

Correspondence address  
Yazışma adresi

Şeyma Nur ÖGEL  
Özel Klinik  
İstanbul, Türkiye  
seymaogel@gmail.com

Received : 27 Mart 2024  
Geliş tarihi

Accepted : 04 Nisan 2024  
Kabul tarihi

Online published : 30 Nisan 2024  
E Yayın tarihi

Cite this article as  
Bu makalede yapılacak atıf

Ögel ŞN, Çelik D.  
Retreatment sonrası artık  
kök kanal dolgu materyalini  
incelemek için kullanılan  
görüntüleme yöntemleri

Akd Diş Hek 2024;3(1): 24-30

Şeyma Nur ÖGEL  
Özel Klinik  
İstanbul, Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-5041-5253

Davut ÇELİK  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti AD.  
Trabzon, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-1062-0241

# Retreatment Sonrası Artık Kök Kanal Dolgu Materyalini İncelemek İçin Kullanılan Görüntüleme Yöntemleri

## Imaging Methods Used to Examine Residual Root Canal Filling Material After Retreatment

### ÖZ

Kök kanal dolgu malzemesinin retreatment sonrası kalan kısmı, apikal enfeksiyondan sorumlu debris ve mikroorganizmalar üzerinde aletlerin ve irrigasyon solüsyonlarının etkisini engelleyerek retreatment başarısızlığını artırır. Kalan kök dolgu materyali miktarını *in vitro* olarak değerlendirmek için çeşitli yöntemler kullanılır. Kalan dolgu materyali alanı periapikal radyografi ile belirlenebilir. Kanal duvarları stereomikroskop, operasyon mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (TEM) ile değerlendirilebilir. Dentin tübülerindeki kanal patı konfokal lazer tarama mikroskobu (KLTM) ile tespit edilebilir. Kalan dolgu materyali hacmi mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) ve konik-ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) ile ölçülebilir. Farklı yöntemler farklı değerlendirmeler sunar. İki boyutlu değerlendirme yöntemleri ve değerlendirilmesi için seçilen kök kanalı bölümleri dikkatle yorumlanmalıdır. Kesin sonuçlar veren bir yöntem yoktur. İdeal olarak mikro-BT, KIBT'ye kıyasla daha iyi çözünürlüğe sahiptir ve hacim tahmini ile ilgili daha doğru sonuçlar gösterir. Fakat erişilebilirlik ve klinik fizibilite avantajları nedeniyle KIBT kullanımı öne çıkabilmektedir.

### Anahtar Sözcükler:

Retreatment, Artık kanal dolgusu, Görüntüleme yöntemleri, KIBT

### ABSTRACT

The remaining portion of root canal filling material after retreatment increases retreatment failure by hindering the effect of instruments and irrigation solutions on debris and microorganisms responsible for apical infection. Various methods are used to evaluate the amount of remaining root canal filling material *in vitro*. The area of remaining filling material can be determined with periapical radiography. Canal walls can be evaluated with a stereomicroscope, operating microscope, and scanning electron microscope (SEM). Canal patency in dentinal tubules can be detected with Confocal laser scanning microscope (CLSM). The volume of remaining filling material can be measured with micro-computed tomography (micro-CT) and cone beam computed tomography (CBCT). Different methods provide different evaluations. Two-dimensional evaluation methods and the selected root canal sections for evaluation should be interpreted with caution. No method provides definitive results. Ideally, micro-CT has a better resolution compared to CBCT and shows more accurate results regarding volume estimation, but CBCT may be preferred due to its advantages in accessibility and clinical feasibility.

### Key Words:

Retreatment, Residual root fillings, Imaging methods, CBCT

## GİRİŞ

Artık kök kanal dolgu materyallerinin varlığı, eğerlerin ve irrigasyon solüsyonlarının apikal enfeksiyondan sorumlu debris ve mikroorganizmalar üzerinde etkili olmasını engelleyebilir. Bu durum, retreatment başarısızlığı ile ilişkili bir prognostik faktör olarak tanımlanmıştır (1,2). Kalan kök dolgu materyali miktarını *in vitro* olarak değerlendirmek için çeşitli yöntemler kullanılmıştır.

