

Kök Kanal Tedavisi Yenilemelerinde Güncel Uygulamalar: Ultrasonik Uç Kullanımı

Current Applications in Root Canal Retreatment: Use of Ultrasonic Tip

Ayşenur KIZILTAŞ GÜL^a, Turan Mert HİSAR^a, Seniha Senem MIÇOOĞULLARI^a

^aEge Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD, İzmir, Türkiye

^aEge University, Faculty of Dentistry, Department of Endodontics, İzmir, Türkiye

ÖZ

Kök kanallarının bulunamaması, kök kanal şekillendirmesinin uygun yapılmaması, taşkın veya eksik kök kanal dolgusu, alet kırıkları, perforasyonlar, izolasyonun eksik yapılması gibi pek çok etken kök kanal tedavisinin başarısızlığına neden olabilir. Primer kök kanal tedavisinin başarılı olmadığı durumlarda ilk seçenek olarak cerrahi olmayan yeniden kök kanal tedavisi tercih edilmelidir. Yeniden kök kanal tedavisinin temel hedefi; kök kanalı içerisindeki dolgu materyallerini, kalıntıları ve mikroorganizmaları elimine ederek kök kanal sisteminin etkili bir şekilde temizlenmesi, yeniden şekillendirilmesi ve uygun şekilde doldurulmasını sağlamaktır. Yeniden kök kanal tedavilerinde kök kanal dolgusunun kök kanalından tamamen uzaklaştırılması tedavinin başarısı ile doğrudan ilişkilidir. Kök kanal dolgusunun uzaklaştırılması için el eğeleri, döner eğeler, ultrasonikler, ısı ve çözücüler başlıca kullanılan yöntemlerdir. Gelişen teknoloji ile genellikle irrigasyon amacıyla kullanılan ultrasoniklerin; kök kanal preparasyonu, güta perkanın ultrasonik kondenzasyonu, kök ucu preparasyonu ve dolgu materyalinin yerleştirilmesi, kanal ağzlarının bulunması, kalsifiye kök kanallarının açılması, pulpa taşlarının uzaklaştırılması gibi kullanım alanlarının yanı sıra kök kanal tedavisi yenileme işlemlerinde kök kanalından kanal dolgu materyalini uzaklaştırmak için kullanılması da yeni bir yaklaşımdır. Günümüzde farklı materyal, aç, uzunluk ve kesme yönlerine sahip ultrasonik uçların üretilmesiyle uygulanan tedavilerin çeşitliliğinin ve başarı oranının arttığı görülmektedir. Bu derlemede kök kanal tedavisinin farklı aşamalarında ultrasonik uç kullanımı endikasyonları, kök kanal tedavisi yenilemelerinde ultrasonik uç kullanımı protokolleri ve sonuçları güncel çalışmalarla değerlendirilerek incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik uç, Yeniden kök kanal tedavisi, Kanal dolgu sökümü

Giriş

Kök kanal tedavilerinin (KKT'lerinin) temel hedefi; kök kanallarının üç boyutlu (3B) olarak temizlenmesi ve şekillendirilmesinin ardından hermetik olarak doldurularak enfeksiyonun önlenilmesidir.¹ Temizleme ve şekillendirme işlemlerinin sonrasında mikrosızıntı ve/veya kök kanal sistemindeki mikroorganizmaların tamamen temizlenememesine bağlı olarak bakterilerin kök kanal boşluğuna tekrar kolonizasyonu meydana gelebilir. Bu durum KKT'nde başarısızlığa neden olabilir.² KKT'nin başarısız olduğu durumlarda cerrahi olmayan yeniden KKT, çekim gibi geri dönüşü olmayan uygulamalardan önce düşünülmelidir.³ Dişin çekilmesine bağlı olarak estetik ve fonksiyon kaybı meydana gelir ve diş kaybının ardından implant ya da protetik tedaviler gibi daha komplike ve maliyetli tedavilere ihtiyaç duyulabilir. Ayrıca, hastaların özgüvenleri ve günlük yaşam aktiviteleri de etkilenebilmektedir.⁴ Bu sebeplerle implant tedavilerine ve diş çekimlerine gerek kalmadan hastaların kendi dişlerinin ağızda kalması isteği ve ihtiyacı ile başarısız vakalara yeniden KKT uygulanması hasta ve hekim açısından endodontik uygulamaların önemli bir parçası haline gelmiştir.⁵

Yeniden KKT'nin başlıca hedefi; kök kanalı içerisindeki dolgu materyallerini, kalıntıları ve mikroorganizmaları elimine ederek kök kanal sisteminin etkili bir şekilde temizlenmesi, yeniden şekillendirilmesi ve uygun şekilde doldurulmasını sağlamaktır.⁶⁻⁸ KKT başarısızlığının ana nedeninin kök kanal sistemindeki mikroorganizmaların ve/veya toksik yan ürünlerinin olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle yeniden KKT'nin

ABSTRACT

Many factors such as unavailability of root canals, inadequate root canal shaping, incomplete or overflowing root canal filling, instrument fractures, perforations and incomplete isolation may cause root canal treatment to fail. In cases where primary root canal treatment fails, non-surgical root canal retreatment should be preferred as the first option. The main purpose of root canal retreatment is to ensure proper cleaning, reshaping and filling of the root canal system by removing canal filling materials, debris and microorganisms in the root canal. Complete removal of the root canal filling from the root canal in root canal retreatment applications is directly related to the success of the treatment. Various methods are used to remove the root canal filling, including hand instruments, heat, ultrasonics, rotary instruments and solvents. With the developing technology, ultrasonics, which are generally used for irrigation, are used for root canal preparation, ultrasonic condensation of gutta percha, root canal tip preparation and placement of filling material, finding canal orifices, opening calcified root canals, removal of pulp stones, as well as using it to remove root canal sealer in retreatment is a new approach. Nowadays, ultrasonic tips with different materials, angles, lengths and cutting directions have increased the diversity and success rate of treatments. In this review, indications for the use of ultrasonic tips in different stages of root canal treatment, protocols and results of ultrasonic tips in root canal retreatment will be examined by evaluating current studies.

Keywords: Ultrasonic tips, Retreatment, Root canal filling removal

başarılı olabilmesi için kök kanal sistemindeki kontaminasyon alanlarına erişebilmek önemlidir.⁹ Dentin tübülü gibi enfekte alanlara ulaşmak ve mikroorganizmaları elimine ederek kök kanal sisteminin uygun bir şekilde temizlenmesini sağlamak için önceki kök kanal dolgu materyalinin tamamen çıkarılması gerekmektedir.¹⁰ Çünkü kanal dolgu materyali ve güta perka, önceki tedaviden kalan mikroorganizmalara ve/veya nekrotik dokuya ulaşmasını engelleyerek tedavi sonrası gelişen periapikal lezyona neden olabilir. Kök kanal dolgu materyalinin tamamen uzaklaştırılmaması, kök kanal sisteminin yeterli mekanik ve kimyasal temizliğini engelleyebilir. Ayrıca, yeni uygulanan kanal dolgu materyali ile dentin yüzeyi arasında bir bariyer oluşturarak dolgu materyalinin donma reaksiyonlarını etkileyebilir. Tüm bu sebeplerle koronal ya da apikal mikrosızıntı artabilir.¹⁰

Yeniden KKT'lerinde farklı fiziksel/mechanik ve kimyasal yöntemler ile kök kanal dolgu materyali kök kanalından uzaklaştırılabilir. El ve döner eğeler, ultrasonikler, ısı ve çözücüler bu yöntemlerin başlıcalarıdır. Nikel titanyum döner eğeler KKT yenilemelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Nikel titanyum döner eğelerin, kök kanal dolgu materyalinin sökümünde, el eğelerine göre kolay kullanımı, eğri kök kanallarında paslanmaz çelikten üretilen kanal eğelerinin neden olduğu problemlere sebebiyet vermeden kullanılabilmesi ve kök kanallarının temizlenmesinde el eğelerine göre daha iyi sonuçlar ortaya çıkarması, bu sistemlerin endodonti pratiğinde tercih edilmesine neden olur.¹¹

