

Farklı Nikel Titanyum Döner Eğe Sistemleri ile Şekillendirme Sonrası Görülen Dentin Defekti İnsidansı

Incidence of Dentinal Defects after Preparation with Different Nickel Titanium Rotary File Systems

Taha ÖZYÜREK,^a
Ebru ÖZSEZER DEMİRÜREK^a

^aEndodonti AD,
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi, Samsun

Geliş Tarihi/Received: 25.10.2016
Kabul Tarihi/Accepted: 07.02.2017

Yazışma Adresi/Correspondence:
Taha ÖZYÜREK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi,
Endodonti AD, Samsun
TÜRKİYE/TURKEY
tahaozyurek@hotmail.com

ÖZET Amaç: Revo-S, ProTaper Next ve Twisted File Adaptif NiTi eğelerinin mandibuler keser dişlerin kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında dentin defekti oluşturma sıklıklarının karşılaştırılmasıdır. **Gereç ve Yöntemler:** Yüz yirmi adet kök ucu gelişimi tamamlanmış, düz köklü mandibuler keser diş çalışmaya dâhil edildi. Otuz diş herhangi bir işlem yapılmadan negatif kontrol grubu olarak ayrıldı. Doksan diş her bir grupta 30 adet olacak şekilde üç gruba ayrıldı; ProTaper Next (PTN), Revo-S ve TF Adaptif (TFA) kullanılarak kök kanalları prepare edildi. Örneklerden su soğutması altında, dişin uzun aksına dik olacak şekilde apekten 3, 6 ve 9 mm uzaklıkta üç adet kesit elde edildi. Elde edilen kesitler stereomikroskop altında x25 büyütme ile dentin defekti varlığı yönünden incelendi. Elde edilen veriler ki-kare testi kullanılarak istatistiksel olarak analiz edildi ($p<0,05$). **Bulgular:** Test edilen bütün NiTi eğe sistemlerinin kontrol grubuna göre istatistiksel olarak daha fazla dentin defekti oluşturduğu saptanmıştır ($p<0,05$). TFA sisteminin PTN ve Revo-S grubuna göre istatistiksel olarak daha az dentin defekti oluşturduğu bulunmuştur ($p<0,05$). Farklı seviyelerden alınan kesitler ile dentin defekti miktarı arasında bir korelasyon saptanmamıştır ($p>0,05$). **Sonuç:** Çalışmamızda test edilen bütün NiTi eğelerin kök kanal dentininde defekte neden olduğu bulunmuştur. TFA sisteminin PTN ve Revo-S grubuna göre istatistiksel olarak daha az dentin defekti oluşturduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Endodonti; titanyum nikelid

ABSTRACT Objective: To compare the incidence of dentinal defect after root canal preparation using the Revo-S, ProTaper Next and Twisted File Adaptive NiTi files in mandibular incisor teeth. **Material and Methods:** 120 mandibular incisor teeth with mature apices and straight canals were included to the present study. 30 teeth were left unprepared (negative control group) and the remaining 90 teeth were assigned to the three root canal shaping groups ($n=30$): ProTaper Next (PTN), Revo-S and TF Adaptive (TFA). All the roots were sectioned perpendicular to the long axis at 3, 6 and 9 mm from the apex with a low-speed saw under water-cooling. The slices were then viewed through a stereomicroscope at 25x magnification. The presence of dentinal cracks was determined by photographing all samples using a digital camera. The obtained data were statistically analyzed by chi-square test ($p<0.05$). **Results:** There were statistically difference between experimental groups and the control group according to the dentinal defect incidence ($p<0.05$). TFA group showed statistically less dentinal defect than the PTN and Revo-S groups ($p<0.05$). There were no correlation between the defect incidence and the level of the dentin slice ($p>0.05$). **Conclusion:** According to the results of the present study, all the tested NiTi files created dentinal defects. TFA group showed statistically less dentinal defect than the PTN and Revo-S groups.

