

Bölüm 6

YENİ NESİL MULTİSONİK İRRİGASYON SİSTEMİ: GENTLEWAVE

Sinem ESKİCİ¹
Gülşen KİRAZ²

GİRİŞ

Kök kanal tedavisinin birincil amacı, kök kanal sisteminden vital veya nekrotik dokuları uzaklaştırmak, enfeksiyonu ortadan kaldırmak ve yeniden oluşmasını önlemektir. Bu nedenle, periradiküler dokuların iyileşmesi ve başarılı bir endodontik tedavi için optimal kök kanal temizliği ve dezenfeksiyonu gerekmektedir. Kök kanalları içerisindeki mikroorganizmalar daha çok istmus, dallanmalar, dentin tübülleri gibi kompleks anatomik bölgelerde kolonize olmaktadır. Mekanik preparasyon ile mikroorganizmalar, kök kanallarından yaklaşık %80 oranında azaltılabilmektedir ancak kompleks anatomik varyasyonlar nedeniyle tam olarak elimine edilememektedir. Bu nedenle, mekanik preparasyon ile kök kanalları içerisinde ulaşılamayan alanlara ulaşmanın tek yolu kanal içi irrigasyondur (1). İrrigasyonun amacı, kök kanal boşluğunu dezenfekte etmek, enfekte ve nekrotik doku kalıntılarını, planktonik ve biyofilm mikroorganizmalarını çözmek ve/veya uzaklaştırmaktır (2).

Kök kanal tedavilerinde irrigasyon, genellikle "konvansiyonel şırınga irrigasyonu" olarak bilinen, bir enjektör yardımı ile irrigasyon ajanı kanal içerisine uygulanarak yapılmaktadır (3). Kök kanalının apikalinin irrigasyonu daha önemli kabul edilmektedir, çünkü apikal bölgeden gelen mikroorganizmalar esas olarak konakçı ile iletişim kuran ve dolayısıyla periapikal inflamasyona neden olan mikroorganizmalardır (4). Konvansiyonel şırınga irrigasyonu yöntemi ile kanal içi irrigasyon sağlansa bile, kompleks anatomik alanlara tam olarak ulaşılamamakta ve irrigasyon ajanının apikal alana ekstrüzyonuna sebep ola-

¹ Arş. Gör., Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD, sinem.eskici@ksbu.edu.tr

² Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD, gulsen.kiraz@ksbu.edu.tr

bilecek pozitif basınç oluşturulabilmektedir. Bu durum ciddi hasta travmasına ve ağrıya sebep olmaktadır. Bu nedenle kök kanallarının güvenliğini ve irrigasyonun etkinliğini artırmak için negatif basınçlı irrigasyon (EndoVac), pasif ultrasonik irrigasyon (PUI), sonik irrigasyon, Foton İndüklü Fotoakustik Dalgalanma Tekniği (PIPS) ve lazer teknolojileri dahil olmak üzere kök kanal sisteminin temizliğini iyileştirmek için farklı irrigasyon yöntemleri ve cihazları geliştirilmiştir (5-7). Ancak bununla birlikte, bu sistemlerin hiçbirinin kök kanallarını tamamen debrislardan ve biyofilmlerden arındırdığı gösterilmemiştir. Uzun dönem başarı elde etmek için, çağdaş tekniklerle bile, debris ve biyofilm temizliği çoğu zaman yetersizdir. Ayrıca, bu tekniklerin çoğu, uzun dönem başarı sağlayabilmek için, irrigasyon ajanının kök kanallarına nüfus etmesini kolaylaştırmak amacıyla kök kanallarından fazla miktarda dentin uzaklaştırmaktadır ve bu durum kalan diş yapısını zayıflatmaktadır (7).

GentleWave sistemi (GW) (Sonendo, Laguna Hills, Kaliforniya, ABD) 2014 yılında ABD' de tanıtılmıştır ve kök kanallarının temizlenmesi ve dezenfeksiyonu için geliştirilmiş bir tür endodontik cihazı temsil etmektedir (2). GW sistemi, minimum mekanik preparasyondan sonra kök kanal sistemini temizlemek ve dezenfekte etmek için gelişmiş sıvı dinamiği ve akustik enerjiyi kullanan multisonik bir ultratemizleme teknolojisidir (8). Üretici firma önerilerine göre GW, minimal preparasyon gerektiren durumlarda dişin direncine katkı sağlamak amacıyla geleneksel preparasyon yerine tercih edilebilmektedir. Çünkü kök kanalının genişletilmesi kökün kırılma direncini düşürebilmekte ancak bununla birlikte, minimal enstrümantasyonun bu etkiye sahip olduğu konusunda hala bir fikir birliği bulunmamaktadır (1).

GW sistemi üretici firmaya göre, kök kanallarının temizlenmesini kolaylaştırmak için irrigasyon solüsyonu içinde geniş bir ses dalgası spektrumu üretecek şekilde tasarlanmıştır (9). GW, el aletinin ucunu kanal ağzına yerleştirmeden irrigasyon solüsyonlarını kök kanal sistemine dağıtan güçlü, yüksek hızlı bir kesme kuvveti oluşturmaktadır. Mikro-kabarcıkların patlaması, tüm kök kanal sistemine ulaşmak için sıvıdan geçen, böylece yumuşak dokuları temizleyen ve kök kanallarındaki bakterileri ortadan kaldıran akustik bir geniş bant frekans alanı yaratmaktadır (10).

GENTLEWAVE SİSTEMİ

GW sistemi bir ekran, geleneksel dental el aletine benzer bir el aleti ve atıkların toplandığı konteynerden oluşmaktadır. GW kullanırken, ağız boşluğu ile teması

önlemek için pulpa odasının sızdırmazlığı sağlanmalı ve böylece sodyum hipoklorit (NaOCl)' in çalışma alanına yayılması önlenmelidir. El aleti kullanıldığında, uç kısmının kanal ağzlarına girmemesini sağlamak için, el aleti pulpa odasının tabanından 1 mm yukarıya yerleştirilmelidir. Ekrandaki dokunmatik kontrol paneli, irrigasyonun el aletine yüksek hızlı akışının düzenlenmesini sağlar ve burada irrigasyon solüsyonu, el aletinin uç kısmındaki metal plakasına çarpar ve böylece uçtan bir spreynin serbest bırakılmasını tetikler. İrriganlar, solüsyonda bulunan çözünmüş gazı ortadan kaldırmak için bir gaz giderme işlemine tabi tutulmaktadır, böylece kök kanalından enerji beslemesini optimize eder ve vapor-lock etkisini ortadan kaldırır (1).

