

Endodontide İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

Medine Çiçek¹

Ahter Şanal Çıkman²

Özet

Endodontik tedavinin primer hedefi; kontamine ve enfekte kök kanal sisteminin mikroorganizmalardan en uygun şekilde temizlenmesi ile enfeksiyonun tedavi edilmesi ve sonraki süreçlerde meydana gelebilecek yeniden enfeksiyonun önüne geçilmesidir. Başarılı bir endodontik tedavi, kök kanal sisteminin etkin şekilde enstrümantasyonu, irrigasyonu ve obtürasyonuna bağlıdır. Pulpa ve periapikal doku hastalıklarının en önemli etkeni bakteriler olarak bilirse de endodontik enfeksiyonlar polimikrobiyal enfeksiyonlardır. Kök kanal sisteminin karmaşık anatomisi enfekte alanın tamamını debride etme yeteneğimizi sınırlandırır. Bu nedenle kök kanallarındaki enfeksiyon odaklarını efektif şekilde uzaklaştırabilmek için kök kanal preparasyonu etkin bir irrigasyon protokolü ile birlikte gerçekleştirilmelidir.

Günümüzde kanal sistemi içindeki bakteri ve debris artıklarını azaltmada irrigasyona yardımcı olabilecek farklı araç ve teknikler geliştirilmiştir. Manuel dinamik aktivasyon, sonik ve ultrasonik aktivasyon, lazer aktivasyon yöntemlerinin dışında geleneksel enjektörler ile gerçekleştirilen irrigasyon gibi klasik yöntemler de kullanılmaktadır. Klinik deneyimler geleneksel yaklaşımın tipik olarak kök kanal sisteminin kompleks yapısından kaynaklanan, özellikle kanallar arasındaki anastomozlar ve kök kanalının en apikal kısmı gibi periferik alanlarda solüsyon penetrasyonunun yetersiz olduğunu göstermiştir. Bu nedenle irrigasyonun nüfuzunu ve etkinliğini artırmak için farklı aktivasyon teknikleri geliştirilmiştir.

Giriş

Başarılı bir kök kanal tedavisi için mekanik preparasyonun ardından uygulanan kimyasal irrigasyon kritik bir role sahiptir. Endodontik tedavide mekanik preparasyonun yetersiz kaldığı ve isthmus, lateral kanal,

- 1 Uzman Diş Hekimi, Recep Tayyip Erdoğan Fakültesi Diş Hekimliği Fakültesi, RİZE, Türkiye medine.cicek@erdogan.edu.tr ORCID ID: 0000-0001-7322-5532
- 2 Dr. Öğretim Üyesi, Recep Tayyip Erdoğan Fakültesi Diş Hekimliği Fakültesi, RİZE, Türkiye ahter.sanalcikman@erdogan.edu.tr ORCID ID: 0000-0003-2145-5859

apikal delta gibi kök kanal sisteminin karmaşık anatomisinden kaynaklı ulaşılamayan bölgeleri dezenfekte etmenin en etkili yolu kök kanal sisteminin irrigasyonudur.¹ Çünkü bu alanlar, kök kanal dolgu malzemelerinin yeterli penetrasyonunu engelleyerek apikal bölgede inflamasyona yol açabilir.^{2,3} Geleneksel irrigasyon tekniklerinde, irrigasyon solüsyonu iğne ucundan yalnızca 1-1,5 mm kadar ilerleyebilir ve bu mesafe, kök kanal sisteminin karmaşık anatomisini göz önüne aldığımızda genellikle yetersiz kalır.⁴ Özellikle dar kök kanallarının apikal bölgelerinde, irrigasyon ajanlarının kanal duvarlarının tüm yüzeyleriyle doğrudan temasını sağlamak oldukça güçtür.⁵ Bu nedenle, irrigasyon solüsyonlarının daha etkili olabilmesi için çeşitli irrigasyon aktivasyon yöntemleri geliştirilmiştir.⁴

2. Manuel Aktivasyon Teknikleri

İrrigasyon ajanı, kök kanal sistemi boyunca hareket ettirilerek tüm bölgelere ulaşması sağlandığında, kesme ve akış basıncı oluşturarak fiziksel ve kimyasal etkilerini daha etkin bir şekilde gösterebilir.⁵ Bu amaçla, manuel ve rotasyonel uygulamalar olmak üzere iki temel yöntem bulunmaktadır. Şırınga, fırça, ege veya guta perka konlarının kullanıldığı manuel dinamik ajitasyon (MDA) gibi teknikler bu yaklaşımlara örnektir.⁵

2.1. İrrigasyon Fırçaları

İrrigasyon fırçaları, solüsyonun kök kanalına iletilmesinde doğrudan bir rol oynamaz; ancak, kanal içindeki düzensizliklere ulaşarak debrisin ve pulpa kalıntılarının uzaklaştırılmasına katkı sağlarlar.⁵ En yaygın kullanılan irrigasyon fırçaları arasında Endobrush (C & S Microinstruments Limited, Markham, Ontario, Kanada) ve NaviTip FX (Ultradent Products Inc., Güney Ürdün, UT) bulunmaktadır. Endobrush, 30 gauge'lik bir irrigasyon iğnesinin ucuna fırça entegre edilerek tasarlanmıştır.⁶

Keir ve ark.⁴ yaptıkları çalışmada, Endobrush'ın aktif fırçalamaya ve rotasyonel hareket mekanizması sayesinde kök kanallarının dezenfeksiyonunda etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

2.2. Manuel Dinamik Aktivasyon (MDA)

MDA yönteminde, şekillendirilmiş kanallarda ana kon olarak belirlenmiş kanala uyumlu bir guta perka, belirlenen çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde kanala yerleştirilir ve 2-3 mm ileri geri hareket ettirilerek irrigasyon solüsyonunun aktive edilmesi sağlanır.⁵ Bu ileri geri hareket, kanal içinde farklı basınç bölgeleri oluşturarak irrigasyon ajanının daha geniş bir yüzeye temas etmesine olanak tanır.⁵ Kolay ulaşılabilirliği ve ekonomik bir yöntem olması avantajlarına rağmen, gelişmiş teknolojik sistemlerle kıyaslandığında

etkinliğinin daha düşük olması nedeniyle klinik uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmemektedir.⁷

3. Mekanik Aktivasyon Teknikleri

3.1. Rotary Fırçalar

Angulduruya takılarak kullanılan mikro fırçalar, kanal içindeki debris ve smear tabakasını uzaklaştırmak için geliştirilen bir diğer irrigasyon aktivasyon yöntemidir.⁸ Dakikada 28.300 devirle çalışan bu fırçalar, kök kanalındaki düzensiz bölgelere erişerek radyal olarak uzanan fırça kılları sayesinde debrisin apikalden koronale doğru çıkarılmasını sağlar.⁵