Keywords: Endodontics; titanium nickelide

Kök kanalının biyomekanik olarak temizleme ve şekillendirme işlemi başarılı bir kök kanal tedavisinin en önemli aşamalarındandır.¹ Günümüzde kök kanalının temizlenmesi ve şekillendirilmesi amacıyla

kullanılan nikel titanyum (NiTi) döner ege sistemleri; işlem süresini azaltması, standart bir preparasyon sağlaması ve eğri kök kanallarını el eğelerine göre daha güvenli bir şekilde şekillendirebilmesi gibi birçok avantaja sahiptir. Ancak yapılan çalışmalarda, NiTi döner ege sistemlerinin kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında dentin defektlerine neden olabileceği gösterilmiştir.^{2,3} Bunun yanı sıra dentin defektlerinin büyüyerek vertikal kök kırıkları gibi istenmeyen durumlara neden olabileceği de ifade edilmektedir.⁴

Kök kanallarının şekillendirilmesi için kullanılan farklı markalara ait NiTi döner ege sistemleri bulunmaktadır. Kim ve ark., NiTi döner eğelerin dizaynlarının vertikal kök kırığı oluşturma sıklığını etkileyebileceğini bildirmişlerdir.⁵ ProTaper Next (PTN; Dentsply Mallefer, Ballaigues, İsviçre) NiTi ege sistemi M-Wire alaşımdan yapılmış, dikdörtgen biçiminde kesite sahip ve asimetrik devamlı rotasyon hareketi ile çalışmaktadır. Üretici firmaya göre sahip olduğu ofset dizayn sayesinde ege kök kanallarına iki noktada temas etmekte ve ege ile kanal duvarları arasında oluşan stresi azaltmaktadır. Ayrıca, ofset dizayn sayesinde kanal preparasyonu sırasında oluşan debrisin daha rahat dışarı atılması için daha fazla alan oluşmaktadır.

Twisted File Adaptive (TFA; Axis/SybronEndo, Orange, CA, ABD) NiTi ege sistemi R-fazında üretilmekte ve sistemin kendine özgü endodontik motoru ile (Elements Motor; Axis/SybronEndo) birlikte adaptif hareket yaparak çalışmaktadır. Eğenin yaptığı adaptif hareket, eğenin kanal içerisinde maruz kaldığı stres miktarına göre değişmektedir. Ege kanal içerisinde herhangi bir strese veya minimal bir strese maruz kaldığı zaman Elements Motor 600° saat yönüne dönerek durmakta ve tekrar aynı hareketi yapmaya devam etmektedir. Eğenin kanal içerisinde üzerinde meydana gelen stres arttığı zaman, Elements Motor hareketi 370° saat yönüne ve 50° saat yönünün tersine kadar modifiye ederek hareketin şeklini resiprosasyon hareketine çevirmektedir.⁶

Revo-S (Micro Mega, Besancon, Fransa) konvansiyonel NiTi alaşımından üretilmiş, asimetrik kesit ve üç kesici kenara sahip bir NiTi döner ege sistemidir.⁷ Revo-S asimetrik kesit sayesinde kanal preparasyonu sırasında yılan hareketi (snake-like)

gibi bir hareket yapmaktadır.⁸ Üretici firma bu hareket ile kök kanal preparasyonu sırasında eğenin üzerinde ve dentinde meydana gelen stresin azaldığını iddia etmektedir.

Bu in vitro çalışmada, Revo-S, PTN ve TFA NiTi eğelerinin mandibuler keser dişlerin kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında dentin defekti oluşturma sıklıklarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın hipotezi ise Revo-S, PTN ve TFA NiTi eğelerinin dentin defekti oluşturma insidansları arasında fark olmayacağı yönündedir.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

ÖRNEKLERİN SEÇİMİ

Çalışmada kullanılmak üzere periodontal amaçlı çekilmiş 120 adet düz, tek kanala sahip mandibuler keser diş seçildi. Dişlerin çevresindeki yumuşak ve sert doku artıkları periodontal bir küret yardımıyla mekanik olarak uzaklaştırıldı. Dişlerin kronları kök boyu 14 mm olacak şekilde su soğutması altında mine-sement bileşiminden uzaklaştırıldı. Dişlerin mezio-distal ve bukko-lingual doğrultuda radyografileri alındı. Kanallarında kalsifikasyon saptanan, daha önceden kök kanal tedavisi görmüş, internal ve/veya eksternal rezorbsiyon gelişmiş, kırık ve/veya açık apeksli dişler çalışmaya dâhil edilmedi. Seçilen dişler deney aşamasına kadar 4°C distile suda saklandı.