Gönderilme Tarihi/Received: 10 Mayıs, 2024

Kabul Tarihi/Accepted: 4 Ocak, 2024

Yayınlanma Tarihi/Published: 21 Nisan, 2025

Atıf Bilgisi/Cite this article as: Kızıltaş Gül A, Hisar TM, Miçoğulları SS. Kök Kanal Tedavisi Yenilemelerinde Güncel Uygulamalar: Ultrasonik Uç Kullanımı. Selcuk Dent J 2025;12(1): 157-165 Doi: 10.15311/selcukdentj.1481781

Sorumlu yazar/Corresponding Author: Ayşenur KIZILTAŞ GÜL

E-mail: aysenur44kiziltas@hotmail.com

Doi: 10.15311/selcukdentj.1481781

Literatürde yeniden KKT uygulamalarında kanal dolgu sökümü için rutin olarak kullanılan tekniklerin hiçbirinin kanal duvarlarından kök kanal dolgu materyalini tamamen uzaklaştırmadığı gösterilmiştir.¹² Bu sebeplerle araştırmacılar farklı enstrüman ve metot arayışlarına yönelmişlerdir. Gelişen teknoloji ile birlikte genellikle irrigasyon amacıyla kullanılan ultrasoniklerin de KKT yenilemelerinde kök kanal dolgusunu uzaklaştırmak için kullanılması düşüncesi ortaya çıkmıştır.¹¹

Ultrasonik enerji, 20 kHz olan insan işitme aralığının üzerinde frekansa sahip olan bir ses enerjisidir. Ultrasonik ünitelerde kullanılan frekans aralığı, 25-40 kHz aralığındadır.¹³ Sonrasında 1-8 kHz aralığında çalışan daha düşük frekanslı ultrasonik el aletleri geliştirilmiştir.¹⁴⁻¹⁸ Bu ultrasonik el aletlerinin kesme gerilimleri daha düşüktür¹⁹ ve diş yüzeyinde daha az değişikliğe sebep olur.²⁰ Ultrasonik sistemlerin 2 temel yöntemi vardır;²¹⁻²³ (1) Manyetostriksiyon, bu yöntem elektromanyetik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürür. Üretilen ultrasonik üniteler, eliptik bir hareket ortaya çıkarmaktadır. Cerrahi olan veya olmayan endodontik tedavilerde kullanımı uygun değildir. (2) Piezoelektrik, bu yöntemde elektrik yükü ile boyut değiştiren kristalin bir yapı kullanılır. Bu kristalin yapının deformasyonu, ısı üretimi olmadan mekanik salınımına dönüştürülür. Ayrıca, piezoelektrik üniteler, 'piston benzeri' ileri-geri doğrusal hareketle çalışmaktadır ve bu hareket endodonti için ideal olmaktadır.²⁴

KKT'lerinde ultrasonik sistemlerin kullanılması düşüncesi 1957 yılında Richman ile ortaya konulmuştur. Sonrasında 'endosonik' terimini kullanan Martin ve Cunningham²⁵ kök kanallarında dezenfeksiyon ve preparasyon için ultrasonik kullanımı önermişlerdir.

Endodontide Ultrasoniklerin Kullanıldığı Durumlar

Kanallara Giriş Sağlanması, Pulpa Taşlarının Uzaklaştırılması ve Kalsifiye Kanalların Bulunması

Restoratif materyallerin yerleştirilmesi veya pulpotomi gibi uygulamalara bağlı olarak kanal ağzlarının sekonder dentin veya tersiyer dentin nedeniyle tıkanıp durumlarda, kanalların yerini belirlemek KKT'lerinde karşılaşılan zorluklardan biridir.²⁴ Gelişen sistemlerle birlikte ultrasoniklerin ve dental operasyon mikroskopunun (DOM'nun) birlikte kullanılmasının tedavilerdeki görünürlüğü arttırdığı, perforasyon gibi komplikasyonların olasılığını azalttığı ve tedavi süresini kısalttığı bildirilmiştir.²⁶ Ultrasonik uçların mikromotor gibi görüşü engelleyen başlığının olmaması sebebiyle kullanımı sırasında sağladığı görsel erişim ve kontrol edilebilirlik, bu cihazları özellikle ağız dişlerinin tedavisinde en kullanışlı araç haline getirmektedir.²⁶

Giriş kavitesinin düzenlenmesi veya kanal ağzlarının lokalizasyonu için ultrasonik elmas uçların kullanılması, pulpa odasının tabanına yakın dentin yapılarının optimum görünürlükle uzaklaştırılmasını sağlar. Ayrıca, ultrasonik uçlar pulpa odasındaki kalsifikasyonların kaldırılmasında etkili olurken, aynı zamanda giriş kavitesinin duvarlarına ve pulpa odasının tabanına zarar gelmesini önler. Ek olarak, ultrasonik uçlar kanal ağzlarının yerini belirlemek için bir DOM ile birlikte kullanıldığında, minimum dentin uzaklaştırarak aksesuar anatomik yapıların varlığı tespit edilebilir.²⁷

Camacho ve ark.²⁸ yaptıkları çalışmanın sonucunda, üst birinci molar dişlerde mesio-bukkal 2 (MB2) kanalının yerini belirlemek için en geçerli yöntemin, DOM ile kullanılan ultrasonik uçlarla selektif dentin uzaklaştırılması olduğunu ve bu yöntemle MB2 kök kanalının bulunabilirliğinde artış meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Kullanılacak ucun seçimi gerçekleştirilecek işleme bağlıdır. Kanal ağzlarına erişim sağlamak için yapılan preparasyon sırasında dentinin büyük oranda uzaklaştırılması için, uygun uzunlukta, kırılmaya dayanıklı, güçlü ve elmas kaplamaya sahip bir ultrasonik uç kullanımı önerilmektedir. Ancak, unutulmamalıdır ki ortograt endodontik tedavide kullanılan elmas kaplı ultrasonik uçlar, paslanmaz çelik olanlara göre daha yüksek kesme verimliliği göstermesine rağmen kırılma eğilimleri vardır. Bu nedenle kanal ağzları aranırken dikkatli olunmalıdır çünkü kontrolsüz kesme, pulpa odasının anatomisinde istenmeyen değişikliklere neden olabilir.²⁹

Kök Kanal Preparasyonu

1957 yılında Richman tarafından kök kanal preparasyonunda kullanılmak üzere ultrasonik cihazların tanıtılmasının ardından 1980'de de Martin ve ark.^{30,31} ultrasonik olarak etkinleştirilen K tipi kanal eğelerinin dentini kesme yeteneğini göstermiştir. Cunningham

ve Martin tarafından tasarlanan ticari bir ultrasonik ünite 1982'de piyasaya sürülmüş olup Barnett ve ark.^{32,33} ve Tronstad ve ark.³⁴ bu ultrasonik ünitenin endodontide kullanımını ilk bildiren kişilerdir. Birçok çalışma, ultrasonik veya sonik olarak hazırlanan dişlerin, el aletleriyle hazırlananlara kıyasla önemli ölçüde daha temiz kök kanallarına sahip olduğunu bildirmiştir.^{35,36} Çok sayıda çalışma, ultrasonik olarak etkinleştirilen eğelerin kesme verimliliği^{37,38}, bakteriler üzerindeki etkisi^{39,40}, kök kanal preparasyonunun özellikleri^{38,41,42}, eğelerin ve el aletlerinin mekanik ve teknik özellikleri ve klinik uygulamalar gibi farklı özelliklerini analiz etmiştir. Son yıllarda, kök kanallarının preparasyonunda ultrasonik uçların döner eğelere ek yöntem olarak kullanılmasının kök kanalında temizlenen alanlara etkisinin araştırıldığı iki farklı çalışmada da Flatsonic ultrasonik ucun kök kanalının temizlenen alan miktarını arttırdığı bildirilmiştir.^{43,44}

Kanal İçi Tıkanıklıkların Uzaklaştırılması (kırık eğeler, gümüş konlar ve postlar)

Klinisyenler kırık eğeler, postlar gibi kök ucuna erişimi engelleyen parçaların bulunduğu KKT görmüş dişlerle sıklıkla karşılaşmaktadır.³ Primer KKT'nin başarısız olduğu durumlarda cerrahi olmayan yeniden KKT'nin yapılabilmesi için bu engellerin uzaklaştırılarak kök ucuna erişimin sağlanması gerekir.⁴⁵ Bunları uzaklaştırmak için çok çeşitli yöntemler ve cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlardan biri de ultrasoniklerdir.