GW Sistemi, geniş ses dalgası spektrumu (yani multisonik dalgalar) dahil olmak üzere çeşitli fizyokimyasal mekanizmaların üretilmesi ve yayılması yoluyla kök kanal sistemini temizlemeyi amaçlamaktadır. GentleWave TI ucu, kök kanal sisteminin pulpa odasına yerleştirilir ve TI ucunda multisonik dalgalar başlatılır (7). TI ucundan, pulpa odasına irrigasyon solüsyonu verilirken aynı zamanda pulpa odasında bulunan fazla solüsyon TI ucunda bulunan vakumlu uç sayesinde atık kutusuna çıkarılmaktadır. Üreticiye göre, TI' nin ucundan solüsyon akışının başlatılması üzerine; solüsyonun akışı, pulpa odasında bulunan sabit solüsyon ile etkileşime girerek, kavitasyon bulutu adı verilen binlerce mikrokabarcık şeklinde hidrodinamik kavitasyona neden olan güçlü bir kesme kuvveti oluşturmaktadır. Kavitasyon bulutu içerisinde binlerce mikro-kabarcığın sürekli oluşumu ve patlaması, solüsyondan tüm kök kanal sistemine geçen geniş bantlı bir akustik alan oluşturmaktadır. Üreticinin GW kullanımı esnasındaki irrigasyon protokolü; 5 dk %3 NaOCl, 30 saniye steril salin solüsyonu, ardından 2 dk %8 EDTA ve 15 sn steril salin solüsyonu uygulanmasıdır (11). TI ucu, solüsyonun kök kanal ağzları üzerinde bir akış oluşturulmasına uygun şekilde tasarlanmıştır ve bu akış 45 ml/dk hıza sahiptir. Bu akış, kök kanal sistemi içerisinde hafif bir akışın yanı sıra hafif bir negatif basınca neden olmaktadır. Enerji ve akış, kök kanal sisteminde apikale doğru dağılmaktadır. Enerji kaybını en aza indirmek ve ayrıca kök kanal sistemi boyunca enerjiye sahip sıvının iletilmesini sağlamak için gazı uzaklaştırmaktadır (7).

Multisonik enerjinin etkileşimi; sıvı dinamiği ve kullanılan sıvının kimyası, gelişmiş çözünme ve pulpa dokusu, biyofilm gibi organik maddelerin çıkarılmasıyla sonuçlanmaktadır. İşlem esnasında TI ucu, pulpa odasının içine yerleştirilmekte ve kanallara veya kanal ağzlarına girmesi engellenmektedir. Bu nedenle kök kanallarının minimal preparasyonuna izin verip dişin bütünlüğünü, dayanıklılığını korumaktadır (7).

GENTLEWAVE SİSTEM İLE KÖK KANAL PREPARASYONU

GW, dentini korumak amacıyla genişletilmiş preparasyon ihtiyacını azaltmak için tasarlanan, minimal invaziv endodontik tekniktir (12). GW ile irrigasyon protokolleri, genellikle #15.04, S1 ProTaper eğesi, F1 ProTaper eğesi, #20.07, #20.04 veya #20.06 olmak üzere küçük apikal çap ve tapera sahip eğe kullanımını içeren minimum preparasyon gerektirmektedir. Ayrıca GW, servikal ön genişletme olmadan kullanılmasını önererek konservatif bir yol izlemektedir. Hiç preparasyon yapılmadan sadece GW sistemin kullanıldığı bazı çalışmalar da bulunmaktadır ancak bu durum geleneksel preparasyon yapılan durumlarda GW' in kullanılmayacağı anlamına gelmemektedir (1, 13).

APİKAL BASINÇ VE APİKAL EKSTRÜZYON

NaOCl nekrotik doku çözme ve bakterisit etkili olmasına rağmen, bu solüsyonun kök kanal tedavileri esnasında sık sık yenilenmesi gerekmektedir ve bu esnada periapikal dokulara ekstrüzyonu meydana geldiğinde hastada ağrı, şişlik, doku hasarı gibi ciddi komplikasyonlara yol açabilmektedir. Bu nedenle NaOCl' nin apikal alana ekstrüzyonunu önlemek, bir çok çalışmaya konu olmaktadır. 30 G enjektör ile geleneksel irrigasyon yöntemi pozitif basınç ile yaygın olarak kullanılmaya devam etmektedir ve bu durum NaOCl' nin apikal alana ekstrüze olma ihtimalini arttırmaktadır. Pozitif basınçlı irrigasyonu önlemek için son zamanlarda negatif basınçlı irrigasyon yöntemleri dikkat çekmeye başlamıştır (14).

GW sistemi, pulpa odasına yerleştirilmiş el aleti boyunca kök kanallarına enerjili sıvı akışı sunmaktadır ve bu esnada kök kanalları içerisinde vakum etkisi oluşturarak negatif basınç ile dışarı çıkan sıvıyı uzaklaştırmaktadır. Üreticiye göre GW sisteminde, kök kanallarının ISO 15' den daha fazla büyütülmesine gerek olmadığı bildirilmektedir (14).

Cbarara ve ark. (14) yaptıkları bir çalışmada, minimal preparasyon, geleneksel preparasyon ve aşırı preparasyon uygulayarak GW sisteminin, geleneksel irrigasyon yöntemi ve EndoVac ile apikal ekstrüzyon yönünden karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda GW ve EndoVac uygulanan dişlerde apikal ekstrüzyonun gerçekleşmediği, geleneksel yöntemde ekstrüzyonun meydana geldiği bildirilmiştir (14).

ORGANİK DOKU ÇÖZME

Haapasalo ve ark. (2) sığır kasının irrigasyon ile çözünmesi üzerine yaptıkları bir çalışmada; GW sistemi, ultrasonik irrigasyon, Endovac ve 27 G konvansiyonel irrigasyon sistemlerinin 5 dakikada %0.5, %3, %6 konsantrasyonlarında NaOCl kullanılarak etkinliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda GW, %0,5 NaOCl kullanıldığında saniyede %1, %3 NaOCl kullanıldığında saniyede %2,3 ve %6 NaOCl kullanıldığında saniyede %2,9 oranında en hızlı çözünme elde edilmiştir. Bu oran, kullanılan diğer tüm irrigasyon yöntemlerinden oldukça yüksek kaydedilmiştir. Diğer yöntemler, numunenin tamamını 5 dakika içerisinde çözememiştir. Yine aynı çalışmada, GW sisteminde NaOCl yerine salin solüsyonu kullanıldığında, dokuyu saniyede %0.16 - %0.02 oranında çözdüğü kaydedilmiş olup, diğer yöntemlerde çözünme meydana gelmemiştir (2).