Esnek yapıda tasarlanmış başka bir fırça türü olan CanalBrush (Coltene Whaledent, Langenau, Germany), kök kanallarındaki düzensizliklere ve eğimlere uyum sağlayarak 600 rpm hızla çalışan motorlara takılabilmektedir. Yapılan bir çalışmada, CanalBrush yönteminin ultrasonik yöntemlerle karşılaştırıldığında, her iki yöntemin de manuel irrigasyona göre daha etkili olduğu; ancak, aralarında anlamlı bir fark bulunmadığı belirtilmiştir.⁹

4. Kanal Preparasyonu Sırasında İrrigasyon Aktivasyonu Yapan Sistemler

4.1. Quantec-E İrrigasyon Sistemi

Quantec-E (SybronEndo, Orange, CA) irrigasyon sistemi, döner aletlerle kök kanal preparasyonu sırasında sürekli irrigasyon yapmayı hedefler.⁵ Bu sistem, kullanılan solüsyon miktarını artırarak ve kanal içinde daha uzun süre kalmasını sağlayarak kök kanallarının solüsyonla daha geniş bir alanda temas etmesini ve derin bölgelere nüfuz etmesini amaçlar.⁵ Ancak, Quantec-E sistemiyle yapılan bir çalışmada, kök kanalının yalnızca koronal kısmında daha temiz dentin yüzeyleri elde edildiği; apikal ve orta üçlüde ise debris ve smear tabakası uzaklaştırma etkinliği bakımından geleneksel şırınga irrigasyonundan farklılık göstermediği bildirilmiştir.¹⁰ Benzer şekilde Walters ve ark.¹¹ yaptıkları çalışmalarında, Quantec-E sistemi ile geleneksel şırınga irrigasyonu arasında anlamlı bir fark bulunmadığı ifade edilmiştir.

4.2. Self Adjusting File Sistemi (SAF)

Mevcut döner ege sistemlerinin oval kanalların etkili şekilde temizlenememesi, temizliğin büyük ölçüde irrigasyona bağlı olması, sağlam dentin dokusunun gereksiz yere aşırı kaldırılması ve mikro çatlakların oluşması gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır.¹² Bu dezavantajların çözümüne yönelik olarak SAF sistemi geliştirilmiştir. SAF sistemi, kök

kanalının kesit şekline uyum sağlayarak kemomekanik debridmanı en üst seviyeye çıkarmayı hedefler.⁷

SAF, esnek ve sıkıştırılabilir bir nikel-titanyum (NiTi) malzemeden yapılmış içi boş silindirik kafes şeklinde bir eğe ile bu eğeye sürekli irrigasyon sağlayan bir pompadan (VATEA pompası) oluşur. Eğe içeri ve dışarı doğru vibrasyonlar yaparak çalışır. Aletin iç kısmının boş olması sıvının kolayca bu kısımlara kaçmasını ve periapikal dokulara taşmasını önler.⁷ Bu sistemle, kanal duvarlarından homojen ve minimum dentin dokusu uzaklaştırılarak kanalın dezenfeksiyonu amaçlanmaktadır.¹³ Tüm irrigasyon aktivasyon sistemleri, solüsyonun akış hareketini artırma ve akustik akışı indükleme esasına dayanırken, SAF mekanik bir ovma hareketi ile dentin yüzeyinde etkili bir temizlik yapmaktadır. Ancak ağ örgülerde deformasyon ve kopma gibi sorunlar yaşanabilir.⁷ Neves ve ark.¹⁴ yaptıkları çalışmada SAF sisteminin kök kanalındaki bakteriyel yoğunluğu azaltmada el eğelerine göre daha etkili olduğu, ancak ilave irrigasyon aktivasyon yöntemlerine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

4.3. XP-Endo Finisher

XP-Endo Finisher (FKG, Dentaire SA La Chaux-de-Fonds, İsviçre), irrigasyon ajanlarının etkisini artırmak ve kanal dezenfeksiyonunu optimize etmek amacıyla geliştirilen tamamlayıcı bir eğe sistemidir.¹⁵

Özel bir ısıl işlem görmüş NiTi MaxWire alaşımından yapılan XP-Endo Finisher, şekil hafızası özelliğinden dolayı oda sıcaklığında düz iken (Martensit fazında); vücut sıcaklıklarında düz yapısını kaybederek östenit faza geçiş yapar. Bu faz değişikliği, ulaşılması zor alanlara erişim sağlarken etkili bir dezenfeksiyon imkanı sunar.¹⁶ XP-Endo Finisher, kanal içinde oluşturduğu basınç değişiklikleri ile irrigasyon solüsyonunun aktivasyonunu artırır ve bakterilerin ortamdaki uzaklaştırılmasına yardımcı olur.¹⁷ Yapılan araştırmalar, bu yöntemin kök kanallarındaki bakteriyel yükü azaltmada etkili olduğunu ortaya koymuştur.¹⁸

5. Negatif Basınç Prensibi ile Çalışan Cihazlar

Kök kanal sistemindeki irrigasyon aktivasyonunu optimize etmek amacıyla negatif basınç prensibiyle çalışan cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlar arasında RinsEndo (Dürr Dental GmbH & Co, Almanya) ve EndoVac (Discus Dental, ABD) sistemleri yer almaktadır.¹⁹

RinsEndo, basınç-vakum teknolojisini kullanan otomatik bir kanal irrigasyon cihazıdır. Sistem; ünite takılan bir başlık, enjektör ve kanülden oluşur. 65 mikrolitre solüsyonun 1,6 Hz titreşim sıklığıyla enjektörden çekilerek kanül aracılığıyla kök kanallarına iletilmesi sağlanır. Kullanılmış

solüsyon vakum fazında kanaldan emilir ve bu döngü bir dakika içinde yaklaşık 100 kez tekrarlanır.¹⁹ RinsEndo'nun geleneksel irrigasyon yöntemlerine kıyasla daha etkili olduğu belirtilmiştir.²⁰ Bununla birlikte bir başka çalışmada ise kök kanallarından dentin artıklarının uzaklaştırılması açısından RinsEndo ve geleneksel yöntemler arasında anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir.²⁰