Kalan dolgu materyali alanını belirlemek için periapikal radyografiden yararlanılabilir (3). Kanal duvarlarını değerlendirmek amacı ile stereomikroskop, operasyon mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (TEM) görüntüleme yöntemleri kullanılabilir. Konfokal lazer tarama mikroskobu (KLTM) dentin tübüllerindeki kanal patını tespit etme olanağı sağlar (4). Kalan dolgu materyali hacmini belirlemek amacıyla ise mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) ve konik-ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) kullanılabilir. Hangi yöntemin dolgu malzemesini tamamen uzaklaştırdığını en doğru şekilde gösteren görüntüleme yöntemi konusunda halen bir fikir birliği yoktur (5). İki boyutlu değerlendirmelere dayanan ve kanalın sadece seçilen bölümlerini değerlendiren çalışmalar dikkatle yorumlanmalıdır. Çünkü sonuçlar farklı gözlemciler arasında değişiklik gösterebilir (6,7). Hiçbir yöntem, artık kanal dolgu materyali miktarını belirlemek için kesin sonuçlar vermez. Açık ki kalan kök kanal dolgu materyalini tespit etmek için daha ikna edici yöntemler gereklidir (5).

### Periapikal Radyografi

Radyografi, kök kanallarındaki artık kanal dolgu materyalini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (8). Bununla birlikte, radyografik değerlendirme, üç boyutlu (3B) bir yapının iki boyutlu (2B) temsiline belirtir. Bu sebeple radyografik incelemenin, retreatment prosedürlerinden sonra artık malzeme varlığını tespit etmede sınırlı uygulaması vardır (9).

Çevre yapılardan gelen anatomik gürültü, süperpozisyon ve projeksiyon geometrisi sorunları da periapikal radyografi ile artık dolgu materyallerinin değerlendirilmesini zorlaştırabilir (10). Çalışmalarda kök kanalında radyografi ile tespit edilemeyen kanal dolgu materyali artıkları TEM altında tespit edilmiştir (9,11,12).

Klinik uygulamada, operasyon mikroskobu retreatment prosedürlerini takiben kanalların temizliğini değerlendirmek için çok yardımcı olmasına rağmen, diş hekimi çoğunlukla radyografik analize başvurur (9).

### Stereomikroskop

Stereomikroskoplar 3B görüntü elde etmeyi sağlayan bir mikroskop türüdür. Stereomikroskop ile görüntüleme kök kanal duvarlarının değerlendirilmesi için basit ve etkili bir yöntem olarak kabul edilir (13). Artık dolgu materyalinin net bir görüntüsünü elde etmek için x16 büyütme altında stereomikroskop ile görüntüleme yöntemi kullanılabilir (14). Bu yöntemde köklere kanal duvarına yakın olacak ancak kanal duvarını kesmeyecek şekilde elmas separe ile

bukkolingual yönde uzunlamasına oluk açılır. Bir keski ve çekiç kullanılarak kök ikiye bölünür (8). Daha sonra örnekler stereomikroskop altında görüntülenir ve fotoğrafları çekilerek skorlanır (15,16). Bölme işlemi invaziv bir yöntemdir (17). Bölme sırasında oluşabilecek dolgu materyalinin yer değiştirmesi veya kaybı skorlamanın doğruluğunu etkileyebilir (18).

Stereoskopik mikroskop ve TEM'in birlikte kullanılması, kanal dolgu materyali artıklarının detaylı incelenmesinde oldukça etkilidir. Bu yöntemler, radyografik tekniklere kıyasla daha doğru ve güvenilir sonuçlar vermektedir (19).

### Operasyon Mikroskobu

Dental operasyon mikroskobu, gelişmiş görünürlük ve aydınlatma nedeniyle *in vivo* rutin endodontik prosedürler için giderek daha fazla kullanılmaktadır (20). Geleneksel endodonti için operasyon mikroskobu kullanmanın bildirilen avantajlarından biri, kök kanal anatomisinin daha iyi görüntülenmesi ile operatörün kök kanal sistemini daha detaylı incelemesine, daha verimli bir şekilde temizlemesine ve şekillendirmesine olanak sağlamasıdır (21). Operasyon mikroskobu; kanal dolgu materyalinin tespiti için *in vitro* çalışmalarda da kullanılmıştır (23,24). Bu çalışmalarda örnekler retreatment yapıldıktan sonra uzun eksenleri boyunca bölünür ve x5 büyütme bir operasyon mikroskobu kullanılarak fotoğrafları çekilir. Kalan dolgu materyali miktarı çeşitli yazılımlar ile değerlendirilir (25). Retreatment sonrası kalan küçük dolgu malzemesi artıklarının mikroskop kullanılarak tespit edilebileceği tartışmalıdır (22).