KÖK KANAL DENTİNİNE ETKİLERİ

Wang ve ark. (15) yaptıkları bir çalışmada, taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak minimal preparasyon ile insan premolar dişlerinde GW kullanımından sonra dentin yüzey morfolojisini değerlendirmişlerdir. SEM görüntülerinin analizi sonucunda; organik doku, biyofilm veya debris kalıntısı ve daha fazla açık dentin tübülü göstermemiştir ve GW kullanıldığında preparasyon yapılmadan kök kanallarının tamamen temizlenebileceği sonucuna varmışlardır (15). Yine Wang ve ark. (16) GW sisteminin dentin erozyonu üzerindeki etkilerini inceledikleri bir çalışmada; GW %3 NaOCl + %8 EDTA + salin solüsyonu şeklinde kullandığında smear tabakası içermeyen temiz bir dentin yüzeyinin oluştuğu, dentinde erozyon meydana gelmediği bildirilmiştir. Ancak son irrigasyon olarak EDTA' nın ardından tekrardan NaOCl (NaOCl+EDTA+salin+-NaOCl) kullanıldığında dentinde erozyon meydana geldiği sonucuna varılmıştır (16).

KÖK KANALLARINDAN UZAKLAŞTIRMA ETKİLERİ

Biyofilm Üzerine Etkileri

GW ve pasif ultrasonik irrigasyon aktivasyonun (PUI) kök kanallarında bulunan biyofilme olan etkisi SEM ile incelendiği bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada; GW #15.04 Endosequence döner eğeleri ile minimal preparasyon yapılarak kullanılırken, PUI kullanılan sistem ProTaper döner aletlerinin S1, S2, F1, F2 eğeleri ile prepare edilmiştir. Çalışma sonucunda, apikal ve istmus alanların-

dan kaldırılan biyofilm miktarının GW sistemde, pasif ultrasonik sisteme göre oldukça fazla olduğu sonucuna varılmıştır (11).

Yapılan diğer bir çalışmada; GW ile Proultra Piezo Aktif Ultrasonik sistemin biyofilm üzerine etkisi incelenmiş; GW grubunda #10K kanal eğeleri ile çalışma uzunluğu ölçüldükten sonra Vortex Blue #15.04 döner eğeleri ile preparasyon yapıldıktan sonra prosedür uygulanmıştır. Aktif ultrasonik sistemde ise #10K eğeleri ile çalışma boyu tespit edildikten sonra yine Vortex Blue #35.04 döner aletleri ile preparasyon tamamlanmıştır. Yapılan PCR testleri sonucunda, GW ve aktif ultrasonik sistem uygulaması sonucunda biyofilm miktarında azalma olduğu ancak GW uygulanan dişlerde biyofilm miktarındaki azalmanın çok daha fazla miktarda olduğu bildirilmiştir (17).

Pulpa Dokusu ve Kök Kanal Debridmanı Üzerine Etkileri

GW kullanılarak, insan molar dişlerinde kök kanal debridmanının geleneksel döner aletlerle karşılaştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada; mandibular molarların meziobukkal (MB) ve meziolingual (ML) kanalları, maksiller molarların meziobukkal (MB) kanalları değerlendirilmiştir. Geleneksel döner aletlerde, Vortex Blue NiTi döner sistemi ve 30 G Max-i Prob irrigasyon iğnesi kullanılırken, GW sisteminde #15.04 Endosequence döner ege sistemi ile minimal preparasyon sağlanıp, preparasyondan sonra oluşan debris uzaklaştırmak için 30 G Max-i Prop irrigasyon iğnesi kullanılarak 1 ml salin ile irrigasyon yapılmıştır. Daha sonrasında GW sistemindeki prosedür uygulanmıştır. Mevcut araştırmalar sonucunda GW sisteminin, maksiller molarların MB kanallarından %98.1, mandibular molarların MB-ML kanallarından %97.2 oranında debrisleri uzaklaştırıldığı sonucuna varılmıştır. Bunun yanında geleneksel döner sisteminin kullanıldığı dişlerde ise maksiller molarların MB kanallarından %87,3, mandibular molarların MB-ML kanallarından %67,8 debrisin uzaklaştırıldığı bildirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları dahilinde GW' in geleneksel döner ege sistemlerine göre mandibular molarların MB-ML ve maksiller molarların MB kanallarında daha az miktarda doku kalıntısı bıraktığı sonucuna varılmıştır (18).

Wang ve ark. (15) yaptıkları bir çalışmada, SEM kullanılarak minimal preparasyon ile insan premolar dişlerinde GW kullanımından sonra kalkosferit varlığı/ yokluğu, yüzey düzensizlikleri, dentin tübül açıklığı ve kalan debris miktarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada 24 adet çekilmiş tek kanallı insan premolar dişi kullanılmıştır. 17 diş GW ile tedavi edilirken, 7 diş kontrol grubu

olarak tedavi edilmemiştir. Dişler ilk önce #10K kanal eğesi ile apikal açıklıkları belirlendikten sonra GW prosedürü ile tedavi edilmişlerdir. Bu çalışmada GW prosedüründe 5 dk %3 NaOCl ve 15 sn distile su kullanımından oluşmaktadır, kanallarda preparasyon uygulanmadığı için EDTA kullanılmamıştır. Çalışma sonucunda GW ile tedavi edilen dişlerin kök kanal duvarlarında daha fazla miktarda kalkosferit yapı bulunduğu, tedavi edilmeyen kontrol grubunun kök kanal duvarlarında ise dentin yüzeyini kaplayan yumuşak doku kalıntıları nedeni ile daha az miktarda kalkosferit yapı olduğu, yüzey düzensizliği açısından GW grubu ile test grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı, GW grubunda istmus alanlarında amorf kalsifiye yapıların bulunduğu bildirilmiştir. Dentin tübül açıklıklarının ise GW grubunda kontrol grubuna göre %50' nin üzerinde daha fazla açık tübül olduğu sonucuna varılırken, son olarak SEM görüntülerinin analizi sonucunda tedavi edilen tüm dişlerden organik ve inorganik debrislerin ve pulpa kalıntılarının tamamının elimine edildiği bildirilmiştir. Sonuç olarak GW ile tedavi edilen premolar dişlerde kök kanallarının farklı bölgelerinde yüzey düzensizliklerinin olduğu, yapısal olarak en düzensiz alanlarda bile kök kanallarının organik maddelerden (doku kalıntıları) ve dentin kalıntılarında tamamen temizlenebileceğinin mümkün olduğu gösterilmektedir (15).

Kalsifikasyonlar Üzerine Etkisi

GW sistemin etkinliği, distal kanallarında kalsifikasyon bulunan mandibular molar dişlerde mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda GW' in kök kanalı hacminde artışa sebep olduğu ve kalsifikasyonları %86,4 oranında azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Kanal hacmindeki artışın, kısmen kalsifikasyonların çıkartılmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu çalışmada kalsifikasyon hacminin azaldığı yalnızca bir kanalda, kalsifiye dokunun apikale taşındığı bildirilmiştir. Bu çalışma sonucunda; GW ile kalsifikasyonların, preparasyon olmadan kısmen veya tamamen kök kanallarından uzaklaştırılabildiği sonucuna varılmıştır (13).