Son zamanlarda gelişim gösteren sistemlerden biri olan EndoVac sistemi, apikalde negatif basınç oluşturarak irrigasyon solüsyonunun apikal bölgeden sürekli aspire edilmesini sağlar. Bu sistem, sürekli sıvı akışı ile kök kanal dezenfeksiyonu ve smear tabakasının kaldırılmasını hedefler.²¹ EndoVac'ın, kök kanalındaki irrigasyon solüsyonunun hızlı akışını sağladığı ve çalışma boyundan 1 mm kısa mesafede, geleneksel yöntemlere göre debris daha etkili bir şekilde uzaklaştırdığı belirtilmiştir.²² Shin ve ark.²³ yapmış oldukları çalışma, EndoVac'ın debrisin uzaklaştırılmasında geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, başka bir araştırma, EndoVac'ın kök kanallarındaki debris önemli ölçüde uzaklaştırabildiğini rapor etmiştir.²⁴ EndoVac'ın, tek başına veya fotodinamik tedaviye ek olarak kullanıldığında, kök kanallarındaki *Enterococcus faecalis* oranını azalttığını belirten çalışma da bulunmaktadır.¹⁸

6. Sonik Aktivasyon Teknikleri

Sonik sistemler 1-6 kHz frekans aralığında çalışarak dönme hareketi yerine yatay yönde verilen enerji ile aktivasyon sağlayan cihazlardır.²⁵ Bu sistemlerde kullanılan kesici olmayan uçlar, irrigasyon solüsyonlarını aktifleştirir. Sonik sistemler kısa yukarı-aşağı vertikal hareketi ile güçlü bir hidrodinamik fenomen oluşturur ve bu şekilde solüsyonun etkinliğini artırır.²⁶

6.1. EndoActivator

EndoActivator (Dentsply Tulsa Dental Specialties, ABD), sonik irrigasyon için üretilmiş bir cihazdır. Üç çeşit polimer uç ve üç farklı güç seçeneği bulunmaktadır. Polimer uçların ileri-geri hareketleriyle oluşturulan hidrodinamik aktivasyon mekanizması, kök kanallarındaki ulaşılması güç alanlara solüsyon taşınmasını sağlar.²⁶ Kesici olmayan uçları sayesinde kanal duvarlarına zarar vermez ve irrigasyon solüsyonuna belirli bir hız kazandırır. Ancak uçlarının radyolüsent olması, kopma durumunda parçanın tespitini zorlaştırabilir.²⁷

Rödig ve ark.²⁸ yaptıkları çalışmada, kurvatürlü kök kanallarında EndoActivator, Pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) ve CanalBrush yöntemlerinin debris uzaklaştırma etkinliği açısından herhangi bir fark göstermediği rapor edilmiştir. Bununla birlikte Karade ve ark.²⁷, EndoActivator'ün smear tabakasını geleneksel şırınga irrigasyonuna kıyasla daha etkili bir şekilde uzaklaştırdığını belirtmişlerdir.

6.2. Sonic Air MM 1500

Sonic Air MM 1500 (Micro Mega, İsviçre), 1500-3000 Hz frekans aralığında çalışan ve paslanmaz çelikten üretilmiş spiral şekilli Rispi Sonic eğiyle donatılmış bir cihazdır. Eği hem dentinde aşındırma hem de irrigasyon aktivasyonu için tasarlanmıştır. Kanal içerisine başlık yerine enjektörle verilen solüsyon aralıklı olarak tazelenir.²⁹ Yapılan bir çalışmada, Sonic Air MM 1500 ile aktive edilen irrigasyon yönteminin, geleneksel şırınga irrigasyonuna kıyasla daha temiz kanallar sağladığı rapor edilmiştir.³⁰

6.3. Vibringe

Sonik aktivasyon teknikleri arasında yer alan Vibringe (Vibringe B.V. Corp, Amsterdam, Hollanda), solüsyonun manuel aktarımını sonik aktivasyonla birleştiren yenilikçi bir cihazdır. Özel olarak tasarlanmış tek kullanımlık bir şırıngaya uyum sağlayan bu kablosuz el aleti, her türlü irrigasyon iğnesiyle uyumludur. Standart bir iğne kullanılarak, kök kanalına titreşimli ve sürekli bir şekilde solüsyon aktarımı sağlar.³¹ Akustik akış ve sonik akış teknolojilerini bir araya getiren bir sisteme sahiptir.³¹ Yapılan bir çalışmada, Vibringe yöntemiyle gerçekleştirilen kanal irrigasyonunun, PUI'ye göre daha az etkili olduğu; ancak geleneksel şırınga irrigasyonuna oranla daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir.³²

6.4. Eddy

Eddy (VDW, Münih, Almanya), 6 kHz frekansla çalışan, tek kullanımlık kesmeyen esnek polimer bir uca sahip bir sonik irrigasyon cihazıdır. Esnek uçları sayesinde eğimli kanallarda güvenli bir şekilde çalışabilir ve dentin düzensizliklerine yol açmaz. Özel bir başlıkla kullanılan Eddy'nin her başlığa uymaması tek dezavantajıdır.³³

Farklı irrigasyon aktivasyon protokollerinin debris ve smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğini inceleyen bir çalışmada, Eddy'nin pasif ultrasonik aktivasyona benzer sonuçlar gösterdiği bildirilmiştir.³⁴ EndoActivator ve Eddy gibi sonik sistemlerin, pasif ultrasonik aktivasyon ile organik doku uzaklaştırma etkinliklerinin karşılaştırıldığı başka bir çalışmada, bu sistemler arasında anlamlı bir fark olmadığı ve her iki yöntemin de organik dokuların giderilmesinde etkili olduğu bildirilmiştir.³⁵ Ayrıca, eğimli kök kanallarında farklı aktivasyon yöntemlerinin apikal debris ekstrüzyonu üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışmada, en yüksek debris ekstrüzyonunun Eddy grubunda olduğu saptanmıştır.³⁶ Geleneksel irrigasyon, PUI, EndoActivator ve Eddy'nin postoperatif ağrı üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışmada, 24 saat sonunda en fazla ağrının geleneksel şırınga irrigasyonunda, en az ağrının ise Eddy grubunda olduğu rapor edilmiştir.³⁷

Eddy ve PUİ'nin kök kanallarındaki mikrobiyal yükü azaltma etkinliğini karşılaştıran bir araştırmada, Eddy'nin PUİ'ye kıyasla daha üstün bir performans sergilediği ortaya konulmuştur.⁴⁰ Ayrıca, Eddy'nin organik doku çözme etkinliğinin PUİ'den daha iyi olduğunu gösteren başka çalışmalar da bulunmaktadır.^{38, 39}

7. Ultrasonik Aktivasyon Teknikleri

Ultrasonikler 1957 yılında Richman tarafından tanıtılmış ve günümüzde kök kanal tedavisinde irrigasyon solüsyonlarının etkinliğini artırmak için kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir.³⁸ Ultrasonik aktivasyonda kök kanalı içerisine yerleştirilen ultrasonik uçlar, node ve antinode bölgeleri oluşturarak yatay salınımlar yapar ve genellikle 25-30 kHz frekansında çalışırlar.⁴⁰ Minimum yer değiştirme veya minimum salınım bölgesi 'node' olarak, maksimum yer değiştirme veya maksimum salınım bölgesi ise 'antinode' olarak tanımlanır.⁴⁰ Ultrasonik eğeler, kök kanallarını mekanik olarak genişletme ve debris uzaklaştırma potansiyeline sahiptir.