Ultrasonik aletlerle post çıkarmak için uygun şekilde tasarlanmış bir ultrasonik aletin en aktif distal ucu, enerji transferini maksimuma çıkarmak ve siman-post bağlantısının kopmasını sağlamak için post ile direkt temas halinde tutulur. Seçilen ultrasonik alete enerji verilir ve postun etrafında çevresel olarak ve açıkta kalan uzunluğu boyunca yukarı-aşağı hareket ettirilir. Ancak, bu işlemler sırasında ultrasonik enerjinin ısı açığa çıkaracağı unutulmamalıdır.³

Honda ve ark.⁴⁶ fiber postların ultrasonik uçlarla uzaklaştırılması ile ilgili yaptıkları çalışmada, fiber postların çıkarılması amaçlandığında ultrasonik uçların kullanımının uygun bir yaklaşım olduğunu bildirmişlerdir.

Ultrasoniklerle kırık ege çıkarma tekniği, kırık parçaya ultrasonik enerji iletilerek, kırık parçanın yerinden serbestleşmesiyle beraber kanaldan uzaklaştırılması mantığına dayanır.⁴⁷ Ultrasonikler kırık ege parçasını çıkarmak için ilk olarak spreaderlar, el eğeleri gibi kanal eğelerine enerji verilerek kullanılmıştır.⁴⁸ Günümüzde ise kırık ege çıkarmak için özel olarak üretilmiş farklı şekil ve boyutlara sahip ultrasonik uçlar üretilmiştir.

Ultrasonik teknikler ve DOM kombinasyonunun, kırık eğelerin kök kanallarından çıkarılmasında başarılı ve güvenli olduğu birçok çalışmada bildirilmiştir.^{11,47,49} Madarati ve ark.⁵⁰ yaptıkları çalışmada ultrasoniklerle kırık ege uzaklaştırma tekniğinin hem endodonti uzmanları hem de genel diş hekimleri arasında popülaritesinin arttığını, araştırmaya katılan hekimlerin büyük çoğunluğunun (%84.6) ultrasonik tekniği tercih ettiğini bildirmişlerdir. Cujé ve ark.⁵¹ 170 diş üzerinde yaptıkları çalışmada kırık ege uzaklaştırmada ultrasonik tekniğin %95 başarı oranına sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Terauchi ve ark.⁵² çalışmada, ultrasonikler kullanılarak kırık eğelerin %89.8'inin ortalama 221 saniyelik bir sürede çıkarıldığı sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonuca bağlı olarak, DOM altında görülebilen kırık eğelerin ultrasoniklerle öngörülebilir bir şekilde çıkarılabileceğini bildirmişlerdir.

İrrigasyon Solüsyonlarının Aktivasyonu

İrrigasyon solüsyonlarının ultrasonik aktivasyonu şu anda en popüler irrigasyon aktivasyon yöntemidir.⁵³⁻⁵⁵ Ultrasonik enerji ile irrigasyon solüsyonunda, akustik dalgaların ve kavitasyon oluşur.²⁴ Akustik dalgaların, sıvının titreşim halinde olan bir ege etrafında girdap veya dairesel şekilde hızlı hareketi olarak tanımlanmaktadır. Kavitasyon ise bir sıvı içinde buhar kabarcığı oluşturulması veya önceden bulunan kabarcığın genişlemesi, kontraksiyonu ve/veya distorsiyonu olarak tanımlanmaktadır.⁵⁶

Literatürde ultrasonik enstrümantasyon (UI) ve pasif ultrasonik enstrümantasyon (PUI) olmak üzere 2 farklı ultrasonik irrigasyon tanımlanmıştır. Bunlardan birincisi irrigasyon ile eşzamanlı ultrasonik enstrümantasyon, ikincisi ise pasif ultrasonik enstrümantasyon adı verilen, irrigasyon sırasında enstrümantasyon olmadan uygulanan bir

yöntemdir. Ul sırasında eğer bilinçli olarak kök kanal duvarına temas ettirilse de kompleks kanal anatomisi sebebiyle Ul hiçbir zaman tüm duvarlara temas etmez. Bu nedenle yeterli dezenfeksiyon sağlanamaz ve kök kanal duvarları kontrolsüz olarak aşındırılabilir.¹⁴

Solüsyonun kök kanalının apikal ucuna ulaşması için ultrasonik ucun çalışma boyundan 2-3 mm uzağa yerleştirilmesi gerekir.⁵⁷ Bu alanda hem ultrasonik uca hem de engelsiz salınım hareketine yeterli alan mevcut olmalı, bu nedenle aktivasyon ancak kemomekanik hazırlık tamamlandıktan sonra gerçekleşmeli ve küçük boyutlu ultrasonik uçlar tercih edilmelidir. Ultrasonik aktivasyonun etkinliği, ultrason cihazının güç ayarına bağlıdır. Daha yüksek güç, daha yoğun akış ve daha iyi temizlemeyle sonuçlanır.⁵⁸ ancak eğer kırılması ve dentinin fazla kaldırılması⁵⁹ riskleri de dikkate alınmalıdır.

Çoğu üretici firma, irrigasyon aktivasyonu için mevcut maksimum gücün yaklaşık %30-50 aralığında kullanılmasını önermektedir. Irrigasyon solüsyonunun kısa sürelerle aralıklı aktivasyonu, arada bir şırınga ile taze solüsyonun verilmesiyle birlikte, sürekli aktivasyondan daha yaygın olarak kullanılmaktadır.⁶⁰ Salınımın tekrar tekrar başlatılmasının, aynı süre boyunca kesintisiz aktivasyona kıyasla temizleme etkinliğini ve aynı zamanda biyofilm uzaklaştırılmasını artırdığı bildirilmiştir.^{61,62} Aralıklı aktivasyon için en yaygın kullanılan protokol, 3 x 20 sn döngüdür ancak daha kısa protokoller de kullanılmaktadır (3 x 10 sn).⁶⁰

Son irrigasyon protokolü olarak ultrasonik irrigasyon ve geleneksel şırınga irrigasyonu uygulandığında kök apikal üçlüsünde kalan debris miktarının karşılaştırıldığı bir çalışmada, ultrasonik irrigasyonun geleneksel şırınga irrigasyonuna göre kanalda daha az debris bıraktığı bildirilmiştir.⁶³ Diğer bir çalışmada⁶⁴ yine son irrigasyon sonrası kanal içinde kalan sert doku debris miktarı ölçülmüştür. Ultrasonik irrigasyon ile aktivasyon yönteminin şırınga irrigasyonu ve SAF (Self Adjusting File) sistemine göre kanalda önemli ölçüde daha az sert doku artığı bıraktığı görülmüştür.

Güta perkanın Ultrasonik Kondenzasyonu

Ultrasonik olarak aktive edilen spreaderlar, güta perkayı sıcak lateral kondenzasyon tekniği ile termoplastikleştirmek için kullanılmıştır. Doğrusal olarak titreşim yapan ve ısı açığa çıkaran, böylece güta perkayı termoplastikleştiren ultrasonik spreaderların, boşlukların azalmasına bağlı olarak kök kanal sisteminde daha homojen bir yapı sağladığı bildirilmiştir.⁶⁵

Periradiküler Cerrahide Kullanımı

Periradiküler cerrahi operasyonlarında kök ucu preparasyonu, apikal tıkaçın oluşturulmasında çok önemli bir adımdır. Amaç, cerrahi olarak kesilen kök ucunda, kök ucu dolgu materyalinin koyulabilmesi için boyutsal olarak yeterli bir boşluk oluşturmak ve aynı zamanda kök ucu yapılarına gereksiz zarar verilmesini önlemektir. İdeal kök ucu hazırlığı, dişin uzun eksen boyunca en az 3 mm derinliğe kadar hazırlanan sınıf I kavite olmalıdır.⁶⁶ Geriye kalan kanal sisteminin iyice temizlenmesi, mikroorganizmaları ve iritanları ortadan kaldıracak şekilde şekillendirilmesi durumunda cerrahi işlemin başarılı olma ihtimali yüksektir.⁶⁷