Sert Doku Artıkları ve Smear Tabakasına Etkileri

Yapılan bir çalışmada (19), mandibular molar dişlerin mezial kanallarının enstrümantasyonu ve sert doku artıklarının uzaklaştırılması 2 sonik (aralıklı ultrasonik olarak aktiveleştirilmiş ultrasonik sistem (UI) , sürekli ultrasonik olarak aktiveleştirilmiş konvansiyonel ultrasonik sistem (CU)), 1 multisonik

(GW) olarak aktive edilen irrigasyon sistemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Karmaşık kök kanal anatomisine sahip olmaları nedeniyle mandibular molar dişler kullanılmıştır. İstmuslara sahip olan köklerde, ana kök kanallarının preparasyonu esnasında sert doku kalıntıları istemsiz olarak preparasyon sırasında veya sonrasında bol irrigasyona rağmen istmuslara taşınabilmektedir. Bu durum tedavinin başarı oranını azaltabilmektedir. Bu çalışmada tüm mandibular molar dişlerin mezial kanalları GW üreticisinin #20/06 boyutuna kadar preparasyon önermesine rağmen, tüm dişler #25/07 WaveOne Gold kanal eğeleri ile preparasyon yapıp daha sonra tüm sistemler kendi kullanım talimatlarına göre uygulanmıştır. SEM ve mikro-BT yardımı ile tüm dişler değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, mezial kök kanallarından ve istmuslardan sert doku artıklarının uzaklaştırılma oranları sırasıyla; UI sistemde %91.2 ve %93.5, CU sistemde %80.0 ve %88.9, GW %96.4 ve %97.9 olduğu bildirilmiştir. Bu çalışma sonucunda tüm bu oranlara bakıldığında, GW sert doku artıklarının kök kanallarından uzaklaştırılmasında daha etkili olduğu sonucuna varılmaktadır (19).

Kök kanallarından sert doku artıkları ve smear tabakasının çıkartılmasında erbiyum: yitrium, alüminyum, garnet lazer (Er: YAG), fotodinamik terapi, NaOCl ve GW' in etkinliğinin karşılaştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada tek köklü maksiller ikinci premolar dişler kullanılmıştır. Tüm dişlerde, çalışma uzunluğu #10K eğesi ile belirlendikten sonra, NiTi döner ege sistemleri kullanılarak kök kanal preparasyonu yapıp, %17 EDTA (5 mL) 1 dk, ardından %5.25 NaOCl (5 mL) ve distile su (2.5 mL) irrigasyonu yapılarak dişler rastgele beş gruba ayrılmıştır. Grup 1; geleneksel kök kanal tedavisi, grup 2; GW, grup 3; düşük seviyeli 660 nm arsenid, galyum, alüminyum (AsGaAl) lazer, grup 4; Er:-YAG lazer, grup 5; %5.25 NaOCl irrigasyonu ile tedavi edilmiştir. Tedavi sonrası her bir grup koronal, orta ve apikal üçlü olarak SEM ile değerlendirilmiştir. Koronal üçlüde smear tabakasını en iyi uzaklaştıran grup, grup 1'dir ve onu grup 5, 4, 2, 3 takip etmektedir. Orta üçlüde en iyi uzaklaştıran grup, grup 1 ve ardından grup 5, 4, 2, 3 uzaklaştırmıştır. Apikal üçlüde ise en anlamlı grup 1 ve ardından grup 5, 4, 2, 3 smear tabakasını uzaklaştırmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre, test edilen tüm ajanlar koronal, orta ve apikal bölgede smear tabakasını uzaklaştırmada etkilidir ancak Er:YAG lazerle aktive olan geleneksel kök kanal preparasyonunun, kök kanallarını temizleme ve smear tabakasını uzaklaştırarak dentin tübüllerini açmada nispeten daha etkili olduğu bildirilmektedir (20).

Kalsiyum Hidroksit (Ca (OH)₂) Uzaklaştırma Etkinliği

Bu konu ile ilgili GW etkinliğini değerlendiren iki çalışma bulunmaktadır. Birinci çalışmada, yapay olarak oluşturulmuş üç boyutlu molar dişlere Ca (OH)₂ yerleştirilmiştir ve 30 G açık uçlu irrigasyon iğnesi (NaviTip, Ultradent, South Jordan, UT, ABD), 30 G çift taraflı irrigasyon iğnesi (Transcodent, Neumünster, Almanya), GW ve ProUltra PiezoFlow ultrasonik irrigasyon iğnesi (PF) (Dentsply Tulsa Dental), EndoUltra NiTi aktivatör ucu (PUI) (Vista Dental Products, Racine, WI, ABD) kullanılarak Ca (OH)₂' in kök kanallarından uzaklaştırılması değerlendirilmiştir. GW üreticinin önerilerine göre kullanılmıştır. Çalışma sonucunda sadece GW ve PF sistemleri kök kanallarından Ca (OH)₂' i koronal, orta ve apikal üçlüden tamamen uzaklaştırabilmiştir ancak PF sistem için bu işlem daha fazla zaman gerektirmektedir. Bunun yanında kullanılan diğer sistemler Ca (OH)₂' i kök kanallarından tamamen uzaklaştıramamıştır. GW kanallardan Ca (OH)₂' i uzaklaştırırken her zaman korondan apikale doğru adım adım uzaklaştırırken, çoğu durumda PF öncelikle orta istmus, ardından apikal ve son olarak da koronal istmusları temizlemektedir. Bu çalışmanın sınırları dahilinde, GW' in kök kanallarından Ca (OH)₂' i en hızlı uzaklaştıran sistem olduğu, onu PF' nin takip ettiği bildirilmiştir (21).