Ultrasonik enerji, sonik enerjiye kıyasla daha yüksek frekans ve daha düşük amplitüd ile etki gösterir. Ancak, dentin yüzeyinde aşındırma kontrolünün zor olması nedeniyle, ultrasonikle yapılan irrigasyon sırasında perforasyonlar veya kanal içi düzensizlikler oluşma riski mevcuttur.⁴⁰ Ultrasonik irrigasyonun smear ve debris tabakalarını etkin bir şekilde uzaklaştırdığı literatürde belirtilmiştir.⁴¹

Literatürde iki çeşit ultrasonik aktivasyon bulunmaktadır.

a. Ultrasonik Enstrümantasyon (UI)

Ultrasonikenstrümantasyon, kök kanalında irrigasyon ve enstrümantasyon işlemlerinin eş zamanlı ve kombine uygulanmasıyla aktivasyonun sağlandığı bir sistemdir. Bu sistemde ultrasonik ucun hareketinin kanal içerisinde kontrol edilmesi güçtür. Ayrıca, düzensiz aşındırma sonucu oluşan madde kaybının kontrol edilememesi ve kullanım sonrası kök kanal yapısında meydana gelen değişiklikler, özellikle de apikal perforasyon riski, bu yöntemin klinikte yaygın olarak tercih edilmesini sınırlamaktadır.⁴⁰ Ultrasonik enstrümantasyonun, kök kanalından debris ve smear tabakasını uzaklaştırmada pasif ultrasonik irrigasyona kıyasla daha az etkili olduğu literatürde rapor edilmiştir.^{42,43}

b. Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUI)

PUI, kök kanal şekillendirme işlemi tamamlandıktan sonra, kesici özelliği olmayan ultrasonik bir eğe ile kanal duvarlarından madde kaldırmadan yalnızca irrigasyon solüsyonunun aktivasyonu amacıyla kullanılan bir yöntemdir.^{40,44} PUI, günümüzde en yaygın kullanılan aktivasyon sistemlerinden biri olup

irrigasyon açısından altın standart olarak kabul edilmektedir.³⁹ PUI'nin çalışma prensibi, hidrodinamik aktivasyon ile akustik enerjinin titreşen bir ege veya ince bir tel aracılığıyla kanal içerisindeki irrigasyon solüsyonuna iletilmesine dayanmaktadır.^{40,41} Bu enerji, ultrasonik dalgalar yardımıyla kanal içindeki irrigasyon solüsyonunun kavıtasyonunu indükler. Böylece, kök kanal enstrümanlarının ulaşamadığı alan ve yüzeylere irrigasyon solüsyonunun temasını artırarak dezenfeksiyona önemli ölçüde katkı sağlar.⁴¹ UI ile kıyaslandığında, PUI'nin kök kanalından debris ve smear tabakasını uzaklaştırmadaki üstün etkinliği literatürde bildirilmiştir.

UI'nin bu açıdan daha düşük performans göstermesi, akustik dalgalanma ve kavıtasyon seviyelerindeki azalma ile açıklanmaktadır.⁴²

PUI tekniğinde kullanılan ultrasonik uçların, kök kanal duvarlarına temas etmeden serbestçe titreşmesi ve apikal bölgeye yakın bir konumda bulunması gereklidir. Kanal duvarlarına temas etmesi durumunda kırılma riski artacağından, özellikle eğimli kanallarda kullanım sırasında dikkat edilmelidir.⁴⁵ Kullanılan ultrasonik uçların küçük çaplı olması, kanal içinde rahat bir şekilde salınım yapabilmesine olanak tanıyarak aktivasyon etkinliğini artırmaktadır. Bu bağlamda, PUI yönteminde genellikle #20 çapından daha büyük ultrasonik uçların kullanılmaması önerilmektedir.³⁰

PUI'nin geleneksel şırınga irrigasyonuna kıyasla özellikle isthmuslarda pulpa dokusu artıklarını, debris ve planktonik bakterileri daha etkin şekilde uzaklaştırdığı belirtilmiştir.⁴¹ Yapay kök kanalları kullanılarak yapılan bir çalışmada, PUI'nin kalsiyum hidroksit uzaklaştırmada geleneksel şırınga irrigasyonu ve XP-Endo Finisher'a göre anlamlı derecede daha etkili olduğu saptanmıştır.³³ İrrigasyon solüsyonu olarak steril suyun tercih edildiği bir başka çalışmada ise PUI yöntemiyle yapılan irrigasyonun, geleneksel yöntem ve EndoVac irrigasyonuna kıyasla bakterilerin giderilmesinde daha üstün bir performans sergilediği rapor edilmiştir.⁴⁶ Literatürde, NaOCl ve EDTA irrigasyon solüsyonlarının ultrasonik yöntemle aktive edilmesinin debris ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında etkin bir yöntem olduğu bildirilmiştir.⁴⁷ Kök kanallarının temizlenmesi ve şekillendirilmesinde; geleneksel mekanik preparasyon sonrasında, 5 dakika boyunca %3'lük NaOCl solüsyonunun ultrasonik olarak aktive edilerek kullanılması sonucu smear tabakasının daha etkin bir şekilde uzaklaştırılabileceği ileri sürülmüştür.⁴⁸