Dişlerin kökleri önceki benzer çalışmalarda olduğu gibi alüminyum folyo ile kaplanıp, akrilik rezin (Imicryl, Konya, Türkiye) içerisine gömüldü.^{9,10} Akrilik sertleştikten sonra dişler rezin içerisinden çıkartıldı ve üzerindeki folyolar uzaklaştırıldı. Periodontal ligamentin taklidi için, rezin blokların içerisi akışkan kıvamlı silikon ölçü maddesi (Express XT Light Body Quick; 3M ESPE, Neuss, Almanya) ile dolduruldu ve örnekler tekrar rezin blokların içerisine yerleştirildi.

Dişlerin kanallarına #10 numaralı K-tipi ege (Dentsply Mallefer) ile girilerek apeksten görüne kadar ilerlendi. Çalışma boyu, bu boydan 1 mm çıkartılarak hesaplandı. Bütün örneklerde apikal #15 olacak şekilde "glide path" oluşturuldu. Preparasyon sırasında her bir örnek için toplam 15 ml %1 sodyum hipoklorit (NaOCl) kullanıldı. Her

bir kanal eğesi dört adet kanalın preparasyonu için kullanıldı. Bütün işlemler tek bir operatör tarafından gerçekleştirildi. Dişler her bir grupta 30 adet olacak şekilde rastgele 4 gruba ayrıldı ve aşağıdaki işlemler uygulandı.

Grup 1: Revo-S

Bu gruptaki örneklerin kök kanal preparasyonu Revo-S NiTi döner eğe sisteminin sırasıyla SC1 (25/,06), SC2 (25/,04), SU (25/,06), AS30 (30/,06) ve AS35 (35/,06) eğeleri ile üretici firma talimatlarına uygun olarak 300 rpm ve 0,8 Ncm tork değerlerinde, tork kontrollü endodontik motor (X-Smart; Dentsply Maillefer) kullanılarak tamamlandı.

Grup 2: ProTaper Next

Bu gruptaki örneklerin kök kanal preparasyonu PTN NiTi döner eğe sisteminin sırasıyla X1 (17/,04), X2 (25/,06) ve X3 (30/,07) eğeleri ile üretici firma talimatlarına uygun olarak 300 rpm ve 3 Ncm tork değerlerinde, tork kontrollü endodontik motor (X-Smart; Dentsply Maillefer) kullanılarak tamamlandı.

Grup 3: TF Adaptif

Bu gruptaki örneklerin kök kanal preparasyonu TFA NiTi döner eğe sisteminin sırasıyla SM1 (20/,04), SM2 (25/,06) ve SM3 (35/,04) eğeleri ile üretici firma talimatlarına uygun olarak Elements Motor (Axis/SybronEndo)'un "TF Adaptif" programı kullanılarak tamamlandı.

Grup 4: Negatif Kontrol

Bu gruptaki örneklere herhangi bir işlem yapılmayarak negatif kontrol grubu olarak ayrıldı.

Kök kanallarının preparasyonunu takiben son kanal irrigasyonunda sırasıyla, 2 mL %17 etilendiamin tetraasetik (EDTA) ile 2 mL %1 NaOCl solüsyonu ve 2 mL distile su kullanıldı.

