systems. *International Endodontic Journal*, 49, 1079–1087.
- Verstraeten, J., Jacquet, W., De Moor, R.J.G. & Meire, M.A. (2017) Hard tissue debris removal from the mesial root canal system of mandibular molars with ultrasonically and laser-activated irrigation: a micro-computed tomography study. *Lasers in Medical Science*, 32, 1965–1970.
- Villalta-Briones, N., Baca, P., Bravo, M. et al. (2021) A laboratory study of root canal and isthmus disinfection in extracted teeth using various activation methods with a mixture of sodium hypochlorite and etidronic acid. *International Endodontic Journal*, 54, 268–278.
- Willershausen, I., Wolf, T.G., Schmidtman, I. et al. (2015) Survey of root canal irrigating solutions used in dental practices within Germany. *International Endodontic Journal*, 48, 654–660.
- Wright, P.P., Cooper, C., Kahler, B. & Walsh, L.J. (2020a) From an assessment of multiple chelators, clodronate has potential for use in continuous chelation. *International Endodontic Journal*, 53, 122–134.
- Yang, Q., Liu, M.W., Zhu, L.X. & Peng, B. (2020) Micro-CT study on the removal of accumulated hard-tissue debris from the root canal system of mandibular molars when using a novel laser-activated irrigation approach. *International Endodontic Journal*, 53, 529–538.
- Yost, R.A., Bergeron, B.E., Kirkpatrick, T.C. et al. (2015) Evaluation of 4 different irrigating systems for apical extrusion of sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 41, 1530–1534.
- Zehnder, M. (2006) Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, 32, 389–398.
- Zehnder, M., Schmidlin, P., Sener, B. & Waltimo, T. (2005a) Chelation in root canal therapy reconsidered. *Journal of Endodontics*, 31, 817–820.
- Zehnder, M. (2012) Editorial: Research that matters –irrigants and disinfectants. *International Endodontic Journal*, 45, 961–962.
- Zeltner, M., Peters, O.A. & Paqué, F. (2009) Temperature changes during ultrasonic irrigation with different inserts and modes of activation. *Journal of Endodontics*, 35, 573–577.
- Zhang, D., Shen, Y., de la Fuente-Núñez, C. & Haapasalo, M. (2019) *In vitro* evaluation by quantitative real-time PCR and culturing of the effectiveness of disinfection of multispecies biofilms in root canals by two irrigation systems. *Clinical Oral Investigations*, 23, 913–920.