Diğer çalışmada ise; birinci ve ikinci mandibular molar dişler kullanılarak iğne irrigasyonlu konvansiyonel preparasyon, PUI ile konvansiyonel preparasyon ve GW kullanılarak Ca (OH)₂' in kök kanallarından uzaklaştırılması mikro-BT ile değerlendirilmiştir. Öncelikle tüm dişlerin çalışma uzunluğu 10 K egesi ile belirlenir ve pulpa odası %5 NaOCl ile doldurulur. Meziyal kök kanalları WaveOne Primer (25/08) döner ege sistemleri ile distal kanallar ise WaveOne Large (40/08) döner ege sistemleri ile hazırlanır. Preparasyondan sonra tüm kanallarda 30 G Max-i Prob iğnesi kullanılarak 5 dk 10 mL %5 NaOCl ve %17 EDTA ile irrigasyon sağlanır. Daha sonra kök kanallarına Ca (OH)₂ yerleştirilir ve tüm sistemler kendi uygulama protokollerine göre uygulanır. Çalışma sonucunda; kök kanal hacimlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşmamıştır. Meziyal kök kanallarının apikal kısımlarından uzaklaştırılan Ca (OH)₂; konvansiyonel preparasyonda %47.82, PUI' de %61.66 , distal kök kanallarında ise konvansiyonel preparasyonda %77.68, PUI' de %88.85 olarak bildirilmektedir. GW' de ise bu oranlar apikal üçlüde meziyal kanallarda %100, distal kanallarda ise %98.78 olduğu bildirilmiştir. Hatta bu çalışmada ek deney olarak; Ca (OH)₂ uygulanmış dişlere bir hafta sonra, sadece su kullanılarak 90 saniye GW uygulanmıştır. GW' in sadece su ile irrigasyonunda Ca (OH)₂' in kanallarından

uzaklaştırılma oranı mezial ve distal kanallar için sırasıyla %99.85 ve %99.97 olduğu ortaya çıkmıştır (22).

Bu çalışmanın sonucunda; NaOCl ve EDTA ile ultrasonik aktivasyonlu veya aktivasyonsuz geleneksel irrigasyon yöntemleri, 7.5 dakikalık tedavi sırasında test edilen dişlerin hiçbirinde Ca (OH)₂'i uzaklaştırılmamıştır. Bununla birlikte, GW tek başına su ile Ca (OH)₂'i kanallarda herhangi bir alet kullanmadan 90 saniye gibi kısa bir süre içerisinde %99.85 oranında uzaklaştırmayı başardığı bildirilmiştir (22).

Retreatment Etkisi

Oval şekilli kök kanallarından, kanal dolum maddelerinin çıkartılmasında PUI ve GW' in etkinliklerinin değerlendirildiği bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada; daha önce endodontik tedavi uygulanmamış çekilmiş mandibular molar dişler kullanılmıştır. Dişlere giriş kavitesi açıldıktan sonra çalışma boyu belirlenir ve resiprokal (#40/06) döner eğe sistemleri ile distal kanallarda preparasyon yapılır. Irrigasyon ajanı olarak 2.5 mL %2.5 NaOCl, ardından 5 dk 2 mL %17 EDTA ve 1 dk 2 mL salin kullanılmıştır. Preparasyonu tamamlanan dişlerin vertikal sıcak dolum tekniği ve AH Plus kanal patı ile dolumu sağlanır ve dişler 2 hafta boyunca %100 nemli ortamda saklanır. Dişlerde kanal dolum malzemelerini sökmek için öncelikle Reciproc (#50/05) döner eğe sistemleri kullanılır ve dişlerde kalan dolgu malzemesi hacimleri not edilir. Daha sonra iki gruba ayrılan dişlere, PUI ve GW üretici talimatlarına uygun şekilde uygulanır. Uygulama sonrası SEM yardımı ile kanal duvarlarında kalan dolgu artık maddeleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda; #50/05 döner eğe sistemleri ile kanaldan uzaklaştırılan kök kanal dolgu materyal hacminin benzer olduğu, bunun yanında GW ve PUI'nin kanalda bulunan dolgu malzemesi hacmini azalttığı ancak tamamen ortadan kaldıramadığı bildirilmiştir. GW kök kanal materyalinin toplamda %10'unu uzaklaştırabilmişken, PUI %18 oranında uzaklaştırarak daha başarılı bir sonuç çıkartmıştır (23).

GW' in retreatment etkisinin değerlendirildiği başka bir çalışmada; mandibular molar dişler kullanılarak yandan perfore iğne, EndoVac ve GW'in etkinlikleri karşılaştırılmıştır (8).

Çalışmada mandibular birinci ve ikinci molar dişler kullanılarak #10K eğesi ile çalışma uzunluğu belirlenip, NiTi ProFile #20.06 döner eğe sistemi ile kanal preparasyonu tamamlanıp, kök kanal dolumu yapılmıştır. Retreatment tedavisi sırasında, servikal kısımdaki gutta perka .06 konikliğe sahip ısıtılmış plugger

yardımı ile, diğer kısımlardaki güttü perka ise #20.06 NiTi ProFile döner eğe sistemi ile kanaldan uzaklaştırılır. Daha sonra geri kalan kanal dolum materyalleri yandan perfore iğne, EndoVac ya da GW yardımı ile üretici talimatlarına göre uzaklaştırılmış ve mikro-BT ile değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlara göre üç uygulama da kanaldan artık materyali tamamen uzaklaştıramamıştır. Ancak bu çalışma GW' in yandan perfore iğneye (%16) ve EndoVac' a (%9) göre daha fazla artık materyali (%26) uzaklaştırdığını göstermektedir. Yandan perfore iğne ve GW grupları, EndoVac grubuna göre ortalama daha fazla materyali kanaldan uzaklaştırmayı başarmıştır. Ancak bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı değildir (8).

Kırık Aletlere Etkisi

GW' in kırık aletler üzerindeki etkisini değerlendiren tek bir çalışma bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada apikal ve orta üçlüde kırılan aletlere GW' in etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, farklı kurvatürlere sahip insan birinci ve ikinci molar dişler kullanılmıştır. Molar dişlerden de sadece maksiller molar dişlerin meziobukkal kanalları, mandibular molar dişlerin meziyal kanalları kullanılmıştır. Eğe kanala yerleştirilmeden önce, elmas frez ile #10, #15, #20K eğelerinin üzerinde eğe kalınlığının yarısı kadar bir çentik oluşturulmuştur ve oluşturulan çentik eğenin ucundan 2.5 mm uzaklıkta bulunmaktadır. Radyografi ile kök kanallarının kurvatür dereceleri belirlenir ve çentik bulunan eğeler kök kanallarında bilinçli olarak kırılana kadar saat yönünde ve saat yönünün tersinde olacak şekilde basınç ile kullanılır ve kırılan aletlerin konumu radyografik olarak kaydedilir. Daha sonra kırık aleti çıkartabilmek için GW üretici prosedürlerine göre dişe uygulanır ve her döngü sonrasında kırık alet kontrolü sağlanmak için radyografi alınır. Toplamda maksimum 3 döngü gerçekleştirilir (24). Çalışmanın sonucunda; 18' i apikalde 18' i orta üçlüde eğe bulunan molar dişlerden, apikal bölgede bulunan dişlerde %61.1, orta üçlüde bulunan dişlerde ise %83.3 oranında kırık aletlerin başarılı bir şekilde çıkarıldığı bildirilmiştir. #10K eğesinin %75' i, #15K eğesinin % 92' si, #20K eğesinin ise % 50' si kanaldan başarılı bir şekilde çıkarılmıştır ancak çalışma sonucunda eğe numaraları arasında önemli bir fark olmadığı sonucuna varılırken, ayrıca kök kurvatürününün 30 dereceden az olduğu durumlarda %91, 30 dereceden fazla olduğu durumlarda ise %42 oranında kırık aletlerin kanaldan uzaklaştırıldığı bildirilmektedir. Kırık aletlerin çıkartılmasında GW kullanıldığında fazla miktarda dentin kaldırılması engellenmektedir (24).