DENTİN DEFEKTLERİNİN İNCELENMESİ

Yüz yirmi adet örneğin kökleri apekten itibaren 3, 6 ve 9 mm uzaklıkta diş aksına dik olacak şekilde su soğutması altında (Isomet; Buehler Ltd, Lake Bluff, IL, ABD) kesilerek, her bir örnekten üç adet kesit elde edildi. Elde edilen kesitlerin dijital görüntüleri stereomikroskoba (Olympus BX43,

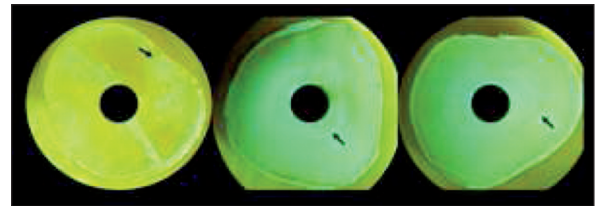
Olympus Co., Tokyo, Japonya) bağlanmış dijital fotoğraf makinesi ile x25 büyütme altında alındı. Her bir grupta 90 olmak üzere toplam da 360 adet dijital görüntü elde edildi ve bu görüntüler iki endodonti uzmanı tarafından değerlendirildi. Kesitlerin kanal duvarlarında veya dış yüzeylerinde herhangi bir çizgi bulunmadığı zaman "çatlak yok" olarak sınıflandırıldı. Kesitlerde görülen herhangi bir çizgi ise "çatlak" olarak değerlendirildi (Şekil 1).¹¹

İSTATİSTİKSEL ANALİZ

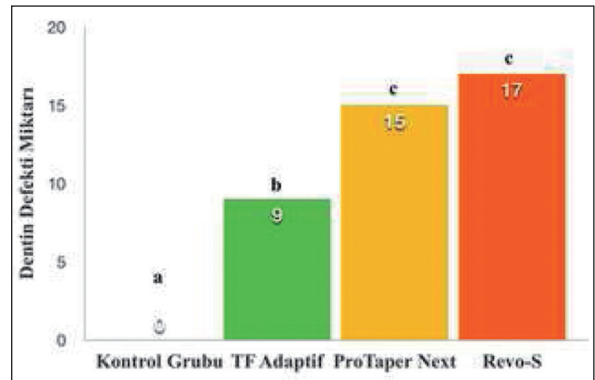
Dentin defekt insidansının gruplar arası istatistiksel değerlendirilmesinde ki-kare testi kullanıldı. İstatistiksel önem seviyesi %5 olarak ayarlandı. Ayrıca, kesitlere (3, 6, 9 mm) göre dentin defekt miktarının gruplara göre dağılımının belirlenmesi için Pearson korelasyon testi kullanıldı. Bütün istatistiksel analizler SPSS 21 (IBM-SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) programı kullanılarak yapıldı.

BULGULAR

Gruplara göre dentin defekti dağılımı Şekil 2'de, vertikal kırıkların dağılımı ise Şekil 3'te görülmek-



ŞEKİL 1: Kök kanal şekillendirmesi sonrasında kesitlerde görülen dentin çatlakları (siyah oklar).



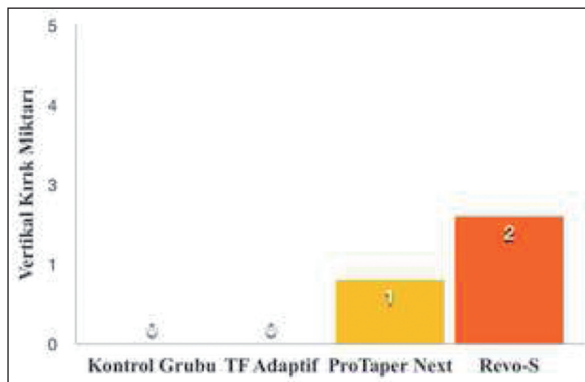
ŞEKİL 2: Gruplara göre dentin defekt miktarının dağılımı. Farklı harfler arasında istatistiksel fark vardır (p<0,05).

tedir. Test edilen bütün NiTi eğe sistemlerinin kontrol grubuna göre istatistiksel olarak daha fazla dentin defekti oluşturduğu saptanmıştır ($p<0,05$). TFA sisteminin PTN ve Revo-S grubuna göre istatistiksel olarak daha az dentin defekti oluşturduğu bulunmuştur ($p<0,05$). Farklı seviyelerden alınan kesitler (3, 6, 9 mm) ile dentin defekti miktarı arasında bir korelasyon saptanmamıştır ($p>0,05$).