Kök ucu boşluğu oluşturulmasında geleneksel olarak, döner frezli bir mikromotor kullanılmaktadır.⁶⁴ Ancak, bu işlemler için özel olarak tasarlanmış ultrasonik uçların piyasaya sunulmasıyla beraber, modern endodontik cerrahi için oluşturulan kitlerde kök ucu preparasyonları için çoğunlukla ultrasonik uçlar bulunmaktadır.⁶⁸ Özellikle azı dişlerinin cerrahi uygulamalarında, ultrasonik aletler geleneksel frezlerle karşılaştırıldığında, ultrasoniklerin kök ucu preparasyonundaki üstünlüğünü destekleyen klinik kanıtlar ortaya çıkmaktadır.⁶⁹

Ultrasonik kök ucu hazırlama tekniklerinin geleneksel yöntemlere göre birçok avantajı vardır. Cerrahi olarak kesilen kök ucuna uygun erişim sağlamak için daha az kemik dokusu kaldırılır. Ultrasonik aletlerin gelişmiş kullanım kolaylığı sayesinde kök ucu perforasyonu riski azalır ve bunlara ek olarak, ultrasonik aletlerle yapılan kök ucu rezeksiyonlarında, kökün daha az açılı ile kesilmesine rağmen daha düz hatlı ve daha derin bir kavite preparasyonu elde edilir.^{70,71} Ultrasonik apikal preparasyon, tek başına frezlerle karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha az smear tabakası oluşturduğu bildirilmiştir.⁷²

Düz cerrahi el aleti, eğimli kök rezeksiyonu ve genellikle retrograd

amalgam dolgusu kullanan geleneksel teknikler ortalama %59'luk bir başarı oranı göstermiştir.⁷³ Dental lupların, ultrasonik kök ucu preparasyonunun ve daha biyouyumlu dolgu materyallerinin kullanımının kümülatif başarıyı %86'ya çıkardığı bildirilmiştir.⁷⁴

Paslanmaz çelikten yapılmış farklı uzunluk ve çaplardaki uçlar dahil olmak üzere, kök ucu preparasyonu için farklı türde ultrasonik uçlar bulunmaktadır. Ultrasonik uçlar kaplamasız kullanılabildiği gibi elmas veya zirkonyum nitrit ile kaplanarak da kullanılabilir. Ultrasonik kök ucu hazırlığıyla ilgili tartışmalı bir konu, çatlak veya mikro çatlakların oluşumu ve bunun iyileşme başarısı üzerindeki etkileridir.^{75,76} Bazı çalışmalar^{20,77-79} bunun olası bir dezavantaj olabileceğini bildirirken bazıları da bu bulgulara karşı çıkarak yüksek bir mikro kırık prevalansı bildirilmemiştir.^{80,81} Ultrasonik ucun tipinin de (paslanmaz çelik, elmas kaplamalı veya zirkonyum nitrit kaplamalı), kök ucu preparasyonu sırasında kök ucunda meydana gelebilecek kırıkların sayısı veya türü üzerinde çok az etkisi olduğu gösteren çalışmalar bulunmaktadır.^{75,79,81}

Ultrasonik uçlarla kök ucu preparasyonu esnasında dikkat edilmesi gereken bir diğer durum, ucun kullanımı sırasında açığa çıkan ısı ve sıcaklık değişimidir. Tüm ultrasonik cerrahi uçlar irrigasyon altında kullanılmaktadır. Yeterli irrigasyon olmadan periradiküler dokularda ultrasonik cihazın kullanılması, dokularda aşırı sıcaklık artışına neden olur, ancak bu spesifik etki kök ucu preparasyonu sırasında gösterilememiştir.⁶⁶

Kök Kanal Tedavisi Yenilemelerinde Kullanımı

KKT yenilemelerinde ultrasonik enerji kullanımı, genellikle tedavinin son aşamasında tercih edilmektedir. Ultrasonik enerji kullanımının asıl amacı irrigasyon solüsyonunu aktifleştirerek daha fazla kök kanal dolgu materyalini uzaklaştırmaktır. Kök kanal dolgularının uzaklaştırılması ile ilgili yapılan çalışmalarda, resiprokasyon ve rotasyon sistemleri ile kök kanal dolgusu uzaklaştırıldıktan sonra uygulanan ultrasonik aktivasyon sayesinde daha temiz kanallar elde edildiği gösterilmiştir.⁸² Kök kanal patını uzaklaştırmak için EndoActivator, RinsEndo ve Canal Brush ile pasif ultrasonik irrigasyonun karşılaştırıldığı bir çalışmada⁸² pasif ultrasonik irrigasyonun diğer yöntemlere göre daha etkili olduğu bildirilmiştir. Irrigasyon aktivasyonunun kök kanal medikamentini kök kanalından uzaklaştırmaya etkisini değerlendiren bir çalışmada⁸³ pasif ultrasonik irrigasyonun geleneksel şırınga irrigasyonundan daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Irrigasyon aktivasyonunda kullanılan uçlar dışında, kök kanal dolgu materyalini uzaklaştırılabilmek için KKT yenilemelerinde kullanmak üzere üretilmiş özel ultrasonik uçlar da mevcuttur. Bu ultrasonik uçların kök kanalında irrigasyon ile/veya irrigasyon olmadan kullanımı önerilmektedir. Irrigasyon olmadan uygulandığında güta perkayı yumuşatarak sökümünü kolaylaştırmakta; irrigasyon ile kullanımı da dolgu materyalinin kök kanal sisteminde uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.^{7,83}

Günümüzde çeşitli tasarımlarda pek çok ultrasonik uç bulunmaktadır. Bu uçlar açılına göre tek açılı, çok açılı; uzunluklarına göre uzun, kısa; kesme yönlerine göre sadece ucu kesen, yandan kesen; üretildikleri materyale göre; paslanmaz çelik, titanyum alaşımı olarak sınıflandırılabilirler (Tablo 1). Ultrasonik uçların etkinliklerinin arttırmak için kaplama işlemi uygulanabilmektedir. Paslanmaz çelik uçlar elmas partiküllerle veya zirkonyum nitrit ile kaplanabilmektedir. Yeniden KKT için piyasaya sürülen bazı özel uçlar da vardır (Tablo 1).

Endodontide kullanılan uçlar; ET-20, ET-20D, ET-25, ET-25S, ET25L, ET18D (Satelec Acteon Products, Bordeaux, Fransa), E7, E8 (NSK, Nakanishi, Japonya), E4, E4D, E5, E5D (Woodpecker Medical Instrument Co, Guilin, Çin), E4D ve E7D (Eighteeth, Changzhou, Çin), R1 Clearsonic, R2 Flatsonic (Helse Ultrasonic, Santa Rosa de Viterbo, Brezilya) gibi KKT yenilemelerinde kullanılmak üzere özel üretilmiş uçlardan bazılarıdır.

Tablo 1. Endodontide kullanılan ultrasonik uçların sınıflandırılması

Açılarına göre	Tek açılı	
	Çok açılı	
Uzunluklarına göre	Uzun	
	Kısa	
Kesme yönlerine göre	Sadece ucu kesen	
	Lateralden kesen	
Yapıldıkları materyale göre	Paslanmaz çelik	
	Titanyum alaşım	
Yüzey kaplamasına göre	Kaplamasız	
	Elmas partikül kaplı	
	Zirkonyum nitrit kaplı	

ET-20, ET-20D, ET-25, ET-25S, ET25L, ET18D (Satelec Acteon);

ET20 ultrasonik uç, KKT yenilemelerinde kanal dolgu materyalinin, gümüş konların, kırık eğelerin çıkarılması ve smear tabakasının ve kalıntıların uzaklaştırılması için kullanılmaktadır (Resim 1). ET20D ultrasonik uç, diğer uçtan farklı olarak elmas kaplamaya sahiptir. Yeniden KKT sırasında koronal üçlüde bulunan sert materyallerin uzaklaştırılması için kullanılmaktadır (Resim 2). ET25 ultrasonik uç, KKT yenileme işlemleri sırasında orta ve apikal üçlüde kullanılması önerilmektedir. Aynı zamanda kırık eğelerin kök kanalından uzaklaştırılmasında da etkilidir (Resim 3). Yapısı titanyum niyobyumdur. ET25S ve ET25L ultrasonik uçları, ET25 numaralı uç ile aynı yapıya sahiptir (Resimler 4 ve 5). Ancak, ET25S bu uçtan daha kısa; ET25L ise daha uzundur. Her 2 uç da yeniden KKT sırasında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. ET25S dişin koronal üçlüsünde ve

istmuslarda, ET25L ise düz kanallarda dişin apikal üçlü bölgesinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. ET18D ultrasonik uç, kalsifikasyonların ve kök kanal dolgu materyallerinin uzaklaştırılması için yeniden KKT işlemlerinde kullanılır ve bu uç elmas kaplıdır (Resim 6).