8. Gentlewave

Son zamanlarda ABD'de tanıtılan GentleWave (GW) (Sonendo, Laguna Hills, CA, ABD) sistemi, kök kanal preparasyonunu minimumda tutarak dişin bütünlüğünü ve dayanıklılığını korumayı amaçlayan irrigasyon aktivasyon yöntemlerinden biridir.⁵⁰ Bu sistem, gelişmiş sıvı dinamiği ve

akustik enerjiyi kullanarak kök kanalında dezenfeksiyon sağlamak için geniş spektrumlu multisonik ses dalgaları üretir.^{50,51} El aletinin ucu kök kanalı içerisine yerleştirilmeden pulpa odasında konumlandırılarak irrigasyon solüsyonları kök kanal sistemine dağıtılır, bu sayede yüksek hızlı ve güçlü bir kesme kuvveti oluşturulur.^{52,53} Yapılan bir araştırma, GW sisteminin PUI ve geleneksel irrigasyona göre sırasıyla sekiz ve on kat daha hızlı doku çözdüğünü göstermiştir.⁵⁰ Ayrıca, GW sisteminin organik madde çözme hızının diğer yöntemlere göre daha fazla olduğu ve biyofilm, sert doku kalıntıları ve smear tabakasının daha etkin bir şekilde uzaklaştırıldığı gözlemlenmiştir.^{54,55}

9. Lazer Destekli Aktivasyon

Günümüzde diş hekimliğinde lazer kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.⁵⁶ Özellikle endodontik tedavi süreçlerinde, kök kanallarının temizlenmesi, şekillendirilmesi, bakteri, debris ve smear tabakasının uzaklaştırılması ve irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu gibi işlemlerde lazerler tercih edilmektedir.^{57,58} Diş hekimliğinde kullanılan lazerler (532 nm ile 10600 nm arasında değişen dalga boylarına sahip) termal etki yaratır ve bakteri hücre yapısını değiştirerek bakterisidal etki gösterir.^{59,60} CO₂, Nd:YAG, Argon, Diyot, Er,Cr:YSGG, Er:YAG gibi çeşitli lazerler tercih edilmektedir.⁶¹ Er:YAG lazerlerin sert doku üzerindeki etkisi, hidroksiapatite karşı yüksek afiniteleriyle ilişkilidir ve bu lazerler, inorganik yapılar içerisindeki su tarafından absorbe edilerek dokuda basınç oluşturur ve böylece dokuların parçalanmasına neden olur.⁶² MDA, PUI ve Er:YAG lazer destekli aktivasyon tekniklerinin apikal bölgedeki debris temizleme etkinliğini karşılaştıran bir çalışmada, Er:YAG lazerle yapılan aktivasyonun diğer yöntemlere kıyasla daha üstün olduğu rapor edilmiştir.⁶³

- Lazer ile Aktive Edilen İrrigasyon (LAI) : Lazerin fiber ucundan yayılan ısının solüsyonla temas etmesi sonucunda buhar kabarcıkları meydana gelir. Bu kabarcıkların genişleyerek patlaması, solüsyonun aktivasyonunu sağlar.⁶⁴ Yapılan araştırmalarda lazerle aktivasyonun, kanaldaki irrigasyon solüsyonunun yüksek hızla dalgalanmasını sağladığı ve kavitasyon etkisi oluşturduğu gözlemlenmiştir.⁶⁵ LAI için, lazerin çalıştığı dalga boyu ve uygulanan gücü önemlidir, çünkü sulama sıvısının emilim katsayısı dalga boyuna bağlıdır, güç ise kavitasyon miktarını etkiler.^{66,67} Bazı çalışmalar^{56,68} LAI'nin, erişilmesi zor alanlarda NaOCl'nin dağılımı ve temizleme yeteneği üzerindeki olumlu etkilerini bildirmiştir. Er:YAG lazerin yeniden tasarlanarak geliştirilen 'Fotonla Başlatılan Fotoakustik Akış' (PIPS) ve 'Şok Dalgası Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akış' (SWEEPS) yöntemleri, literatürde tanımlanmış yeni tekniklerdir.⁶⁹

- PIPS : Lazer fiber ucu solüsyon ile doldurulmuş kanal ağzına yerleştirilir ve Erbiyum lazer ışığı sıvıya iletir.⁷⁰ Bu işlem, sıvının lokal olarak ısınmasına ve fiber ucunda bir buhar kabarcığı oluşmasına neden olur.^{71,72,73} Oluşan bu kabarcık lazer enerjisiyle genişler ve ardından maksimum genişlikten sonra çöker. Belirli koşullar altında, birincil kabarcığın çökmesi, ikincil bir kabarcığın oluşmasına ve genişlemesine yol açar. Solüsyonun bu fotoakustik hareketi, kök kanal sistemindeki sıvının üç boyutlu olarak çalkalanmasını sağlayarak debrisin giderilmesine ve aksesuar kanalların temizlenmesine yardımcı olur.^{72,74,75,76} 2010 yılında yapılan bir çalışmada, kök kanal tedavisinde PIPS ile irrigasyon aktivasyonu incelenmiş ve EDTA solüsyonunun aktive edilmesi sonucunda, PIPS'in geleneksel şırınga irrigasyonuna göre smear tabakasını daha etkin şekilde uzaklaştırdığı bildirilmiştir.⁷⁷ Ayrıca, PIPS ve geleneksel şırınga irrigasyonunun karşılaştırıldığı bir çalışmada, PIPS'in bakteri eliminasyonunda daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.⁷⁸ Akçay ve ark.⁷⁹ yaptıkları çalışma PIPS ve PUI kullanımı sonrası biyoseramik esaslı kanal patının dentin tübüllerinde daha derine penetre olduğunu göstermiştir. Arslan ve ark.⁸⁰ PIPS, EndoActivator ve geleneksel şırınga irrigasyonunun ikili ve üçlü antibiyotik patların uzaklaştırılmasındaki etkinliklerini araştırmış ve PIPS grubunun diğer gruplara göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.
- SWEEPS : PIPS yönteminin etkinliğini artırmak amacıyla SWEEPS tekniği geliştirilmiştir. Kısıtlı bir alan olan kök kanallarında kabarcıkların serbestçe genişlemesi mümkün olmadığından, kabarcık hacmindeki değişiklik gecikir ve bu durum dar kanallarda kabarcıkların salınım süresinin uzamasına neden olur. Bu nedenle, PIPS tekniğinde kullanılan tek lazer atımları kök kanallarında şok dalgaları oluşturmaz.^{81,82} SWEEPS tekniği, kök kanalları gibi kısıtlı alanlarda şok dalgaları üretmek amacıyla geliştirilmiştir.⁸² SWEEPS tekniğinde, lazerle oluşturulan ilk kabarcık çökerken, ikinci bir lazer atımı gönderilir ve bu, ikinci bir kabarcığın oluşmasına neden olur. İkinci kabarcığın genişlemesi, birincil kabarcığın çöküşünü hızlandırır ve şiddetli bir çöküşe yol açarak şok dalgaları oluşturur.⁸¹ Şok dalgaları sıvı boyunca yayılır ve çevresiyle etkileşime girerek aksesuar kanalların derinliklerine ulaşabilir, döküntü ve bakterileri uzaklaştırabilir.^{82,83} Artan basınç sayesinde, irrigantlar kök kanalının derinliklerinde daha fazla ilerleyebilir ve dentin tübüllerine daha derinlemesine nüfuz edebilir.^{84,85}