### Taramalı Elektron Mikroskobu

TEM, açık veya kapalı dentin tübüllerinin son derece kapsamlı gözlemine izin veren bir yöntemdir (26). Horvath ve ark. (12) yaptıkları bir çalışmada, dentin tübüllerindeki debris TEM analizi ile fotografik analize göre daha yüksek oranda tespit edilmiştir. TEM çalışmalarının, dentin tübüllerinin dolgu malzemelerinin varlığı açısından incelenmesine izin verdiği de kanıtlanmıştır (27).

Mikro-BT, ortaya çıkan smear tabakasını ve dentin tübüllerinde tutulan debris analize edemediğinden TEM bu parametreleri değerlendirmek için kullanılabilir (28,29).

Son zamanlarda artık dolgu materyalinin değerlendirilmesinde çevresel TEM'de kullanılmıştır (30). Çevresel TEM tahribatsız bir yöntemdir çünkü geleneksel TEM ile görüntülemenin aksine örnekleri metalle kaplama işlemi gerekli olmadığından örneklerin yeniden kullanılmasına ve değerlendirilmesine izin verir (31,32). Ek olarak operasyon öncesi ve sonrası görüntü alınabildiği için gruplar arasında dolgu materyali miktarını karşılaştırmak için herhangi bir kontrol grubuna ihtiyaç duyulmayabilir (30).

### **Konfokal Lazer Tarama Mikroskobu**

KLTM, dentin tübüllerinde bulunan kanal patlarını net bir şekilde tespit etme olanağı sağlayan ve az sayıda artefakt ile uygun bir analize izin veren bir görüntüleme aracıdır (4). Bu görüntüleme yöntemi farklı çalışmalarda retreatment tekniklerini analiz etmek için kullanılmıştır (33,34).

Retreatmentta kullanılan kanal patı ile ilk tedavide kullanılan kanal patını ayırt etmek için, primer endodontik tedavi sırasında rodamin (kırmızı) ve retreatmentta floresan (yeşil) boya kullanılması gereklidir (34). Bu tür floresan boyalar, KLTM tarafından dentin tübüllerinde kanal patı dağılımını göstermek için yüksek kontrastlı noktaların oluşumuna izin verir (35,36). Kırmızı boya, dentin tübülleri içindeki artık kanal patı yüzdesinin ölçülmesine olanak tanırken; yeşil boya, yeni kanal patının dentin tübüllerinin içine nüfuz ettiği alanları gösterir (37).

KLTM, TEM ile karşılaştırıldığında, örneklerin daha basit hazırlanması, artefaktlara neden olabilecek numune hazırlama tekniklerini gerektirmemesi (38) ve tek bir örnek kullanılarak primer tedavi ve retreatment analizi yapılabilmesi gibi belirli avantajlar sunar (34). Ek olarak, KLTM ile elde edilen görüntüler, TEM analizinde yaygın olarak kullanılan puanlarla değerlendirilmenin aksine, niceliksel bir analiz kullanılarak değerlendirme yapılmasına izin verir (39).

### **Mikro-Bilgisayarlı Tomografi**

Mikro-BT ile görüntüleme, hatasız 3B modellerin geliştirilmesine ve nicel verilerin elde edilmesine olanak tanıyan yüksek çözünürlüklü bir araştırma teknolojisidir (40). İnvaziv olmayan bu teknik, kök kanalında bulunan dolgu materyali miktarını (41,42), başlangıç şekillendirmesi sırasında uzaklaştırılan dentin hacmini (17,43) ve retreat-