Resim 1. ET20 ultrasonik uç



Resim 2. ET20D ultrasonik uç



Resim 3. ET25 ultrasonik uç



Resim 4. ET25S ultrasonik uç



Resim 5. ET25L ultrasonik uç



Resim 6. ET18D ultrasonik uç

E7, E8 (NSK)

E7 ve E8 ultrasonik uçlar da KKT yenilemelerinde kök kanalından dolgu materyalinin uzaklaştırmak için kullanılır (Resimler 7 ve 8). E7 ultrasonik ucun uzunluğu 16 mm, E8 ultrasonik ucun uzunluğu 26 mm'dir.



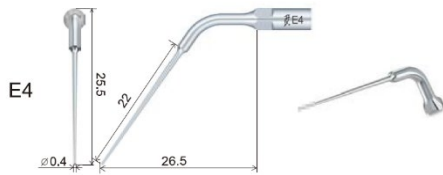
Resim 7. E7 ultrasonik uç (16 mm uzunluk)



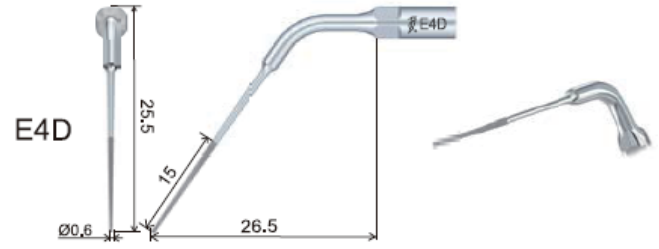
Resim 8. E8 ultrasonik uç (26 mm uzunluk)

E4, E4D, E5, E5D (Woodpecker)

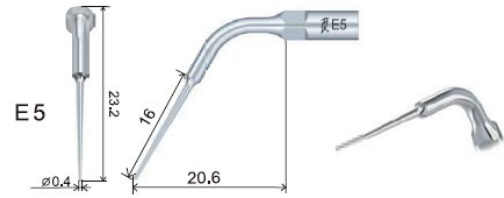
E4 ultrasonik uç, KKT yenilemelerinde dolgu materyalinin uzaklaştırılması için kullanılmaktadır (**Resim 9**). Ultrasonik ucun uzunluğu 22 mm ve ucun çapı 0.4 mm'dir. **E4D ultrasonik uç**, KKT yenilemelerinde kök kanallarında bulunan dolgu materyallerini uzaklaştırmak için uygulanmaktadır (**Resim 10**). Elmas kaplı ucun uzunluğu 15 mm, ucun çapı 0.6 mm'dir ve 40 µm elmas kaplamaya sahiptir. **E5 ultrasonik uç**, KKT yenilemelerinde dolgu materyalinin uzaklaştırılması için kullanılmaktadır (**Resim 11**). Ultrasonik ucun uzunluğu 16 mm, çapı 0.4 mm'dir. **E5D ultrasonik uç**, KKT yenileme işlemleri sırasında kalsifikasyonları ve kanal içerisindeki dolgu materyallerini uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Elmas kaplı ucun uzunluğu 10 mm, ucun çapı 0.6 mm'dir ve 40 µm elmas kaplamaya sahiptir (**Resim 12**).



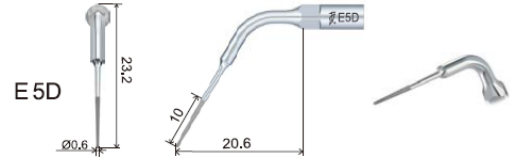
Resim 9. E4 (22mm uzunluk, paslanmaz çelik)



Resim 10. E4D (elmas uç uzunluğu 15 mm, elmas kaplı 40 µm)



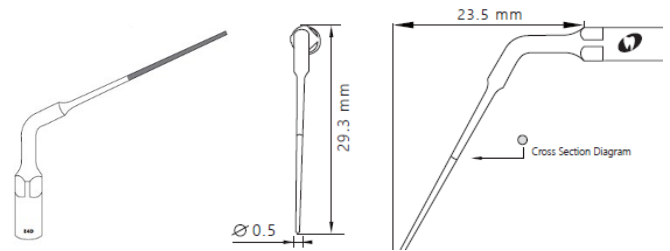
Resim 11. E5 (16 mm uzunluk, paslanmaz çelik)



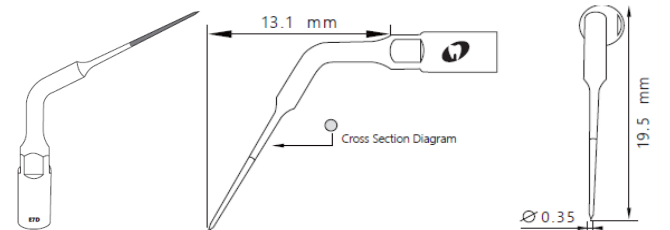
Resim 12. E5D (elmas uç uzunluğu 10mm, elmas kaplı 40 µm)

E4D ve E7D (Eighteenth)

E4D ultrasonik uç, KKT yenilemelerinde kök kanalındaki dolgu materyallerini uzaklaştırmak için kullanılmaktadır (**Resim 13**). Ultrasonik ucun çapı 0.5 mm'dir ve elmas kaplamaya sahiptir. **E7D ultrasonik uç** yeniden KKT sırasında kanal girişlerine erişimi sağlayabilmek için kalsifikasyonların ve dolgu materyallerinin uzaklaştırılması için kullanılmaktadır (**Resim 14**). Ultrasonik ucun çapı 0.35 mm'dir ve elmas kaplamaya sahiptir. Resimde de görüldüğü üzere diğer ultrasonik uçlardan farklı olarak sivri bir uca sahiptir.



Resim 13. E4D ultrasonik uç (ultrasonik uç çapı 0.5 mm)



Resim 14. E7D ultrasonik uç (ultrasonik uç çapı 0.35 mm)

R1 Clearsonic, R2 Flatsonic (Helse Ultrasonic)

R1-Clearsonic ultrasonik uç paslanmaz çelikten yapılmış ok şeklinde bir kesit ve ISO boyutu 50 numaralı eğeye (0.5 mm) karşılık gelen bir çapa sahiptir (**Resim 15**). **R2- Flatsonic** paslanmaz çelikten yapılmıştır ve 0.25 mm uç çapına ve ok tasarımına sahiptir (**Resim 16**).



Resim 15. R1-Clearsonic ultrasonik uç (ultrasonik uç çapı 0.5 mm)



Resim 16. R2- Flatsonic ultrasonik uç (ultrasonik uç çapı 0.25 mm)

KKT Yenilemelerinde Ultrasonik Uçların Kullanımı ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Kasam & Mariswamy⁸⁴ çinko oksit öjenol (ZnOE) kullanarak 48 tane alt çene küçük azı dişine kök kanal dolumu uygulanmış; ultrasonik retreatment ucu (E-3, E-7), “safe sided” H tipi eğe, H tipi eğe, ProTaper Universal Retreatment eğesi (PTUR) ile KKT yenileme işlemi yapılmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Her bir diş ikiye bölünerek stereomikroskop altında incelenmiş ve ultrasonik ucun diğer gruplardan anlamlı ölçüde kök kanalından daha fazla materyal uzaklaştırdığı bildirilmiştir. Ultrasonik uç grubunu PTUR, H tipi eğe ve “safe sided” H tipi eğe ile söküm grupları izlemiştir.

Rivera-Peña ve ark.⁸⁵ 45 adet alt çene kesici dişlerinde, Sealer Plus (MK Life, Porto Alegre, Brezilya) ile kök kanal dolumu yapılan dişler 3 gruba ayrılmıştır. Yeniden KKT sırasında birinci grupta Reciproc eğe, ikinci grupta Reciproc eğe + Clearsonic uç, üçüncü grupta Clearsonic uç + Reciproc eğe ile söküm işlemleri tamamlanmıştır. Örneklerin dolum sonrası ve söküm sonrası mikro-ct (μ CT) taramaları karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Üç grup karşılaştırıldığında söküm sonrası kök kanalında kalan en yüksek dolgu materyali kalıntısı birinci grupta (Reciproc eğe), en düşük ise 3. grupta (Clearsonic uç + Reciproc eğe) tespit edilmiştir. Dolgu materyalini uzaklaştırmak için Clearsonic ucun ve ardından Reciproc eğesinin kullanılması, kök kanalının tamamında ve apikal üçlüde en düşük dolgu materyali kalıntısı yüzdesiyle sonuçlanmıştır.