Geleneksel lazer destekli aktivasyonda, lazer ucunun apikal bölgede konumlanabilmesi için kanalın genişletilmesi gerekiyken, PIPS ve SWEEPS yöntemlerinde özel fiber uç sadece kanalın girişine yerleştirilerek genişletme yapılmaz.⁸⁶ PIPS ve SWEEPS irrigasyon yöntemleri karşılaştırıldığında, SWEEPS'in debris uzaklaştırma etkinliğinin daha yüksek olduğu bulunmuştur.⁸⁷ Yapılan başka bir çalışmada SWEEPS, PIPS ve PUI aktivasyon yöntemlerinin kanal içindeki debris uzaklaştırma etkinlikleri karşılaştırılmış ve SWEEPS'in, kök kanallarının tüm bölgelerinde diğer iki yönteme göre daha iyi debris uzaklaştırdığı saptanmıştır.⁸⁸

10. Ozon ile İrrigasyon

Gaz veya sıvı fazda bulunan ozon; bakteri, virüs, protozoa ve mantarlara karşı güçlü ve güvenilir bir antimikrobiyal ajandır. Bakteri ve mantarların hücre duvarları ve sitoplazmik membranlarını okside ederek parçalar ve enzimatik kontrol sistemini inhibe ederek hücre fonksiyonlarını bozar. Ozonlu su, ozonlu yağ ve ozon gazı olarak uygulama şekilleri mevcuttur.⁸⁹ Endodontik kullanımı ile ilgili az sayıda çalışmanın sonuçları çelişkilidir.^{90,91}

11. Fotoaktif Dezenfeksiyon

Fotodinamik terapi (PDT) ve ışıkla aktive olan terapinin (LAT) geniş spektrumlu antimikrobiyal etkinliği nedeniyle endodontide kendine kullanım alanı oluşturacağı düşünülmektedir.⁹² Bu yöntem enfekte dokunun fotosensitizasyonu ve fotosensitif dokunun ışınlanması olmak üzere iki aşamadan oluşur. Hedef hücrede meydana gelen toksik fotokimya hücre lizisine yol açar. Bu aşamaların birbirinden bağımsız, ayrı kullanımı herhangi bir etki oluşturmaz ancak birlikte kullanımları sinerjistik antibakteriyel etki oluşturmaktadır.⁹²

12. Antibakteriyel Nanopartiküller

1-100 nm boyutlarındaki nanopartiküller geniş spektrumlu antibakteriyel özellik gösterirler ve mikrobiyal direnç gelişimine antibiyotiklerden daha az sebep olurlar. Endodontide çalışılan nanopartiküller arasında Chitosan (CS- np), biyoaktif cam, çinko oksit (ZnO-np) ve gümüş (Ag-np) yer almaktadır.⁹³ Nanopartiküllerin irriganlar, fotosensitizerler veya patlarla karıştırılarak da kullanılmaktadır. Biyoaktif camın kök kanalı dezenfeksiyonunda kullanımı tavsiye edilmektedir. Alkali ortam oluşturma kapasitesinden ileri gelen antimikrobiyal etkisinin bakteri eliminasyonunda etkili olduğu düşünülmektedir.⁹³ Son zamanlarda endodontik rejenerasyon tedavilerinde kullanılabilirliği araştırılmaktadır.⁹⁴

Kaynaklar

1. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z ve ark. Irrigation in endodontics. *Br Dent J*, 2014;216:299-303.
2. Souza CC, Bueno CE, Kato AS ve ark. Efficacy of passive ultrasonic irrigation, continuous ultrasonic irrigation versus irrigation with reciprocating activation device in penetration into main and simulated lateral canals. *J Conserv Dent*, 2019;22:155-159.
3. Susila A, Minu J. Activated Irrigation vs. Conventional non-activated Irrigation in Endodontics - A Systematic Review. *Eur Endod J*, 2019;4:96-110.
4. Keir DM, Senia ES, Montgomery S. Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *J Endod*, 1990;16:323-327.
5. Gu LS, Kim JR, Ling J ve ark. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod*, 2009;35:791-804.
6. Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U ve ark. Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *J Endod*, 2006;32:1181-1184.
7. Metzger Z. The self-adjusting file (SAF) system: An evidence-based update. *J Conserv Dent*, 2014;17:401-419.
8. Nallathambi L, Raj JD, Yang JNC. Endodontic smear layer removal using conventional and endodontic microbrush device: A scanning electron microscope and profilometer study. *Saudi Endodontic J*, 2017;7:102-109.
9. Al-Ali M, Sathorn C, Parashos P. Root canal debridement efficacy of different final irrigation protocols. *Int Endod J*, 2012;45:898-906.
10. Setlock J, Fayad MI, BeGole E ve ark. 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 Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;96:614-617.
11. Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG. Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *J Endod*, 2002;28:837-839.
12. Alves FR, Almeida BM, Neves MA ve ark. Time-dependent antibacterial effects of the self-adjusting file used with two sodium hypochlorite concentrations. *J Endod*, 2011;37:1451-1455.
13. Silva E, Belladonna FG, Zuolo AS ve ark. Effectiveness of XP-endo Finisher and XP-endo Finisher R in removing root filling remnants: a micro-CT study. *Int Endod J*, 2018;51:86-91.
14. Neves MA, Rôças IN, Siqueira JF, Jr. Clinical antibacterial effectiveness of the self-adjusting file system. *Int Endod J*, 2014;47:356-365.
15. Trope M, Debelian G. XP-3D Finisher™ file the next step in restorative endodontics. *Endod Pract US*. 2015;8:14-16.