Gelecekteki çalışmalar kırık aletlerin kanaldan uzaklaştırılmadığı durumlarda GW' in kırık aletin etrafında ve apikalindeki irrigasyon etkinliği üzerinde durmalıdır (24).

POST-OPERATİF AĞRI DEĞERLENDİRİLMESİ

GW ile tedaviden sonra post-operatif ağrı insidansının değerlendirildiği bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, konvansiyonel şırınga irrigasyonu ve ultrasonik irrigasyon ile GW olmak üzere hastaları iki gruba ayırmışlardır. Hastalardan ağrılarını 0-100 arasında sayısal değerlendirme ölçeği (NRS) ile değerlendirmeleri ve işleme başlamadan 6 saat önce hastaların ağrılarını kaydetmeleri istenmiştir. Konvansiyonel gruptaki hastaların çalışma uzunluğu belirlendikten sonra, el ve döner eğeler kullanılarak en az #25/04 olmak üzere kök kanal preparasyonu tamamlanırken, GW kullanılan grupta çalışma uzunluğu belirlendikten sonra, kanalların minimum #25/04 ve #25/06 olmak üzere preparasyon tamamlanmıştır. İki seans sürecek olan tedavilerde, seansları arasında kök kanallarına Ca (OH)₂ konulmaktadır. Tedavi sonrasında hastalar değerlendirme ölçeğini eve götürerek işlem sonrası 6., 24., 72. ve 128. saatlerde ağrılarını kaydetmeleri istenmiştir. Çalışma sonucunda her iki grup arasında post-operatif ağrı açısından önemli bir fark bulunmadığı, konvansiyonel grupta %72.2, GW grupta ise %83.3 oranında post-op ağrı bildirim olduğu kaydedilmiştir. Her iki grup içinde ağrı insidansının ilk 6 saatlik dilimde fazla olduğu ve zaman geçtikte azaldığı bildirilmektedir. Sonuç olarak standart bir endodontik tedavi ile GW arasında post-operatif ağrı açısından önemli bir fark bulunmamaktadır (25). Ne yazık ki endodontik tedavi sonrası post-operatif ağrı insidansı özellikle tedavi sonrası 2 gün içerisinde sıklıkla yaygındır (7).

KANAL DOLUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

GW kullanılarak maksiller molar dişlerde kök kanallarının minimal preparasyonundan (#15/04 Vortex Blue) sonra 3 farklı pat ile dolununun mikro-BT ile değerlendirildiği bir çalışma yapılmıştır. Kök kanalları modifiye tek kon yöntemi kullanılarak Gutta-Flow, Bioseal, GuttaFlow 2 ve MTA Fillapex olmak üzere 3 farklı pat ile doldurulmuştur. Yapılan değerlendirmede GuttaFlow Bioseal %96.9- 98.9, GuttaFlow 2 %94.7-97.5 ve MTA Fillapex %89.4-89.5 oranında olmak üzere kök kanal dolumu sağlandığı görülmüştür. Çalışma sonucunda; GuttaFlow 2 ve GuttaFlow Bioseal patları kullanılan modifiye tek kon tekniğinin, minimal prepare edilmiş molar diş kök kanallarının GW kullanıldıktan sonra yüksek kaliteli bir dolum ile sonuçlandığı sonucuna varılmıştır (26).

KLİNİK ÇALIŞMALAR

GW yeni geliştirilmekte olan bir sistem olması nedeniyle çok az çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar GW ile tedavi edilen dişlerin 6 ay ve 12 ay sonrası endodontik tedavi başarı oranlarını değerlendirmektedir (12,7,27).

Sigurdsson ve ark. (12) 2016 yılında yaptıkları bir çalışmada; 89 molar dişte beş endodontist ile GW kullanılarak tedavisi sağlanıp, 6 aylık takip içeren çalışma yapmışlardır. Çalışmada kullanılan dişler; standart anestezi uygulamasından sonra rubber dam ile izole edilmiştir. Giriş kavitesi açılıp, #10, #15 K tipi el eğeleri kullanılarak elektronik apex bulucu yardımı ile çalışma boyu belirlenip ve ardından dişlerin #20 K el eğeleri ve ProTaper F1 döner ege sistemi ile minimal preparasyonları tamamlanmıştır. Daha sonra %3 NaOCl, distile su, %8 EDTA ve 30 sn distile su kullanılarak GW prosedürü uygulanmıştır. %8 EDTA 2 dk, distile su 15 saniye uygulanmıştır. GW prosedürü biten dişler paper pointlerle kurulanıp, güttä perka ve AH plus kanal patı kullanılarak sıcak vertikal dolum tekniği ile dolumu sağlanıp, daimi restorasyonu yapılmıştır (12).

Tedavi sonrası semptomlar tedaviden iki gün sonra yaşanan ağrı düzeyini görsel analog skala (VAS; 0-10) kullanılarak değerlendirilmiştir. Hastalar hem klinik hem de radyografik olarak takip edilmiştir. Periapikal iyileşmeyi değerlendirmek için periapikal indeks (PAİ) kullanılmıştır. PAİ' ye göre; (A) iyileşmiş; 1 veya 2 PAİ skorunun eşlik ettiği, perküsyon hassasiyeti dışında klinik olarak normal durum, (B) iyileşme durumunda; periradiküler lezyon boyutunda azalma veya PAİ skorunda azalmanın eşlik ettiği perküsyon hassasiyeti dışında klinik olarak normal durum, (C) hastalıklı; radyografik PAI skorunun 3 veya daha yüksek olması veya periradiküler lezyon boyutunda artış veya PAI skorunda artış ile birlikte klinik belirti ve semptomların varlığı olarak sınıflandırılır. İyileşmiş veya iyileşme durumunda olarak sınıflandırılan dişler başarılı olarak kabul edilmiştir. Çalışmada yapılan değerlendirmeler sonucunda mevcut 89 hastanın 77' si takip edilmiştir ve 77 dişin 60' ı (%77.9) iyileşmiş, 15' i (%19.5) iyileşme durumunda ve 2 diş (%2.6) hastalıklı olarak rapor edilmiştir. Genel olarak 77 dişin 75' i (%97.4) GW ile tedaviden 6 ay sonrasında iyileşme göstermiştir. Bu klinik çalışmada, sergilenen hızlı iyileşme oranı kök kanallarından doku artıklarının, biyofilmin ve bakterilerinin uzaklaştırılması ile ilişkilendirilmiştir. Çalışma sonucunda tedaviden sonraki iki gün içerisinde hastaların hiçbiri şiddetli ağrı yaşamazken, hastalardan sadece %3' ü orta derece ağrı yaşamıştır. Sonuç olarak GW kullanılarak yapılan kök kanal tedavisinin 6 aylık takip değerlendirmesi sonucunda %97.4 oranında bir iyileşme gösterilmiştir (12).