2019 yılında Agrawal ve ark.⁸⁶ çalışmasında 60 tane alt çene küçük azı dişine ZnOE ile kök kanal dolumu yapılmıştır. Kök kanal dolgu materyalini uzaklaştırmak için kök kanalına Mtwo retreatment eğesi, E-7 ultrasonik retreatment ucu ve R-Endo retreatment eğesi sistemleri uygulanmıştır. Dişler, uzunlamasına, bukkolingual yönde bir elmas separe ile ikiye bölünmüş ve kök kanal duvarlarında kalan dolgu materyalini görüntülemek için $\times 40$ büyütme bir stereomikroskop kullanılmıştır. Kök kanalında kalan en düşük dolgu materyali kalıntısının ultrasonik uç ile söküm grubunda olduğu bildirilmiştir. Ultrasonik uç grubunu Mtwo eğe ile söküm grubu ve R-Endo eğe ile söküm grubu izlemiştir.

Silva ve ark.⁸⁷ yaptıkları çalışmada 20 tane alt çene tek köklü diş AH Plus ile kök kanal dolumu uygulamıştır. Ardından tüm dişlere yeniden KKT başlanarak R25 kanal eğesi ve R40 kanal eğesi ile söküm işlemi yapılmıştır. Ek temizleme tekniklerinin, söküm sonrası kök kanalı içerisinde kalan dolgu materyali miktarına etkisinin araştırıldığı çalışmada, ek yöntem olarak R2-Clearsonic ultrasonik uç ve XP-Endo Finisher (FKG Dentaire) kullanılmıştır. Örnekler μ CT ile taranmıştır. Kanal eğesine ek olarak kullanılan tekniklerin kök kanal dolgu materyalini uzaklaştırmada etkili olduğu ancak kullanılan hiçbir tekniğin kök kanal dolgu materyalini kök kanalından tamamen uzaklaştırmadığı sonucuna varılmıştır.

Tavares ve ark.⁸⁸ KKT yenilemelerinde ultrasonik uçların kullanımı ile ilgili yaptıkları çalışmada 12 çift kontralateral alt çene küçük azı dişine rezin bazlı (Sealer 26) kök kanal dolgu materyali ile dolum yapılmıştır. R50 kanal eğesi ile kök kanal patının sökümü sonrası bu yöntem ek olarak R1-Clearsonic ultrasonik uç ve XP-Endo Finisher kanal eğesi kullanılmıştır. Ardından μ CT ile görüntüleme sağlanmıştır. Çalışmanın sonucunda kanal eğesine ek olarak kullanılan tekniklerin kök kanal dolgu materyalini uzaklaştırmada etkili olduğu bildirilmiştir.

Crozeta ve ark.⁷ çalışmasında 28 tane alt çene büyük azı dişinin distal kökleri kullanılmıştır. Örnekler R40 kanal eğesi ile şekillendirilmiş ve ardından örnekler rezin esaslı kök kanal patı (AH Plus) ve biyoseramik esaslı kök kanal patı (BC Sealer) kullanılarak tek kon tekniği ile doldurulmuştur. R50 kanal eğesi ile kök kanal dolgu materyalinin sökümüne başlanmıştır. Kanal eğesi ile sökümün ardından kök kanallarında XP-Endo Finisher R kanal eğesi ve R2 Flatsonic ultrasonik uç kullanılmıştır. Değerlendirme için μ CT ile tarama sağlanmıştır. Çalışma sonucunda, kanal eğesi ile söküm işleminin ardından kullanılan ek tekniklerin kök kanal dolgu materyalinin miktarını azalttığı bildirilmiştir.

Son olarak 2024 yılında Santos-Junior ve ark.⁸³ yaptığı çalışmada 24 adet alt çene azı dişinin distal kökü Reciproc Blue R40 ile şekillendirilmiş ve dolum yapılmıştır. Ardından tüm dişler ilk olarak Reciproc Blue R40+Reciproc Blue R50 kanal eğesi kullanılarak sökümüştür. Ardından kök kanal patını kanaldan uzaklaştırmak için tüm örnekler R2-Flatsonic ultrasonik uç ve XP-Endo Finisher kanal eğesi uygulanmıştır. Değerlendirmede μ CT ile görüntüleme sağlanmıştır. Kök kanallarının yeniden tedavisinde Flatsonic ultrasonik uç ile XP-Endo Finisher kanal eğesi karşılaştırıldığında, ultrasonik ucun daha fazla miktarda kök kanal dolgu materyali uzaklaştırdığı bildirilmiştir. Ancak, her 2 ek yöntemde de apikal üçlüde benzer sonuçlar alınmıştır.

SONUÇ

Bu derleme sonuçlarından da görüldüğü üzere ultrasonik uçlar endodontik uygulamalarda geniş kullanım alanına ve avantajlarına sahiptir. Ultrasonik uçların kullanımı kök kanallarına erişimin sağlanması, kırık eğelerin kanaldan uzaklaştırılması, irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu sayesinde daha yüksek etkilerin görülmesi gibi öngörülebilir sonuçlar ortaya koymuştur. KKT yenileme işlemlerinde kanal dolgu materyalinin kök kanalından tamamen uzaklaştırılamaması sorunu araştırmacıları yeni arayışlara yönlendirmiştir. Kanal patını uzaklaştırabilmek için farklı özelliklerde ultrasonik uçlar üretilmiştir ve bu uçların sayısı gün geçtikçe çoğalmaktadır. Sonuç olarak ultrasoniklerin ve uçlarının farklı tasarım ve özelliklerinin gelişmesi ile birlikte yeniden KKT'lerinin uygulama şekli değişmiş ve başarıları artmıştır. Ancak, ultrasonik uçların değerlendirildiği çalışmalar çoğunlukla *in vitro* niteliktedir. Söz konusu uçlarla yapılacak kapsamlı klinik çalışmalara ve onların uzun süreli takiplerine de ihtiyaç vardır.

Değerlendirme / Peer-Review

İki Dış Hakem / Çift Taraflı Körleme

Etik Beyan / Ethical statement

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

It is declared that during the preparation process of this study, scientific and ethical principles were followed and all the studies benefited are stated in the bibliography.

Benzerlik Taraması / Similarity scan

Yapıldı - ithenticate

Etik Bildirim / Ethical statement

dishekimligidergisi@selcuk.edu.tr

Telif Hakkı & Lisans / Copyright & License

Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

Finansman / Grant Support

Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir. | The authors declared that this study has received no financial support.

Çıkar Çatışması / Conflict of Interest

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir. | The authors have no conflict of interest to declare.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Çalışmanın Tasarlanması | Design of Study: AKG(%50) SSM(%50)
Veri Toplanması | Data Acquisition: AKG(%50) TMH(%50)
Veri Analizi | Data Analysis: AKG(%40) TMH(%40) SSM(%20)
Makalenin Yazımı | Writing up: AKG(%40) TMH(%30) SSM(%30)
Makale Gönderimi ve Revizyonu | Submission and Revision: AKG(%40) TMH(%30) SSM(%30)