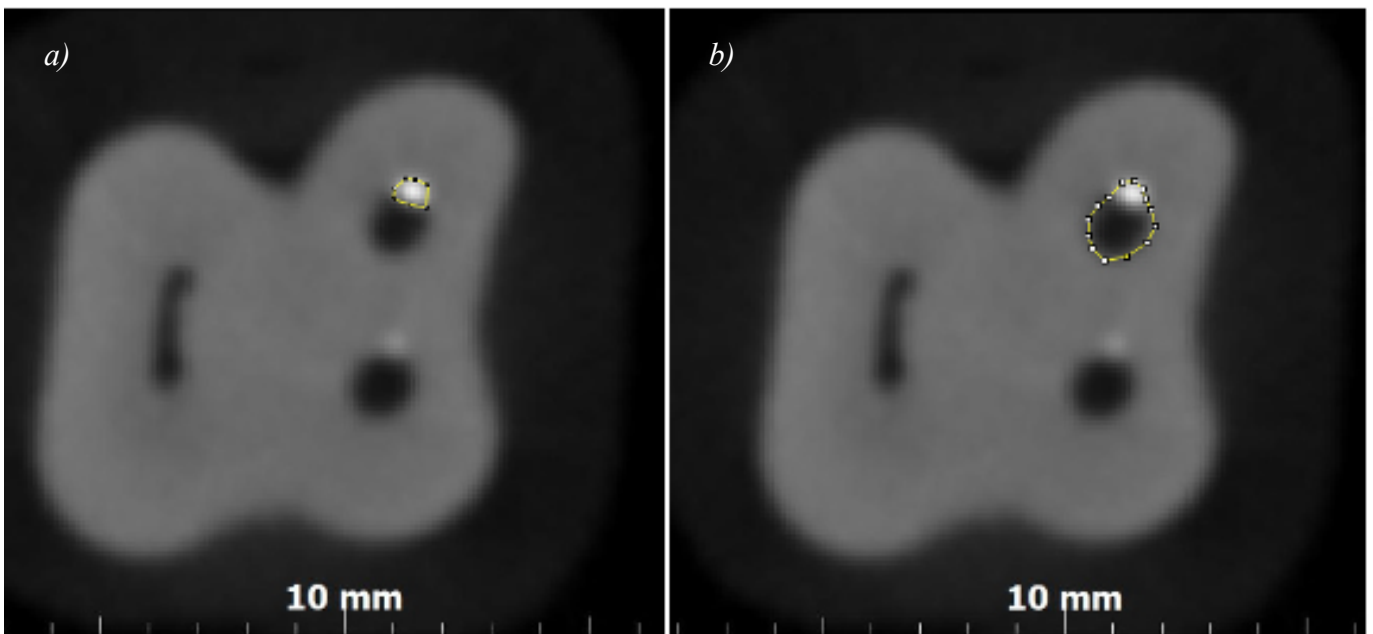
menttan sonra geriye kalan dolgu materyalini değerlendirmek için başarıyla kullanılmıştır (44,45). Hacimsel ölçümler için altın standart olarak kabul edilir (10).

Mikro-BT görüntülemeye örnekler korunarak yeniden kullanılabilmesi için bu yöntem deneyin farklı aşamalarında örneklerin analizine izin verir (46). Örneklerin ardışık analizi dişlerin bölündüğü tekniklerde yapılamaz ve aynı görüntü kalitesi yaygın olarak kullanılan diğer görüntüleme teknolojileri ile elde edilemez (40,47). Bu tekniğin bazı sınırlamaları, yeterli eğitim ve donanım/yazılım yeteneklerine bağımlılık gibi metodolojik konularla ilgilidir (48). Teknik olarak insan organizmasıyla uyumsuz olan yüksek radyasyon dozu gerektirmesine (10) karşın deneysel endodontik değerlendirmede sıklıkla kullanılır (49).

### **Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi**

Son yıllarda Endodonti alanında KIBT kullanımı yaygınlaşmış ve apikal periodontitis tanısında, kök kanal sisteminin değerlendirilmesinde, rezorptif lezyonlarda ve tedavi planlamasında rutin radyografik tekniklere göre daha iyi etkinlik göstermiştir (50,51). KIBT ile ilgili radyasyon endişeleri sistemin bir sınırlamasıdır ve endikasyon konulurken KIBT'nin potansiyel faydaları zararlarından daha ağır basmalıdır (10).

Diş hekimliğinde KIBT, retreatment prosedürlerinin kalitatif ve kantitatif değerlendirmesi için uygun bir alternatif olabilir (51). Kalan dolgu malzemesinin hacim ölçümünün yüzey alanı ölçümüne göre daha doğru olduğu göz önüne alındığında, KIBT retreatmentın değerlendirilmesi için tercih edilen bir yöntemdir (47). Bu yöntem basittir, kanal duvarlarındaki küçük artık dolgu materyali hacmini belirleyecek kadar hassastır (17) ve non-invazivdir (52) (Şekil 1).



Şekil 1. KIBT ile görüntüleme yöntemi. Image J programı kullanılarak (a) artık kanal dolgu alanının ve (b) kanal hacminin işaretlenmesi

Tekrarlanabilir veriler sunar ve retreatment prosedürlerinden önce ve sonra kök kanallarının içindeki dolgu materyali miktarını karşılaştırarak endodontik retreatmentin 3B değerlendirilmesine izin verir (53).