TARTIŞMA

Kök kanal şekillendirilmesi ve doldurulması işlemlerinin dentin defekti oluşumuna etki ettiği bilinmektedir.¹² Bu işlemler sırasında oluşan dentin defektlerinin ilerleyerek vertikal kök kırıklarına neden olabileceği düşünülmektedir.¹¹ Vertikal kök kırığı bulunan dişlerin prognozu oldukça kötüdür ve genellikle ilgili dişin çekimi gerekmektedir.¹³ Bu klinik önemden dolayı çalışmamızda, farklı NiTi eğe sistemlerinin kök kanallarının temizlenmesi ve şekillendirilmesi sırasındaki dentin defekti oluşturma insidanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmamızda, apikal çaplarının küçük olmasından dolayı mandibuler keser dişler kullanılmıştır. Seçilen dişler çalışmaya dâhil edilmeden önce stereomikroskop altında kırık ve çatlak yönünden incelenmiştir, ancak bazı çatlaklar dişlerin içerisinde olabilmekte ve eksternal olarak gözlenemeyebilmektedir. Çalışmamızda, negatif kontrol grubunda herhangi bir dentin defektine rastlanmaması kullanılan dişlerin çatlaksız olduğunu göstermektedir. Negatif kontrol grubunda çatlak



ŞEKİL 3: Gruplara göre vertikal kırık miktarının dağılımı. Gruplar arasında istatistiksel fark yoktur ($p>0,05$).

bulunmaması konu ile ilgili yapılmış diğer çalışmalar ile uyumludur.^{14,15}

Çalışmamızda, dentinin mikro yapısının etkilenmemesi için irrigasyon solüsyonu olarak %1 NaOCl kullanılmıştır. Bu sayede oluşan dentinal defektlerin çoğunlukla NiTi eğeler ile yapılan mekanik preparasyonla alakalı olması sağlanmaya çalışılmıştır. Örnekler, dişin uzun aksına dik olacak şekilde kesilmiş ve stereomikroskop altında incelenmiştir. Kesit alma metodu örnekler zarar veren bir metod olmasına rağmen, negatif kontrol grubunda bulunan örneklerde herhangi bir dentinal defekte rastlanmamıştır. Shemesh ve ark.nın çalışmasında, optik koherens tomografinin vertikal kök kırıklarının teşhisindeki etkinliği araştırılmıştır.¹⁶ Araştırmacılar, optik koherens tomografinin vertikal kök kırıklarının teşhisinde oldukça başarılı olduğunu ve vertikal kök kırıklarının kökün neresinde lokalize olduğunu başarılı bir şekilde gösterdiğini bildirmişlerdir. De-Deus ve ark. ise farklı NiTi eğe sistemlerinin dentinde oluşturduğu defektleri bilgisayarlı mikrotomografi ile incelemişlerdir.¹⁷ Araştırmacılar, bilgisayarlı mikrotomografi yönteminin dentinal defektlerin belirlenmesi için oldukça etkin ve konservatif bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir. Ancak, bilgisayarlı mikrotomografinin küçük dentin defektlerini belirleyebilme yeteneği net değildir. Eğer bilgisayarlı mikrotomografinin çözünürlüğü mevcut dentin defektinden büyük ise dentin defekti tespit edilemeyecektir. Bu nedenden dolayı çalışmamızda kesit alma yöntemi kullanılmıştır.

NiTi eğe üreticileri genel olarak eğelerin tek bir dişte kullanılmasını önermektedir. Çalışmamızda eğelerin deforme olması sonucu, bulguların etkilenmemesi için dört kanallı maksiller birinci molar dişin preparasyonu baz alınarak, eğeler dört kullanım sonrası yenileri ile değiştirilmiştir.^{3,15}