16. Rödigg T, Sedghi M, Konietschke F ve ark. Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo and passive ultrasonic irrigation in removing debris from irregularities in root canals with different apical sizes. *Int Endod J*, 2010;43:581-589.
17. Hauser V, Braun A, Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). *Int Endod J*, 2007;40:644-652.
18. Miranda RG, Santos EB, Souto RM ve ark. Ex vivo antimicrobial efficacy of the EndoVac system plus photodynamic therapy associated with calcium hydroxide against intracanal *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J*, 2013;46:499-505.
19. McGill S, Gulabivala K, Mordan N ve ark. 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. *Int Endod J*, 2008;41:602-608.
20. Vivan RR, Bortolo MV, Duarte MA ve ark. Scanning electron microscopy analysis of RinsEndo system and conventional irrigation for debris removal. *Braz Dent J*, 2010;21:305-309.
21. Nielsen BA, Craig Baumgartner J. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod*, 2007;33:611-615.
22. Pawar R, Alqaied A, Safavi K ve ark. Influence of an apical negative pressure irrigation system on bacterial elimination during endodontic therapy: a prospective randomized clinical study. *J Endod*, 2012;38:1177-1181.
23. Shin SJ, Kim HK, Jung IY ve ark. Comparison of the cleaning efficacy of a new apical negative pressure irrigating system with conventional irrigation needles in the root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010;109:479-484.
24. Howard RK, Kirkpatrick TC, Rutledge RE ve ark. Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *J Endod*, 2011;37:1301-1305.
25. Waplington M, Lumley PJ, Walmsley AD. Sonic instruments in root canal therapy. *Dent Update*. 1995;22:339-342.
26. Berman LH, Hargreaves KM. *Cohen's Pathways of the Pulp*, 12th ed. California, Elsevier Health Sciences, 2015;987-988.
27. Karade P, Johnson A, Baeten J ve ark. Smear Layer Removal Efficacy Using EndoActivator and EndoUltra Activation Systems: An Ex Vivo SEM Analysis. *Compend Contin Educ Dent*. 2018;39:e9-e12.
28. Rödigg T, Döllmann S, Konietschke F ve ark. Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *J Endod*, 2010;36:1983-1987.

29. Basrani B. Endodontic irrigation, ed. Switzerland, Springer International Publishing, 2015;47-160.
30. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod*, 2003;29:674-678.
31. Bolles JA, He J, Svoboda KK ve ark. Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *J Endod*, 2013;39:708-711.
32. Rödİg T, Bozkurt M, Konietschke F ve ark. Comparison of the Vibringe system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *J Endod*, 2010;36:1410-1413.
33. Donnermeyer D, Wyrsh H, Bürklein S ve ark. Removal of Calcium Hydroxide from Artificial Grooves in Straight Root Canals: Sonic Activation Using EDDY Versus Passive Ultrasonic Irrigation and XPendo Finisher. *J Endod*, 2019;45:322-326.
34. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E ve ark. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig*. 2017;21:2681-2687.
35. Conde AJ, Estevez R, Loroño G ve ark. Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *Int Endod J*, 2017;50:976-982.
36. İnce Yusufoglu S, Keskin NB, Saricam E ve ark. Comparison of apical debris extrusion using EDDY, passive ultrasonic activation and photon-initiated photoacoustic streaming irrigation activation devices. *Aust Endod J*, 2020;46:400-404.
37. Gündoğar M, Sezgin GP, Kaplan SS ve ark. Postoperative pain after different irrigation activation techniques: a randomized, clinical trial. *Odontology*. 2021;109:385-392.
38. De Paolis G, Vincenti V, Prencipe M ve ark. Ultrasonics in endodontic surgery: a review of the literature. *Roma*. 2010;1:6-10.
39. van der Sluis LW, Gambarini G, Wu MK ve ark. 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. *Int Endod J*, 2006;39:472-476.
40. van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK ve ark. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J*, 2007;40:415-426.
41. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved. *J Endod*, 1987;13:93-101.
42. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod*, 1980;6:740-743.

43. Stamos DE, Sadeghi EM, Haasch GC ve ark. An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic, and ultrasonic instrumentation. *J Endod*, 1987;13:434-440.
44. Roy RA, Ahmad M, Crum LA. Physical mechanisms governing the hydrodynamic response of an oscillating ultrasonic file. *Int Endod J*, 1994;27:197-207.
45. Shiozawa A. Characterization of reactive oxygen species generated from the mixture of NaClO and H₂O₂ used as root canal irrigants. *J Endod*, 2000;26:11-15.
46. Townsend C, Maki J. An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal. *J Endod*, 2009;35:1040-1043.
47. Akyuz Ekim SN, Erdemir A. Comparison of different irrigation activation techniques on smear layer removal: an in vitro study. *Microsc Res Tech*. 2015;78:230-239.
48. Cameron JA. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study. *J Endod*, 1983;9:289-292.
49. Huque J, Kota K, Yamaga M ve ark. Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite. *Int Endod J*, 1998;31:242-250.
50. Haapasalo M, Wang Z, Shen Y ve ark. Tissue dissolution by a novel multisonic ultracleaning system and sodium hypochlorite. *J Endod*, 2014;40:1178-1181.
51. Wright CR, Glickman GN, Jalali P ve ark. Effectiveness of Gutta-percha/ Sealer Removal during Retreatment of Extracted Human Molars Using the GentleWave System. *J Endod*, 2019;45:808-812.
52. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z ve ark. Apical pressure created during irrigation with the GentleWave™ system compared to conventional syringe irrigation. *Clin Oral Investig*. 2016;20:1525-1534.
53. Sigurdsson A, Garland RW, Le KT ve ark. Healing of Periapical Lesions after Endodontic Treatment with the GentleWave Procedure: A Prospective Multicenter Clinical Study. *J Endod*, 2018;44:510-517.
54. Coaguila-Llerena H, Gaeta E, Faria G. Outcomes of the GentleWave system on root canal treatment: a narrative review. *Restor Dent Endod*, 2022;47:e11.
55. Molina B, Glickman G, Vandrangi P ve ark. Evaluation of Root Canal Debridement of Human Molars Using the GentleWave System. *J Endod*, 2015;41:1701-1705.
56. De Moor RJ, Meire M, Goharkhay K ve ark. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. *J Endod*, 2010;36:1580-1583.