KIBT birimleri, birden çok inceleme alanı (FOV) ve voksel sunar. Voksel, 3B bir görüntünün en küçük ayırt edilebilir küp şekilli parçasını tanımlar. KIBT görüntüleme, vokseller genellikle izotropiktir ve 0.4 mm'den 0.075 mm'ye kadar değişir (54). Voksel boyutu, KIBT görüntülerinin görüntü kalitesi, tarama ve yeniden yapılandırma süreleri açısından büyük önem taşımaktadır (10). Endodontik amaçlar için 0.1 mm ile 0.2 mm arasındaki voksel boyutları optimal olarak kabul edilmiştir (55).

KIBT görüntülemenin önemli bir sınırlaması, metal ve amalgam restorasyonlarla birlikte daha az ölçüde kök kanal dolgu materyali ve implantların neden olduğu metalik artefaktların varlığıdır (56,57). Ancak, artefaktlar, uygun cihaz ayarları ve KIBT parametreleri ile göz ardı edilebilir (47). Daha küçük voksel boyutları ve FOV taramaları, artefaktların varlığını en aza indirmek için tercih edilir (58). Ayrıca, daha küçük FOV taramaları, azalan radyasyon dozu ve tarama süresi nedeniyle endodontik uygulamalarda önerilmektedir (59,60).

KIBT artefaktları materyallerin etrafındaki saçılmaların dışında görüntünün genel kalitesini etkileyen koyu alanları içerir ve bu alanlar elde edilen görüntü ile taranan nesne arasında tutarsızlıklara neden olabilir (10). KIBT üreticileri görüntü rekonstrüksiyonu sırasında kullanılacak artefakt azaltıcı algoritmaları aktif olarak geliştirmektedir (56,57).

## SONUÇ

Son zamanlarda, retreatment sonrası artık dolgu materyali miktarının belirlenmesi amacı ile mikro-BT analizi kullanılmaktadır (44,61). İdeal olarak mikro-BT, KIBT'ye kıyasla daha iyi çözünürlüğe sahiptir ve hacim tahmini ile ilgili daha doğru sonuçlar gösterir. Mikro-BT ve KIBT arasında yüksek korelasyon olduğu görülmektedir. Bu korelasyon, KIBT'ın artık kök kanal dolgu materyalinin hacimsel ölçümünde kullanılmak üzere güçlü bir potansiyele sahip olduğunu ve retreatment prosedürleri için faydalı olabileceğini göstermektedir. Ayrıca, KIBT'ye mikro-BT'den daha fazla araştırmacı kolaylıkla erişebilir. Klinik fizibilite düşünüldüğünde, KIBT'nin mikro-BT ile karşılaştırıldığında daha uygun olduğu açıktır (62,63).

### Yazarların Katkıları:

Fikir/Kavram: D.Ç.; Tasarım: D.Ç.; Veri Toplama ve Değerlendirme: Ş.N.Ö; Kaynak taraması: Ş.N.Ö; Makale yazımı: D.Ç., Ş.N.Ö.; Eleştirel değerlendirme: D.Ç.

### Çıkar Çatışması:

Yazarların beyan edecek çıkar çatışması yoktur.

### Finansman veya Mali Destek:

Bu çalışma için herhangi bir maddi destek alınmamıştır.

### Etik Kurul Onayı:

Bu çalışma için gerekmemektedir.

1. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment. Part 1: periapical health. *Int Endod J.* 2011;44:583-609.
2. Rödiger T, Kupis J, Konietzschke F, Dullin C, Drebenstedt S, Hülsmann M. Comparison of hand and rotary instrumentation for removing gutta-percha from previously treated curved root canals: a microcomputed tomography study. *Int Endod J.* 2014;47:173-82.
3. Naenni N, Thoma K, Zehnder M. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod.* 2004;30:785-7.
4. Bitter K, Paris S, Pfuertner C, Neumann K, Kielbassa AM. Morphological and bond strength evaluation of different resin cements to root dentin. *Eur J Oral Sci.* 2009;117:326-33.
5. Chauhan R, Tikku A, Chandra A. Detection of residual obturation material after root canal retreatment with three different techniques using a dental operating microscope and a stereomicroscope: an in vitro comparative evaluation. *J Conserv Dent.* 2012;15:218-22.
6. Khalilak Z, Vatanpour M, Dadresanfar B, Moshkelgosha P, Nourbakhsh H. In vitro comparison of gutta-percha removal with H-file and ProTaper with or without chloroform. *Iran Endod J.* 2013;8:6-9.
7. Zaslansky P, Fratzl P, Rack A, Wu MK, Wesselink PR, Shemesh H. Identification of root filling interfaces by microscopy and tomography methods. *Int Endod J.* 2011;44:395-401.
8. Das S, De Ida A, Das S, Nair V, Saha N, Chattopadhyay S. Comparative evaluation of three different rotary instrumentation systems for removal of gutta-percha from root canal during endodontic retreatment: an in vitro study. *J Conserv Dent.* 2017;20:311-6.
9. Cunha RS, De Martin AS, Barros PP, da Silva FM, de Castilho Jacinto R, da Silveira Bueno CE. In vitro evaluation of the cleansing working time and analysis of the amount of gutta-percha or resilon remnants in the root canal walls after instrumentation for endodontic retreatment. *J Endod.* 2007;33:1426-8.
10. Yılmaz F, Sönmez G, Kamburoğlu K, Koç C, Ocak MS. Accuracy of root canal filling material: effect of voxel size. *Niger J Clin Pract.* 2019;22:1091-8.
11. Dadresanfar B, Iranmanesh M, Mohebbi P, Mehrvarzfar P, Vatanpour M. Efficacy of two rotary NiTi instruments in removal of resilon/epiphany obturants. *Iran Endod J.* 2012;7:183-8.
12. Horvath SD, Altenburger MJ, Naumann M, Wolkewitz M, Schirrmeister JF. Cleanliness of dentinal tubules following gutta-percha removal with and without solvents: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 2009;42:1032-8.
13. Sadat Shojae N, Vakilinezhad E, Shokouhi MM. In vitro comparison of efficacy of neolix and protaper universal retreatment rotary systems in removal of gutta-percha combined with two different sealers. *J Dent (Shiraz).* 2019;20: 285-91.
14. Schirrmeister JF, Wrbas KT, Meyer KM, Altenburger MJ, Hellwig E. Efficacy of different rotary instruments for gutta-percha removal in root canal retreatment. *J Endod.* 2006;32:469-72.
15. Sae-Lim V, Indulekha D, Lim BK, Lee HL. Effectiveness of ProFile .04 taper rotary instruments in endodontic retreatment. *J Endod.* 2000;26:100-4.
16. Kosti E, Lambrianidis T, Economides N, Neofitou C. Ex vivo study of the efficacy of H-files and rotary Ni-Ti instruments to remove gutta-percha and four types of sealer. *Int Endod J.* 2006;39:48-54.
17. Khedmat S, Azari A, Shamshiri AR, Fadae M, Bashizadeh Fakhar H. Efficacy of protaper and Mtwo retreatment files in removal of gutta-percha and guttaflow from root canals. *Iran Endod J.* 2016;11:184-7.
18. Uzunoglu E, Yilmaz Z, Sungur DD, Altundasar E. Retreatability of root canals obturated using gutta-percha with bioceramic, MTA and resin-based sealers. *Iran Endod J.* 2015;10:93-8.
19. De Carvalho Maciel AC, Zaccaro Scelza MF. Efficacy of automated versus hand instrumentation during root canal retreatment: an ex vivo study. *Int Endod J.* 2006;39:779-84.
20. Carr GB, Murgel CAF. The use of the operating microscope in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010;54:191-214.
21. Saunders WP, Saunders EM. Conventional endodontics and the operating microscope. *Dent Clin North Am.* 1997;41:415-28.
22. Schirrmeister JF, Hermanns P, Meyer KM, Goetz F, Hellwig E. Detectability of residual Epiphany and gutta-percha after root canal retreatment using a dental operating microscope and radiographs: an ex vivo study. *Int Endod J.* 2006;39:558-65.