Çalışmamız sonuçlarına göre, TFA grubunun, PTN ve Revo-S gruplarından istatistiksel olarak daha az dentin defektine neden olduğu belirlendiğinden sıfır hipotezi reddedilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, M-Wire alaşımından elde edilen eğelerin konvansiyonel NiTi alaşımından üretilen eğelere göre daha esnek olduğu bildi-

rilmiştir.^{18,19} Ancak çalışmamızda M-Wire alaşımından üretilmiş olan PTN grubu ile konvansiyonel alaşımdan üretilen Revo-S grubunda görülen dentin defekti sayılarında istatistiksel fark bulunmamıştır. Yapılan bir sonlu elemanlar analizi çalışmasında; eğelerin koniklik açılarının artması, şekillendirme sırasında kök kanallarında oluşturdukları stresi artırdığını göstermiştir.⁵ Bier ve ark. da eğelerin sahip olduğu koniklik açısının, şekillendirme sırasında kök dentininde oluşan defektleri etkileyebileceğini bildirmişlerdir.² Yoldaş ve ark., Revo-S, ProTaper Universal, Twisted File, HERO Shaper (Micro-Mega, Besancon, Fransa) ve self-adjusting file (ReDent Nova, Ra'anana, İsrail) eğelerinin dentin defekti oluşturma insidanslarını mandibuler molar dişlerin mezial kanallarında kesit alma yöntemi ile incelemiştirlerdir.¹⁴ Araştırmacılar, test edilen NiTi eğe sistemleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca NiTi eğelerin sahip olduğu uç yapısının, kesit şeklinin, sabit veya değişken koniklik açısının, oluk ve yiv yapısının da dentin defekti oluşumuyla ilgisi olabileceğini iddia etmişlerdir. Bu nedenle, çalışmamızda son kullanılan PTN eğesinin apikal çapı #30 olmasına rağmen, koniklik açısı %7 olduğundan apikal çapı #35 ve koniklik açısı %6 olan Revo-S eğesi ile benzer miktarda dentin defekti oluşturduğu kanaatindeyiz.

Karataş ve ark., çalışmamıza benzer şekilde TFA, PTN, ProTaper Universal (Dentsply Maillefer) ve WaveOne (Dentsply Maillefer) eğelerinin oluşturduğu dentin defektlerini mandibuler keser dişlerde kesit alma yöntemi ile incelemişler ve test edilen eğe sistemleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığını bildirmişlerdir.²⁰ Çalışmamızla, oluşan bu farklılığın nedeni olarak, araştırmacıların kök kanallarının apikal çapına #35 değil de #25 kadar genişletmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Aydın ve ark.'nın çalışmasında; Reciproc (VDW), WaveOne (Dentsply Maillefer) ve TFA sistemlerinin dentin defekt oluşturma insidansları

mandibuler premolar dişlerde kesit alma yöntemine göre incelenmiştir.²¹ Araştırmacılar, test edilen üç farklı NiTi eğe sisteminin aralarında dentin defekti oluşturma bakımından istatistiksel olarak fark olmadığını bildirmişlerdir. NiTi eğelerin sahip olduğu hareket kinematiği, eğelerin kök kanal şekillendirmesi sırasında oluşturduğu dentin defekti miktarını etkilemektedir. Resiprokasyon hareketi kök kanal şekillendirilmesi sırasında, eğenin kanal içinde sıkıştığı zamanlarda eğenin sürekli olarak rahatlamasını sağlamaktadır.²² Bu nedenle çalışmamızda, TFA grubunun diğer gruplardan istatistiksel olarak daha az dentin defektine neden olduğu düşünülmektedir.

Çalışmamızda, klinik koşulların laboratuvar ortamında taklit edilmesine özen gösterilse de özellikle dişlerin mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmalarda, çekim sonrası ve kesit alınması aşamasına kadar dişlerin saklanması gibi çeşitli eksternal faktörler çalışma sonuçlarını etkileyebilmektedir.²³

SONUÇ

Çalışmamızda test edilen bütün NiTi eğelerin kök kanal dentininde defekte neden olduğu bulunmuştur. Ancak, kök kanal şekillendirilmesi sırasında oluşan dentin defektlerinin klinik olarak endodontik tedavinin başarısına etkisinin önemi henüz tam olarak belirtilmemiştir. Bundan dolayı, kök kanal şekillendirilmesi sırasında oluşan dentin defektlerinin endodontik başarısızlıktaki rolünü araştıran in vivo çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması veya finansal destek bildirmemiştir.