Sigurdsson ve ark. (7) 2016 yılında 6 endodontist ile yaptıkları bir diğer çalışmada; 89 diş GW ile tedavi ettikten sonra 12 aylık iyileşmeyi takip etmişlerdir. Dişlere uygulanan protokoller bir önceki çalışmada uygulanan protokol ile tamamen benzerdir. Çalışma sonucunda 89 hastadan 75' i (% 84.3) 12 ay takip edilmiş olup, takip sonucunda 69 diş iyileşmiş, 4 diş iyileşme durumunda ve 2 diş hastalıklı olarak sınıflandırılmıştır. Sonuç olarak GW kullanılarak yapılan kök kanal tedavisinin 12 aylık takip değerlendirmesi sonucunda yüksek oranda bir iyileşme gösterilmiştir (7).

DiVito ve ark. (27) 2017 yılında, 38 yaşında kadın hastanın periapikal lezyonu bulunan maksiller molar dişinin GW ile tedavisi sonrası 18 aylık takibini içeren bir çalışma yapmışlardır. Semptomatik apikal periodontitis tanısı konulan hastanın PAİ skoru 3 olarak belirlenmiştir. Hastaya standart anestezi uygulaması sonrası rubber dam izolasyonu ile giriş kavitesi açılıp, #15 K tipi eğe ile elektronik apex bulucu yardımıyla çalışma uzunluğu belirlenip, ProTaper F1 döner eğe sistemi ile kanal preparasyonu tamamlanmıştır. Daha sonra GW prosedürü uygulanarak, kök kanalları paper pointlerle kurulanıp gütta perka ve AH Plus kanal patı ile dolum sağlanmıştır. Daimi restorasyonu tamamlanmıştır. Hasta 3 ay sonra kontrol için geldiğinde, klinik olarak asemptomatik olduğu, perküsyon veya palpasyona ağrılı yanıt, mobilite, kırık, yumuşak doku lezyonu veya kök rezorpsiyonu bulunmadığı bildirilmiştir. PAİ skorunun 1 olduğu, periapikal lezyonun iyileştiği gözlenmiştir. Yine 6, 12, 18 aylık takipte dişin asemptomatik olduğu, periapikal lezyonun iyileştiği bildirilmiştir. Bu çalışma sonucunda GW ile tedavinin semptomatik apikal periodontiti bulunan dişlerde minimal preparasyon ile başarılı sonuçlara ulaşıldığı gösterilmektedir (27).

GW LİMİTASYONLARI

GW' in ana limitasyonu, maliyetidir. Ek olarak, GW maksimum %3 NaOCl ve %8 EDTA kullanılarak uygulanan bir sistemdir. Bu durumda, daha yüksek konsantrasyonlarda, farklı irrigasyon solüsyonlarının veya alternatif/deneysel irri-ganların kullanılmayacağı için bu durum bir limitasyon olarak kabul edilmektedir. El aleti ile ilgili olarak, GW' in dişte uygulanabilmesi için pulpa odasında dikey kaviteye ihtiyaç duyulmaktadır, bu nedenle, yapısal olarak hasar görmüş dişler, GW' in uygulanabilmesi için pulpa odası tabanının 1 mm yukarısında, yeterince restore edilmelidir. Dikkate alınması gereken bir diğer önemli husus, GW ile ilgili çalışmaların çoğunun in vitro olması ve değerlendiren çalışma sa-

yısının az olmasıdır. Ek olarak, klinik/radyografik başarıyı değerlendiren çalışmalar, GW' i diğer irrigasyon protokolleriyle veya minimal veya konvansiyonel preparasyonun başarı ile ilişkisini karşılaştırmamıştır. Bu nedenle, GW' in diğer irrigasyon yöntemlerine göre kullanımını haklı çıkarmak için özellikle klinik olmak üzere daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (1).

SONUÇ

Endodontik tedavinin amacı, enfekte dişleri cerrahi tedavi olmaksızın en kısa sürede sağlığına kavuşturmak ve fonksiyonunu devam ettirmesini sağlamaktır. Periradiküler dokuların iyileşmesi ve başarılı bir endodontik tedavi için mekanik preparasyonun yanı sıra kanal içi irrigasyon oldukça önem taşımaktadır. Konvansiyonel şırınga irrigasyonu en sık kullanılan yöntemdir ancak kanal içi irrigasyondaki yetersizliği ve apikal ekstrüzyona neden olması nedeniyle daha çok negatif basınçlı irrigasyon yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Negatif irrigasyon yöntemleri ise kanal içi irrigasyonda başarılı olmalarına rağmen, bu sistemlerden hiçbiri kök kanallarını tamamen debrislardan ve biyofilmlerden arındıramamıştır ve irrigasyon ajanlarının kök kanallarına nüfus etmesini kolaylaştırmak amacıyla kök kanallarından fazla miktarda dentin uzaklaştırılmaktadır. Bu durum kalan diş yapısını zayıflatmaktadır. Endodontik tedavilerde başarıyı etkileyen en önemli şeylerden biri dentin yapısının doğal formunun korunmasıdır.