KAYNAKLAR

- Schilder H. Cleaning and Shaping the Root Canal. *Dent Clin North Am.* 1974;18(2):269-296.
- Nair PNR, Sjögren U, Krey G, Kahnberg KE, Sundqvist G. Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron microscopic follow-up study. *J Endod.* 1990;16(12):580-588.
- Ruddle CJ. Nonsurgical Retreatment. *J Endod.* 2004;30(12):827-845.
- Davis DM, Fiske J, Scott B, Radford DR. The emotional effects of tooth loss in a group of partially dentate people: a quantitative study. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2001;9(2):53-57.
- Abbott P V. Analysis of a referral-based endodontic practice: Part 2. Treatment provided. *J Endod.* 1994;20(5):253-257.
- Alves FRF, Marceliano-Alves MF, Sousa JCN, Silveira SB, Provenzano JC, Siqueira JF. Removal of root canal fillings in curved canals using either reciprocating single- or rotary multi-instrument systems and a supplementary step with the XP-Endo Finisher. *J Endod.* 2016;42(7):1114-1119.
- Crozeta BM, Lopes FC, Menezes Silva R, Silva-Sousa YTC, Moretti LF, Sousa-Neto MD. Retreatability of BC Sealer and AH Plus root canal sealers using new supplementary instrumentation protocol during non-surgical endodontic retreatment. *Clin Oral Investig.* 2021;25(3):891-899.
- Zuolo AS, Mello JE, Cunha RS, Zuolo ML, Bueno CES. Efficacy of reciprocating and rotary techniques for removing filling material during root canal retreatment. *Int Endod J.* 2013;46(10):947-953.
- Nair PN. Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004;15(6):348-381.
- Grischke J, Müller-Heine A, Hülsmann M. The effect of four different irrigation systems in the removal of a root canal sealer. *Clin Oral Investig.* 2014;18(7):1845-1851.
- Gencoglu N, Helvacioğlu D. Comparison of the Different Techniques to Remove Fractured Endodontic Instruments from Root Canal Systems. *Eur J Dent* 2009; 3:90-95.
- Ersev H, Yilmaz B, Dinçol ME, Dağlaroğlu R. The efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment instrumentation to remove single gutta-percha cones cemented with several endodontic sealers. *Int Endod J.* 2012;45(8):756-762.
- Stock CJ. Current status of the use of ultrasound in endodontics. *Int Dent J.* 1991;41(3):175-182.
- Ahmad M, Roy RA, Kamarudin AG, Safar M. The vibratory pattern of ultrasonic files driven piezoelectrically. *Int Endod J.* 1993;26(2):120-124.
- Lumley PJ, Walmsley AD, Marquis PM. Effect of air inlet ring opening on sonic handpiece performance. *J Dent.* 1994;22(6):376-379.
- Lloyd A, Jaunberzins A, Dummer PMH, Bryant S. Root-end cavity preparation using the MicroOmega Sonic Retro-prep Tip™. SEM analysis. *Int Endod J.* 1996;29(5):295-301.
- Von Arx T, Kurt B, Ilgenstein B, Hardt N. Preliminary results and analysis of a new set of sonic instruments for root-end cavity preparation. *Int Endod J.* 1998;31(1):32-38.
- Von Arx T, Kurt B. Root-end cavity preparation after apicoectomy using a new type of sonic and diamond-surfaced retrotip: a 1-year follow-up study. *J Oral Maxillofac Surg.* 1999;57(6):656-661.
- Ahmad M, Pitt Ford TJ, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *J Endod.* 1987;13(10):490-499.
- Layton CA, Marshall JG, Morgan LA, Baumgartner JC. Evaluation of cracks associated with ultrasonic root-end preparation. *J Endod.* 1996;22(4):157-160.
- Walmsley AD. Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation. *Int Endod J.* 1987;20(3):105-111.
- Lumley PJ, Walmsley AD, Laird WRE. An investigation into cavitation activity occurring in endosonic instrumentation. *J Dent.* 1988;16(3):120-122.
- Laird WRE, Walmsley AD. Ultrasound in dentistry. Part 1—biophysical interactions. *J Dent.* 1991;19(1):14-17.
- Plotino G, Pameijer CH, Maria Grande N, Somma F. Ultrasonics in Endodontics: A Review of the Literature. *J Endod.* 2007;33(2):81-95.
- Martin H, Cunningham W. Endosonic endodontics: the ultrasonic synergistic system. *Int Dent J.* 1984;34(3):198-203.
- Iqbal MK. Nonsurgical ultrasonic endodontic instruments. *Dent Clin North Am.* 2004;48(1):19-34.
- Chaniotis A, Ordinola-Zapata R. Present status and future directions: Management of curved and calcified root canals. *Int Endod J.* 2022;55(5):656-684.
- Camacho-Aparicio LA, Borges-Yáñez SA, Estrada D, Azcárraga M, Jiménez R, González-Plata-R R. Validity of the dental operating microscope and selective dentin removal with ultrasonic tips for locating the second mesiobuccal canal (MB2) in maxillary first molars: An in vivo study. *J Clin Exp Dent.* Published online 2022; 14(6): e471-e478.
- Lin YH, Mickel AK, Jones JJ, Montagnese TA, González AF. Evaluation of cutting efficiency of ultrasonic tips used in orthograde endodontic treatment. *J Endod.* 2006;32(4):359-361.
- Martin HACD, Cunningham WT, Norris JP, Cotton WR, Washington DC, Und Baltimore B. Ultrasonic versus Hand Filing of Dentin: A Quantitative Study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980a; 49:79-81
- Martin H, Cunningham WT, Norris JP, Washington DC, Bethesda B. A Quantitative Comparison of the Ability of Diamond and K-Type Files to Remove Dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980b; 50:566-568.
- Barnett F, Godick B, Tronstad L. Clinical suitability of a sonic vibratory endodontic instrument. *Dental Traumatology.* 1985;1(2):77-81.
- Barnett F, Trope M, Khoja M, Tronstad L. Bacteriologic status of the root canal after sonic, ultrasonic and hand instrumentation. *Dental Traumatology.* 1985;1(6):228-231.
- Tronstad L, Barnett F, Schwartzben L, Frasca P. Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endod Dent Traumatol.* 1985;1(2):69-76.
- Tang MPF, Stock CJR. The Effects of Hand, Sonic and Ultrasonic Instrumentation on the Shape of Curved Root Canals. *Int Endod J* 1989; 22:55- 63.
- Prati C, Selighini M, Ferrieri P, Mongiorgi R. Scanning electron microscopic evaluation of different endodontic procedures on dentin morphology of human teeth. *J Endod.* 1994;20(4):174-179.
- Gulabivala KP, Setchell DJ. A Comparison Of the Dentine-Removing Characteristics of Two Endosonic Units. *Int Endod J* 1993; 26:26 -36.
- Lumley PJ, Harrington E, Marquis PM, Walmsley AD. Intra-canal cutting ability of MM1500 files. *Int Endod J* 1996; 29:309 -314.
- Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Wilson RF, Kuala -. Effectiveness of Ultrasonic Files in the Disruption of Root Canal Bacteria. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;70: 328 -332.
- Rodrigues HH, Carlos J, Biffi G. A Histobacteriological Assessment of Nonvital Teeth after Ultrasonic Root Canal Instrumentation. *Endod Dent Traumatol* 1989; 5:182-187.
- Briseño Marroquin B, Sobarzo-Navarro V, Devens S. The influence of different engine-driven, sound ultrasound systems and the Canal Master on root canal preparation: an in vitro study. *Int Endod J.* 1993;26(3):190-197
- Torabinejad M, Linda L. Passive Step-Back Technique A Sequential Use of Ultrasonic and Hand Instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994; 77:402-405.
- Santos-Junior AO, Tanomaru-Filho M, Pinto JC, Tavares KIMC, Pivoto-João MMB, Guerreiro-Tanomaru JM. New Ultrasonic Tip Decreases Uninstrumented Surface and Debris in Flattened Canals: A Micro-computed Tomographic Study. *J Endod.* 2020;46(11):1712-1718.
- Tavares KIMC, Pinto JC, Santos-Junior AO, Esteves Torres FF, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M. Combination of a new ultrasonic tip with rotary systems for the preparation of flattened root canals. *Restor Dent Endod.* 2021;46(4): e56.
- Fu M, Zhang Z, Hou B. Removal of broken files from root canals by using ultrasonic techniques combined with dental microscope: A retrospective analysis of treatment outcome. *J Endod.* 2011;37(5):619-622.
- Honda R, Pelepenko LE, Monteiro MF, et al. Fibre post removal using ultrasonic tips: A comparative in vitro study using different protocols. *Aust Endod J.* Published online October 28, 2024. doi:10.1111/aej.12898
- Suter B, Lussi A, Sequeira P. Probability of removing fractured instruments from root canals. *Int Endod J.* 2005;38(2):112-123.
- Krell K V, Fuller MW, Scott GL. The Conservative Retrieval of Silver Cones in Difficult Cases Remocion de Los Conos de Plata En Casos Con Dificultades. Vol 10.; *J Endod.* 1984;10(6):269-273.