57. Myers ML. The effect of laser irradiation on oral tissues. *J Prosthet Dent*, 1991;66:395-397.
58. Koba K, Kimura Y, Matsumoto K ve ark. A histopathological study of the morphological changes at the apical seat and in the periapical region after irradiation with a pulsed Nd:YAG laser. *Int Endod J*, 1998;31:415-420.
59. Schoop U, Kluger W, Dervisbegovic S ve ark. Innovative wavelengths in endodontic treatment. *Lasers Surg Med*. 2006;38:624-630.
60. Beer F, Buchmair A, Wernisch J ve ark. Comparison of two diode lasers on bactericidity in root canals an in vitro study. *Lasers Med Sci*. 2012;27:361-364.
61. Cavalcanti TM, Almeida-Barros RQ, Catão MH ve ark. Knowledge of the physical properties and interaction of laser with biological tissue in dentistry. *An Bras Dermatol*. 2011;86:955-960.
62. Olivi G, De Moor R, DiVito E. *Lasers in Endodontics: Scientific Background and Clinical Applications*, ed., 2016;1-298 p.
63. Golob BS, Olivi G, Vrabec M ve ark. Efficacy of Photon-induced Photoacoustic Streaming in the Reduction of *Enterococcus faecalis* within the Root Canal: Different Settings and Different Sodium Hypochlorite Concentrations. *J Endod*, 2017;43:1730-1735.
64. Keleş A, Arslan H, Kamalak A ve ark. Removal of filling materials from oval-shaped canals using laser irradiation: a micro-computed tomographic study. *J Endod*, 2015;41:219-224.
65. Blanken J, De Moor RJ, Meire M ve ark. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: a visualization study. *Lasers Surg Med*. 2009;41:514-519.
66. Blankena JW, Rudolf M B. Verdaasdonkb, cavitation as a working mechanism of the Er,Cr:ySGG laser in endodontics: a visualization study. *J Oral Laser Appl*. (2007) 7:97-106.
67. Anagnostaki E, Mylona V, Parker S, Lynch E, Grootveld M. Systematic review on the role of lasers in endodontic therapy: valuable adjunct treatment? *Dent J*. (2020) 8(3).
68. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Aprecio RM ve ark. Biofilm removal by 6% sodium hypochlorite activated by different irrigation techniques. *Int Endod J*, 2014;47:659-666.
69. Peters OA, Bardsley S, Fong J ve ark. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *J Endod*, 2011;37:1008-1012.
70. DiVito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med. Sci*. (2012); 27(2):273-280.

71. Gregorcic P, Jezersek M, Mozina J. Optodynamic energy-conversion efficiency during an Er:YAG-laser-pulse delivery into a liquid through different fiber-tip geometries. *J. Biomed. Opt.* 2012; 17(7).
72. Lukac N, Zadavec J, Gregorcic P ve ark. Wavelength dependence of photon-induced photoacoustic streaming technique for root canal irrigation. *J. Biomed. Opt.* 2016; 21(7).
73. Lukač N, Gregorčič P, Jezeršek M. Optodynamic phenomena during laser-activated irrigation within root canals. *Int. J. Thermophys.* 2016; 37(7):66.
74. Koch JD, Jaramillo DE, DiVito E ve ark. Irrigant flow during photon-induced photoacoustic streaming (PIPS) using Particle Image Velocimetry (PIV). *Clin. Oral Investig.* 2016;20 (2):381-386.
75. Arslan H, Akcay M, Ertas H ve ark. Effect of PIPS technique at different power settings on irrigating solution extrusion. *Lasers Med. Sci.* 2015;30 (6):1641-1645.
76. Mir M, Gutknecht N, Poprawe R ve ark. Visualising the procedures in the influence of water on the ablation of dental hard tissue with erbium:yttrium-aluminium-garnet and erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser pulses. *Lasers Med. Sci.* 2009;24 (3):365-374.
77. DiVito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med Sci.* 2012;27:273-280.
78. Macedo RG, Wesselink PR, Zaccheo F ve ark. Reaction rate of NaOCl in contact with bovine dentine: effect of activation, exposure time, concentration and pH. *Int Endod J*, 2010;43:1108-1115.
79. Akcay M, Arslan H, Durmus N ve ark. Dentinal tubule penetration of AH Plus, iRoot SP, MTA fillapex, and guttaflow bioseal root canal sealers after different final irrigation procedures: A confocal microscopic study. *Lasers Surg Med.* 2016;48:70-76.
80. Arslan H, Akcay M, Capar ID ve ark. Efficacy of needle irrigation, EndoActivator, and photon-initiated photoacoustic streaming technique on removal of double and triple antibiotic pastes. *J Endod*, 2014;40:1439-1442.
81. Yang Q, Liu MW, Zhu LX ve ark. 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. *Int. Endod. J.* 2020;53 (4):529-538.
82. Lukac N, Muc BT, Jezersek M ve ark. Photoacoustic endodontics using the novel SWEEPS Er: YAG laser modality. *J. Laser Heal Acad.* 2017;1:1-7.

83. Šarc A, Kosel J, Stopar D ve ark. Removal of bacteria *Legionella pneumophila*, *Escherichia coli*, and *Bacillus subtilis* by (super)cavitation. *Ultrason. Sonochem.*, 2018;42:228-236.
84. Jezeršek M, Jereb T, Lukač N ve ark. Evaluation of apical extrusion during novel Er:YAG laser-activated irrigation modality. *Photobiomodul. Photomed. Laser Surg.* 2019;37 (9):544-550.
85. Jezeršek M, Lukač N, Lukač M ve ark. Measurement of pressures generated in root canal during Er:YAG laser-activated irrigation. *Photobiomodul. Photomed. Laser Surg.* 2020;38 (10):625-631.
86. Olivi G, DiVito EE, Peters OA ve ark. Disinfection efficacy of photon-induced photoacoustic streaming on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: an ex vivo study. *Journal of the American Dental Association.* 2014;145 8:843-848.
87. Lukač M, Olivi G, Constantin M ve ark. Determination of Optimal Separation Times for Dual-Pulse SWEEPS Laser-Assisted Irrigation in Different Endodontic Access Cavities. *Lasers Surg Med.* 2021;53:998-1004.
88. Yang Q, Liu M, Zhu L, Peng B. 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.* 2020;53:529-538.
89. Margolis HC, Moreno EC, Murphy BJ. Importance of high Pka acids in cariogenic potential of plaque. *J Dent Res.* 1985;64:5.
90. Estrela C, Estrela CR, Decurcio DA ve ark. Antimicrobial efficacy of ozonated water, gaseous ozone, sodium hypochlorite and chlorhexidine in infected human root canals. *International endodontic journal.* 2007;40:2.
91. Nagayoshi M, Kitamura C, Fukuizumi T ve ark. Antimicrobial effect ozonated water on bacteria invading dentinal tubules. *J Endod.* 2004;30:11.
92. Hamblin MR, Hasan T. Photodynamic therapy: a new antimicrobial approach to infectious disease?. *Photochem Photobiol Sci.* 2004;3:5.
93. Markan S, Lehi G, Kapoor S. Recent advances of nanotechnology in endodontics, conservative and preventive dentistry-A review. *J Dent Oral Biol.* 2017;2.
94. Zehnder M, Söderling E, Salonen J ve ark. Preliminary evaluation of bioactive glassS53P4 as an endodontic medication in vitro. *J Endod.* 2004;30:4.