23. Schirrmeister JF, Meyer KM, Hermanns P, Altenburger MJ, Wrbas KT. Effectiveness of hand and rotary instrumentation for removing a new synthetic polymer-based root canal obturation material (Epiphany) during retreatment. *Int Endod J.* 2006;39:150-6.
24. de Mello JE, Cunha RS, da Silveira Bueno CE, Zuolo ML. Retreatment efficacy of gutta-percha removal using a clinical microscope and ultrasonic instruments: Part I - an ex vivo study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108:E59-62.
25. Colombo AP, Fontana CE, Godoy A, De Martin AS, Kato AS, Rocha DG, Pelegrine RA, Bueno CE. Effectiveness of the waveone and ProTaper D systems for removing gutta-percha with or without a solvent. *Acta Odontol Latinoam.* 2016;29:262-7.
26. Xu LL, Zhang L, Zhou XD, Wang R, Deng YH, Huang DM. Residual filling material in dentinal tubules after gutta-percha removal observed with scanning electron microscopy. *J Endod.* 2012;38:293-6.
27. Ezzie E, Fleury A, Solomon E, Spears R, He J. Efficacy of retreatment techniques for a resin-based root canal obturation material. *J Endod.* 2006;32:341-4.
28. Hülsmann M, Bluhm V. Efficacy, cleaning ability and safety of different rotary NiTi instruments in root canal retreatment. *Int Endod J.* 2004;37:468-76.
29. Somma F, Cammarota G, Plotino G, Grande NM, Pameijer CH. The effectiveness of manual and mechanical instrumentation for the retreatment of three different root canal filling materials. *J Endod.* 2008;34:466-9.
30. Rodrigues CT, Duarte MAH, Guimarães BM, Vivan RR, Bernardineli N. Comparison of two methods of irrigant agitation in the removal of residual filling material in retreatment. *Braz Oral Res.* 2017;31:E113.
31. Kato AS, Cunha RS, Da Silveira Bueno CE, Pelegrine RA, Fontana CE, De Martin AS. Investigation of the efficacy of passive ultrasonic irrigation versus irrigation with reciprocating activation: an environmental scanning electron microscopic study. *J Endod.* 2016;42:659-63.
32. Simezo AP, da Silveira Bueno CE, Cunha RS, Pelegrine RA, Rocha DGP, de Martin AS, Kato AS. Comparative analysis of dentinal erosion after passive ultrasonic irrigation versus irrigation with reciprocating activation: an environmental scanning electron study. *J Endod.* 2017;43:141-6.
33. Rached-Júnior FA, Sousa-Neto MD, Bruniera JFB, Duarte MAH, Silva-Sousa YTC. Confocal microscopy assessment of filling material remaining on root canal walls after retreatment. *Int Endod J.* 2014;47:264-70.
34. Kok D, Da Rosa RA, Barreto MS, Busanello FH, Santini MF, Pereira JR, SÓ MVR. Penetrability of AH Plus and MTA fillapex after endodontic treatment and retreatment: a confocal laser scanning microscopy study. *Microsc Res Tech.* 2014;77:467-71.
35. Gharib SR, Tordik PA, Imamura GM, Baginski TA, Goodell GG. A confocal laser scanning microscope investigation of the epiphany obturation system. *J Endod.* 2007;33:957-61.
36. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Graeff MSZ, del Carpio Perochena A, Vivan RR, Camargo EJ, Garcia RB, Bernardineli N, Gutmann JL, de Moraes IG. Depth and percentage of penetration of endodontic sealers into dentinal tubules after root canal obturation using a lateral compaction technique: a confocal laser scanning microscopy study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108:450-7.
37. Canali LCF, Duque JA, Vivan RR, Bramante CM, SÓ MVR, Duarte MAH. Comparison of efficiency of the retreatment procedure between Wave One Gold and Wave One systems by Mikro-BT and confocal microscopy: an in vitro study. *Clin Oral Invest.* 2019;23:337-43.
38. Van Meerbeek B, Vargas M, Inoue S, Yoshida Y, Perdigão J, Lambrechts P, Vanherle G. Microscopy investigations; techniques, results, limitations. *Am J Dent.* 2000;13:3-18.
39. Castro RF de, Melo J do SS, Dias LC de L, Silva EJNL, Brandão JM da S. Evaluation of the efficacy of filling material removal and re-filling after different retreatment procedures. *Braz Oral Res.* 2018;32:E94.
40. Versiani MA, Ordinola-Zapata R, Keleş A, Alcin H, Bramante CM, Pécora JD, Sousa-Neto MD. Middle mesial canals in mandibular first molars: a micro-CT study in different populations. *Arch Oral Biol.* 2016;61:130-7.
41. Keleş A, Alcin H, Kamalak A, Versiani MA. Micro-CT evaluation of root filling quality in oval-shaped canals. *Int Endod J.* 2014;47:1177-84.
42. Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J.* 2005;38:617-26.