49. Ward JR, Parashos P, Messer HH. Evaluation of an Ultrasonic Technique to Remove Fractured Rotary Nickel-Titanium Endodontic Instruments from Root Canals: An Experimental Study.; J Endod. 2003;29(11):756-763
50. Madarati AA, Watts DC, Qualtrough AJE. Opinions and attitudes of endodontists and general dental practitioners in the UK towards the intra-canal fracture of endodontic instruments. Part 2. Int Endod J. 2008;41(12):1079-1087.
51. Cujé J, Bargholz C, Hülsmann M. The outcome of retained instrument removal in a specialist practice. Int Endod J. 2010;43(7):545-554.
52. Terauchi Y, Sexton C, Bakland LK, Bogen G. Factors Affecting the Removal Time of Separated Instruments. J Endod. 2021;47(8):1245-1252.
53. Dutner J, Mines P, Anderson A. Irrigation trends among american association of endodontists members: A web-based survey. J Endod. 2012;38(1):37-40.
54. De Gregorio C, Arias A, Navarrete N, Cisneros R, Cohenca N. Differences in disinfection protocols for root canal treatments between general dentists and endodontists: A Web-based survey. Journal of the American Dental Association. 2015;146(7):536-543.
55. Willershausen I, Wolf TG, Schmidtman I, et al. Survey of root canal irrigating solutions used in dental practices within Germany. Int Endod J. 2015;48(7):654-660.
56. van Der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. Int Endod J. 2007;40(6):415-426.
57. Malki M, Verhaagen B, Jiang LM, et al. Irrigant flow beyond the insertion depth of an ultrasonically oscillating file in straight and curved root canals: Visualization and cleaning efficacy. J Endod. 2012;38(5):657-661.
58. Jiang LM, Verhaagen B, Versluis M, Zangrillo C, Cuckovic D, Van Der Sluis LWM. An evaluation of the effect of pulsed ultrasound on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. J Endod. 2010;36(11):1887-1891.
59. Retsas A, Kouroumis A, Tzimpoulas N, Boutsoukis C. Uncontrolled Removal of Dentin during In Vitro Ultrasonic Irrigant Activation in Curved Root Canals. J Endod. 2016;42(10):1545-1549.
60. Căpută PE, Retsas A, Kuijk L, Chávez de Paz LE, Boutsoukis C. Ultrasonic Irrigant Activation during Root Canal Treatment: A Systematic Review. J Endod. 2019;45(1):31-44.e13.
61. van Der Sluis LWM, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR. 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(6):472-476.
62. van der Sluis LWM, Vogels MPJM, Verhaagen B, Macedo R, Wesselink PR. Study on the Influence of Refreshment/Activation Cycles and Irrigants on Mechanical Cleaning Efficiency During Ultrasonic Activation of the Irrigant. J Endod. 2010;36(4):737-740.
63. Curtis TO, Sedgley CM. Comparison of a continuous ultrasonic irrigation device and conventional needle irrigation in the removal of root canal debris. J Endod. 2012;38(9):1261-1264.
64. Leoni GB, Versiani MA, Silva-Sousa YT, Bruniera JFB, Pécora JD, Sousa-Neto MD. 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. Int Endod J. 2017;50(4):398-406.
65. Deitch AK, Liewehr FR, West LA, Patton WR. A comparison of fill density obtained by supplementing cold lateral condensation with ultrasonic condensation. J Endod. 2002;28(9):665-667.
66. Berman LH, Hargreaves KM. Cohen's Pathways of the Pulp - 12th Edition 2020:1457-1464
67. Friedman S. Management of post-treatment endodontic disease: A current concept of case selection. Australian Endodontic Journal. 2000;26(3):104-109.
68. Setzer FC, Kratchman SI. Present status and future directions: Surgical endodontics. Int Endod J. 2022;55(5):1020-1058.
69. de Lange J, Putters T, Baas EM, van Ingen JM. Ultrasonic root-end preparation in apical surgery: a prospective randomized study. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology. 2007;104(6):841-845.
70. Mehlhaff DS, Marshall JG, Baumgartner JC. Comparison of ultrasonic and high-speed-bur root-end preparations using bilaterally matched teeth. J Endod. 1997;23(7):448-452.
71. Lin CP, Chou HG, Kuo JC, Lan WH. The quality of ultrasonic root-end preparation: A quantitative study. J Endod. 1998;24(10):666-670.
72. Gorman MC, Robert Steiman H, Gartner AH. Scanning electron microscopic evaluation of root-end preparations. J Endod. 1995;21(3):113-117.
73. Setzer FC, Shah SB, Kohli MR, Karabucak B, Kim S. Outcome of endodontic surgery: A meta-analysis of the literature - Part 1: Comparison of traditional root-end surgery and endodontic microsurgery. J Endod. 2010;36(11):1757-1765.
74. Setzer FC, Kohli MR, Shah SB, Karabucak B, Kim S. Outcome of endodontic surgery: A meta-analysis of the literature - Part 2: Comparison of endodontic microsurgical techniques with and without the use of higher magnification. J Endod. 2012;38(1):1-10.
75. Gondim E, De Almeida Gomes BPF, Ferraz CCR, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. Effect of Sonic and Ultrasonic Retrograde Cavity Preparation on the Integrity of Root Apices of Freshly Extracted Human Teeth: Scanning Electron Microscopy Analysis. J Endod. 2002;28(9):646-650.
76. Taschieri S, Testori T, Francetti L, Del Fabbro M. Effects of ultrasonic root end preparation on resected root surfaces: SEM evaluation. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology. 2004;98(5):611-618.
77. Lloyd A, Gutmann J, Dummer P, Newcombe R. Microleakage of Diaket and amalgam in root-end cavities prepared using MicroMega sonic retro-prep tips. Int Endod J. 1997;30(3):196-204.
78. Lin CP, Chou HG, Chen RS, Lan WH, Hsieh CC. Root deformation during root-end preparation. J Endod. 1999;25(10):668-671.
79. Brent PD, Morgan LA, Marshall JG, Baumgartner JC. Evaluation of diamond-coated ultrasonic instruments for root-end preparation. J Endod. 1999;25(10):672-675.
80. Navarre SW, Steiman HR. Root-End Fracture During Retropreparation: A Comparison Between Zirconium Nitride-Coated and Stainless Steel Microsurgical Ultrasonic Instruments. J Endod. 2002;28(4):330-332.
81. Ishikawa H, Sawada N, Kobayashi C, Suda H. Evaluation of root-end cavity preparation using ultrasonic retrotips. Int Endod J. 2003;36(9):586-590.
82. Xu X, Li Z, Jiang P, Zheng C, Dou L. Effect of conventional needle irrigation, passive ultrasonic irrigation, sonic irrigation and XP-endo finisher in removing intracanal Vitapex paste. Australian Endodontic Journal. 2023;49(S1):374-380.
83. Santos-Junior AO, Tavares KIMC, Pinto JC, Torres FFE, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M. Flatsonic Ultrasonic Tip Optimizes the Removal of Remaining Filling Material in Flattened Root Canals: A Micro-computed Tomographic Analysis. J Endod. 2024;50(5):612-618.
84. Kasam S, Mariswamy AB. Efficacy of different methods for removing root canal filling material in retreatment - An in-vitro study. Journal of Clinical and Diagnostic Research. 2016;10(6):ZC06-ZC10.
85. Rivera-Peña ME, Duarte MAH, Alcalde MP, DE Andrade FB, Vivan RR. A novel ultrasonic tip for removal of filling material in flattened/oval-shaped root canals: a microCT study. Braz Oral Res. 2018;32: e88.
86. Agrawal P, Ramanna PK, Arora S, Sivarajan S, Jayan A, Sangeetha KM. Evaluation of efficacy of different instrumentation for removal of gutta-percha and sealers in endodontic retreatment: An in vitro study. Journal of Contemporary Dental Practice. 2019;20(11):1269-1273.
87. Silva EJNL, de Lima CO, Barbosa AFA, Ferreira CM, Crozeta BM, Lopes RT. Efficacy of an arrow-shaped ultrasonic tip for the removal of residual root canal filling materials. Australian Endodontic Journal. 2021;47(3):467-473.
88. Tavares SJO, Gomes CC, Marceliano-Alves MF, et al. Supplementing filling material removal with XP-Endo Finisher R or R1-Clearsonic ultrasonic insert during retreatment of oval canals from contralateral teeth. Australian Endodontic Journal. 2021;47(2):188-194.