GW kök kanallarının minimal preparasyonuna izin verip, dişin bütünlüğünü ve dayanıklılığını korumasını sağlamaktadır. Mevcut ve sınırlı çalışmalara dayanarak, GW irrigasyonunda apikal ekstrüzyon meydana gelmemiştir. Diğer irrigasyon yöntemlerine göre, en hızlı organik çözünmeyi gerçekleştirmiştir, daha fazla miktarda biyofilmi ortadan kaldırmıştır. Kanal içi medikamentleri başarılı bir şekilde uzaklaştırmıştır ve ayrıca sert doku kalıntıları ve smear tabakasını uzaklaştırma etkinliği diğer yöntemlere göre oldukça yüksektir. Yine kanal içi kalsifikasyonları ve kırık aletleri başarılı bir şekilde kanallardan uzaklaştırabilmiştir. Klinik olarak GW ile yapılan tedavilerin başarı oranları oldukça yüksektir ve tedavi sonrası post-operatif ağrı açısından geleneksel yöntemler ile GW arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. GW' in diğer irrigasyon yöntemlerine göre avantajlı olup olmadığı belirleyebilmek için, çoğunlukla klinik olmak üzere daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Coaguila-Llerena H, Gaeta E, Faria G. Outcomes of the GentleWave system on root canal treatment: a narrative review. *Restorative Dentistry & Endodontics*. 2022;47 (1): e11. doi:10.5395/rde.2022.47.e11
2. Haapasalo M, Wang Z, Shen Y, et al. Tissue dissolution by a novel multisonic ultracleaning system and sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*. 2014;40 (8):1178-1181. doi:10.1016/j.joen.2013.12.029
3. Chow T. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *Journal of endodontics*. 1983;9 (11):475-479. doi:10.1016/S0099-2399 (83)80162-9
4. Ricucci D, Siqueira Jr JF. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *Journal of endodontics*. 2010;36 (8):1277-1288. doi:10.1016/j.joen.2010.04.007
5. Faria G, Viola KS, Kuga MC, et al. Effect of rotary instrument associated with different irrigation techniques on removing calcium hydroxide dressing. *Microscopy research and technique*. 2014;77 (8):642-646. doi:10.1002/jemt.22382
6. Faria G, Viola K, Coaguila-Llerena H, et al. Penetration of sodium hypochlorite into root canal dentine: effect of surfactants, gel form and passive ultrasonic irrigation. *International Endodontic Journal*. 2019;52 (3):385-392. doi:10.1111/iej.13015
7. Sigurdsson A, Garland RW, Le KT, et al. 12-month healing rates after endodontic therapy using the novel GentleWave system: a prospective multicenter clinical study. *Journal of endodontics*. 2016;42 (7):1040-1048. doi:10.1016/j.joen.2016.04.017
8. Wright CR, Glickman GN, Jalali P, et al. Effectiveness of gutta-percha/sealer removal during retreatment of extracted human molars using the GentleWave system. *Journal of Endodontics*. 2019;45 (6):808-812. doi:10.1016/j.joen.2019.02.009
9. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, et al. Apical pressure created during irrigation with the GentleWave™ system compared to conventional syringe irrigation. *Clinical Oral Investigations*. 2016;20 (7):1525-1534. doi:10.1007/s00784-015-1632-z
10. Sigurdsson A, Garland RW, Le KT, et al. Healing of periapical lesions after endodontic treatment with the GentleWave procedure: a prospective multicenter clinical study. *Journal of endodontics*. 2018;44 (3):510-517. doi:10.1016/j.joen.2017.12.004
11. Choi HW, Park SY, Kang MK, et al. Comparative Analysis of Biofilm Removal Efficacy by Multisonic Ultracleaning System and Passive Ultrasonic Activation. *Materials (Basel)*. 2019;12 (21):3492. doi:10.3390/ma12213492
12. Sigurdsson A, Le KT, Woo SM, et al. Six-month healing success rates after endodontic treatment using the novel GentleWave™ system: the pure prospective multi-center clinical study. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2016;8 (3):e290-e298. doi:10.4317/jced.52779
13. Chen B, Szabo D, Shen Y, et al. Removal of calcifications from distal canals of mandibular molars by a non-instrumental cleaning system: A micro-CT study. *Australian Endodontic Journal*. 2020;46 (1):11-16. doi:10.1111/aej.12376
14. Charara K, Friedman S, Sherman A, et al. Assessment of apical extrusion during root canal irrigation with the novel GentleWave system in a simulated apical environment. *Journal of endodontics*. 2016;42 (1):135-139. doi:10.1016/j.joen.2015.04.009

15. Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. Root canal wall dentin structure in uninstrumented but cleaned human premolars: a scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics*. 2018;44 (5):842-848. doi:10.1016/j.joen.2018.01.014
16. Wang Z, Maezono H, Shen Y, et al. Evaluation of root canal dentin erosion after different irrigation methods using energy-dispersive X-ray spectroscopy. *Journal of endodontics*. 2016;42 (12):1834-1839. doi:10.1016/j.joen.2016.07.024
17. Zhang D, Shen Y, de la Fuente-Núñez C, et al. In vitro evaluation by quantitative real-time PCR and culturing of the effectiveness of disinfection of multispecies biofilms in root canals by two irrigation systems. *Clinical oral investigations*. 2019;23 (2):913-920. doi:10.1007/s00784-018-2515-x
18. Molina B, Glickman G, Vandrangi P, et al. Evaluation of root canal debridement of human molars using the GentleWave system. *Journal of endodontics*. 2015;41 (10):1701-1705.
19. Chan R, Versiani MA, Friedman S, et al. Efficacy of 3 supplementary irrigation protocols in the removal of hard tissue debris from the mesial root canal system of mandibular molars. *Journal of endodontics*. 2019;45 (7):923-929. doi:10.1016/j.joen.2019.03.013
20. Dash S, Ismail PM, Singh J, et al. Assessment of effectiveness of erbium: yttrium–aluminum–garnet laser, GentleWave irradiation, photodynamic therapy, and sodium hypochlorite in smear layer removal. *J Contemp Dent Pract*. 2020;21 (11):1266-1269.
21. Liu H, Shen Y, Wang Z, et al. The ability of different irrigation methods to remove mixtures of calcium hydroxide and barium sulphate from isthmuses in 3D printed transparent root canal models. *Odontology*. 2022;110 (1):27-34. doi:10.1007/s10266-021-00628-x
22. Ma J, Shen Y, Yang Y, et al. In vitro study of calcium hydroxide removal from mandibular molar root canals. *Journal of endodontics*. 2015;41 (4):553-558. doi:10.1016/j.joen.2014.11.023
23. Crozeta BM, de Souza LC, Silva-Sousa YTC, et al. Evaluation of passive ultrasonic irrigation and GentleWave system as adjuvants in endodontic retreatment. *Journal of Endodontics*. 2020;46 (9):1279-1285. doi:10.1016/j.joen.2020.06.001
24. Wohlgemuth P, Cuocolo D, Vandrangi P, et al. Effectiveness of the GentleWave system in removing separated instruments. *Journal of endodontics*. 2015;41 (11):1895-1898. doi:10.1016/j.joen.2015.08.015
25. Grigsby Jr D, Ordinola-Zapata R, McClanahan SB, et al. Postoperative pain after treatment using the GentleWave system: a randomized controlled trial. *Journal of endodontics*. 2020;46 (8):1017-1022. doi:10.1016/j.joen.2020.04.004
26. Zhong X, Shen Y, Ma J, et al. Quality of root filling after obturation with gutta-percha and 3 different sealers of minimally instrumented root canals of the maxillary first molar. *Journal of Endodontics*. 2019;45 (8):1030-1035. doi:10.1016/j.joen.2019.04.012
27. DiVito EE, Le KT. Maxillary molar healing after treatment of an uninstrumented canal with a novel root canal procedure: a case report. *Clinical Case Reports*. 2017;5 (10):1676-1681. doi:10.1002/ccr3.1165