Yazar Katkıları

Ebru Özsezer Demiryürek, araştırmanın planlanması ve makalenin yayına hazırlanması sürecinde görev yapmıştır. Taha Özyürek araştırmanın planlanması, makale hakkında literatür toplanması ve makalenin yayına hazırlanması sürecinde görev yapmıştır.

KAYNAKLAR

- Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30(8):559-67.
- Bier CA, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR, Wu MK. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod* 2009;35(2):236-8.
- Hin ES, Wu MK, Wesselink PR, Shemesh H. Effects of self-adjusting file, Mtwo, and ProTaper on the root canal wall. *J Endod* 2013;39(2):262-4.
- Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod* 1997;23(8):533-4.
- Kim HC, Lee MH, Yum J, Versluis A, Lee CJ, Kim BM. Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture. *J Endod* 2010;36(7):1195-9.
- Gambarini G, Testarelli L, De Luca M, Milana V, Plotino G, Grande NM, et al. The influence of three different instrumentation techniques on the incidence of postoperative pain after endodontic treatment. *Ann Stomatol (Roma)* 2013;4(1):152-5.
- Hashem AA, Ghoneim AG, Lutfy RA, Foda MY, Omar GA. Geometric analysis of root canals prepared by four rotary NiTi shaping systems. *J Endod* 2012;38(7):996-1000.
- Basrani B, Roth K, Sas G, Kishen A, Peters OA. Torsional profiles of new and used revo-s rotary instruments: an in vitro study. *J Endod* 2011;37(7):989-92.
- Capar ID, Arslan H, Akcay M, Uysal B. Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin. *J Endod* 2014;40(9):1482-4.
- Liu R, Kaiwar A, Shemesh H, Wesselink PR, Hou B, Wu MK. Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths. *J Endod* 2013;39(1):129-32.
- Shemesh H, Bier CA, Wu MK, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR. The effects of canal preparation and filling on the incidence of dentinal defects. *Int Endod J* 2009;42(3):208-13.
- Barreto MS, Moraes Rdo A, Rosa RA, Moreira CH, Só MV, Bier CA. Vertical root fractures and dentin defects: effects of root canal preparation, filling, and mechanical cycling. *J Endod* 2012;38(8):1135-9.
- Tsesis I, Rosen E, Tamse A, Taschieri S, Kfir A. Diagnosis of vertical root fractures in endodontically treated teeth based on clinical and radiographic indices: a systematic review. *J Endod* 2010;36(9):1455-8.
- Yoldas O, Yilmaz S, Atakan G, Kuden C, Kasan Z. Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file. *J Endod* 2012;38(2):232-5.
- Liu R, Hou BX, Wesselink PR, Wu MK, Shemesh H. The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod* 2013;39(8):1054-6.
- Shemesh H, van Soest G, Wu MK, Wesselink PR. Diagnosis of vertical root fractures with optical coherence tomography. *J Endod* 2008;34(6):739-42.
- De-Deus G, Silva EJ, Marins J, Souza E, Neves Ade A, Gonçalves Belladonna F, et al. Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems. *J Endod* 2014;40(9):1447-50.
- Pereira ES, Peixoto IF, Viana AC, Oliveira II, Gonzalez BM, Buono VT, et al. Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments. *Int Endod J* 2012;45(5):469-74.
- Peters OA, Morgental RD, Schulze KA, Paqué F, Kopper PM, Vier-Pelisser FV. Determining cutting efficiency of nickel-titanium coronal flaring instruments used in lateral action. *Int Endod J* 2014;47(6):505-13.
- Karataş E, Gündüz HA, Kırıcı DÖ, Arslan H, Topçu MÇ, Yeter KY. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. *J Endod* 2015;41(2):261-4.
- Aydin U, Aksoy F, Karataslioglu E, Yildirim C. Effect of ethylenediaminetetraacetic acid gel on the incidence of dentinal cracks caused by three novel nickel-titanium systems. *Aust Endod J* 2015;41(3):104-10.
- Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 2008;41(4):339-44.
- Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod* 2013;39(4):501-4.