43. Hülsmann M, Drebenstedt S, Holscher C. Shaping and filling root canals during root canal re-treatment. *Endod Topics*. 2008;19:74-124.
44. Rödiger T, Reicherts P, Konietschke F, Dullin C, Hahn W, Hülsmann M. Efficacy of reciprocating and rotary NiTi instruments for retreatment of curved root canals assessed by micro-CT. *Int Endod J*. 2014;47:942-8.
45. Keleş A, Arslan H, Kamalak A, Akçay M, Sousa-Neto MD, Versiani MA. Removal of filling materials from oval-shaped canals using laser irradiation: a micro-computed tomographic study. *J Endod*. 2015;41:219-24.
46. Martins MP, Duarte MAH, Cavenago BC, Kato AS, da Silveira Bueno CE (2017). Effectiveness of the ProTaper Next and reciproc systems in removing root canal filling material with sonic or ultrasonic irrigation: a micro-computed tomographic study. *J Endod*. 2017;43:467-71.
47. Akbulut MB, Akman M, Terlemez A, Magat G, Sener S, Shetty H. Efficacy of twisted file adaptive, reciproc and protaper universal retreatment instruments for root-canal-filling removal: a cone-beam computed tomography study. *Dent Mater J*. 2016;35:126-31.
48. Alberto Rubino G, de Miranda Candeiro GT, Gonzales Freire L, Faga Iglecias E, de Melo Lemos É, Luiz Caldeira C, Gavini G. Micro-CT evaluation of gutta-percha removal by two retreatment systems. *Iran Endod J*. 2018;13:221-7.
49. Rossi-Fedele G, Ahmed HMA. Assessment of root canal filling removal effectiveness using micro-computed tomography: a systematic review. *J Endod*. 2017;43:520-6.
50. Kim S. Endodontic application of cone-beam computed tomography in South Korea. *J Endod*. 2012;38:872-80.
51. Yadav P, Bharath MJ, Sahadev CK, Praveen Kumar MR, Rao Y, Ali A, Mohamed S. An in vitro CT comparison of gutta-percha removal with two rotary systems and hedstrom files. *Iran Endod J*. 2013;8:59-64.
52. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using microcomputed tomography. *Int Endod J*. 2001;34:390-8.
53. Dall'Agnol C, Hartmann MSM, Barletta FB. Computed tomography assessment of the efficiency of different techniques for removal of root canal filling material. *Braz Dent J* 2008;19:306-12.
54. Bornstein MM, Horner K, Jacobs R. Use of cone beam computed tomography in implant dentistry: current concepts, indications and limitations for clinical practice and research. *Periodontol* 2000. 2017;73:51-72.
55. Yılmaz F, Koç C, Kamburoğlu K, Ocak M, Geneci F, Uzuner MB, Çelik HH. Evaluation of 3 different retreatment techniques in maxillary molar teeth by using micro-computed tomography. *J Endod*. 2018;44:480-4.
56. Kamburoğlu K, Kolsuz E, Murat S, Eren H, Yüksel S, Paksoy CS. Assessment of buccal marginal alveolar peri-implant and periodontal defects using a cone beam CT system with and without the application of metal artefact reduction mode. *Dentomaxillofac Radiol*. 2013;42:20130176.
57. Schulze R, Heil U, Groß D, Bruellmann DD, Dranischnikow E, Schwanecke U, Schoemer E. Artefacts in CBCT: a review. *Dentomaxillofac Radiol*. 2011;40:265-73.
58. Brito-Júnior M, Santos LAN, Faria-e-Silva AL, Pereira RD, Sousa-Neto MD. Ex vivo evaluation of artifacts mimicking fracture lines on cone-beam computed tomography produced by different root canal sealers. *Int Endod J*. 2014;47:26-31.
59. Patel S, Dawood A, Whaites E, Pitt Ford T. New dimensions in endodontic imaging: Part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J*. 2009;42:447-62.
60. American Dental Association Council on Scientific Affairs. The use of cone-beam computed tomography in dentistry: an advisory statement from the American Dental Association Council on Scientific Affairs. *J Am Dent Assoc*. 2014;143:899-902.
61. Cavenago BC, Ordinola-Zapata R, Duarte MAH, del Carpio-Perochena AE, Villas-Bôas MH, Marciano MA, Bramante CM, Moraes IG. Efficacy of xylene and passive ultrasonic irrigation on remaining root filling material during retreatment of anatomically complex teeth. *Int Endod J*. 2014;47:1078-83.
62. Pawar A, Thakur B, Metzger Z, Kfir A, Pawar M. The efficacy of the Self-Adjusting File versus WaveOne in removal of root filling residue that remains in oval canals after the use of ProTaper retreatment files: a cone-beam computed tomography study. *J Conserv Dent*. 2016;19:72-6.
63. Neelakantan P, Grotra D, Sharma S. Retreatability of 2 mineral trioxide aggregate-based root canal sealers: a cone-beam computed tomography analysis. *J Endod*. 2013;39:893-6.