

Düşük taper açısına sahip güncel NiTi döner aletlerin döngüsel yorgunluk dirençlerinin kıyaslanması

Comparison of cyclic fatigue resistance of novel NiTi rotary instruments with low taper angle

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Demirhan Uygun

Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti A.D., Afyonkarahisar
Orcid ID: 0000-0001-5704-183X

Dr. Öğr. Üyesi Yahya Güven

Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti A.D., Afyonkarahisar
Orcid ID: 0000-0001-7895-8241

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ünal

Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti A.D., Afyonkarahisar
Orcid ID: 0000-0001-9111-6962

Geliş tarihi: 2 Ekim 2020

Kabul tarihi: 11 Mart 2021

doi: 10.5505/yeditepe.2021.70894

Yazışma adresi:

Ahmet Demirhan Uygun
Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti A.D. Afyonkarahisar, 03030, Türkiye
Tel: +90505 751 37 05
Fax: +90272 216 70 80
E-posta: ademirhan100@hotmail.com

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, 60° ve 90° eğimli kanallarda 25/04 uç boyut ve taper açısına sahip K3XF, 2Shape ve VDW. ROTATE NiTi döner aletlerinin döngüsel yorgunluğa bağlı kırılma dirençlerinin karşılaştırılmasıdır.

Gereç ve Yöntem: Bu çalışmada toplam 90 olmak üzere 30 adet K3XF, 30 adet 2Shape ve 30 adet VDW.ROTATE eğesi kullanıldı. Eğeler iki alt gruba ayrıldıktan sonra 60° ve 90° eğimli ve 3 mm eğim yarıçapına sahip yapay paslanmaz çelik kanallarda döngüsel yorgunluk direnç testine tabi tutuldu. Eğelerin kırılma zamanları bir dijital kronometre yardımıyla belirlendi. Kırık parçaların uzunlukları ise hassas kumpas yardımıyla ölçüldü. Veriler istatistiksel olarak Kruskal Wallis H-testi ve post hoc Tamhane T2 testi ile istatistiksel olarak incelendi ($p<0.05$).

Bulgular: VDW.ROTATE grubu 60° ve 90° eğimli her iki kanalda istatistiksel olarak anlamlı şekilde yüksek döngüsel yorgunluk direncine sahipti ($p<0.05$). K3XF grubu her iki farklı kanalda istatistiksel olarak 2Shape TS1 grubuna göre döngüsel yorgunluğa karşı daha dirençli bulundu ($p<0.05$). Her iki farklı kanalda eğeler arasında kırık parça uzunlukları kıyaslandığında istatistiksel açıdan fark yoktu ($p>0.05$).

Sonuç: Döngüsel yorgunluğa karşı direncin incelendiği bu çalışmada %4 taper açısına sahip eğeler kullanılmıştır. VDW. ROTATE eğeleri döngüsel yorgunluğa karşı en yüksek kırılma direncine sahipti. 2Shape eğeleri döngüsel yorgunluğa karşı en düşük dirençli gruptu.

Anahtar kelimeler: Döngüsel yorgunluk, kırılma direnci, Ni-titanyum, VDW.ROTATE

SUMMARY

Aim: The aim of this study is to compare the fracture resistance due to cyclic fatigue of K3XF, 2Shape and VDW.ROTATE NiTi rotary instruments with 25/04 tip size and taper in artificial stainless steel canals with 60° and 90° curvature.

Materials and methods: In this study, a total of 90, 30 K3XF, 30 2Shape and 30 VDW.ROTATE files were used. After the files were divided into two subgroups, they were subjected to cyclic fatigue resistance tests on artificial stainless steel channels with 60° and 90° angle of curvature and 3 mm radius of curvature. The time to fracture of the files were determined with the help of a digital stopwatch. The lengths of the fractured fragments were measured with a precision caliper. The data were analyzed statistically using Kruskal Wallis H-test and post hoc Tamhane T2 test ($p < 0.05$).

Results: The VDW.ROTATE group had statistically significant higher cyclic fatigue resistance in both canals with 60° and 90° angle of curvature ($p < 0.05$). The K3XF group was statistically more resistant to cyclic fatigue than the 2Shape TS1 group in both canals ($p < 0.05$). There was no statistical significant difference between the lengths of the fractured fragments between the files in both different canals ($p > 0.05$).

Conclusion: In this study, in which resistance to cyclic fatigue

was examined, files with 4% taper were used. The VDW. ROTATE files had the highest fracture resistance against cyclic fatigue. The group with the lowest resistance to cyclical fatigue was 2Shape files.

Keywords: Cyclic fatigue, fracture resistance, Nickel-titanium, VDW.ROTATE

GİRİŞ

Kök kanal tedavisi sırasında gerçekleşen Nikel-Titanyum (NiTi) döner aletlerin kırılması genellikle klinisyenler tarafından telafi edilemeyen can sıkıcı bir komplikasyondur. Literatüre göre, kök kanal tedavisinde kullanılan aletin kırılması iki farklı mekanizma ile gerçekleşmektedir; biri torsiyonel (burulma) diğeri de döngüsel (eğilme) yorulmadır. Kanal aletinin uç kısmının sıkışması ancak geri kalan gövde kısmının dönmeye devam etmesi neticesinde gerçekleşen kırılma tipi torsiyonel olarak adlandırılır. Döngüsel yorgunluk ise belirli aralıklarla tekrarlanan sıkışma ve gerilme kuvvetlerine maruz kalma sonucunda gerçekleşir. Kök kanal tedavisinde döngüsel yorgunluktan dolayı oluşan alet kırılmasının daha sık karşılaşıldığı iddia edilmektedir.^{1,2}

NiTi döner aletlerin döngüsel yorgunluk dirençlerinin kıyaslandığı çalışmalarda eğimli kök kanallarında kök kanal aletinin taper açısının artmasıyla döngüsel yorgunluk direncinin azaldığı ve alet kırılması riskinin arttığı gösterilmiştir.^{3, 4} Ayrıca yüksek taper açısına sahip aletlerin kök kanal duvarlarında daha çok stres oluşumuna yol açtığı, köklerin kırılma direncini azalttığı ve vertikal kök kırığı oluşma riskini artırdığı gösterilmiştir.^{5, 6} Kök kanal tedavisinde kullanılan ticari NiTi döner aletler farklı taper açılarında üretilirler ancak genellikle bu sistemlerin final bitim eğeleri %6 civarında bir açığa sahiptir. Dolayısıyla döngüsel yorgunluk direnç testi çalışmalarında kullanılan kanal aletleri de ağırlıklı olarak %6 civarında bir taper açısına tablo 1 sahiptir. Literatürde azaltılmış taper açısına sahip döner aletlerin döngüsel yorgunluk direnci ile ilgili daha az çalışma bulunmaktadır.⁷

Tablo 1. K3XF, 2 Shape ve VDW ROTATE eğerlerinin 2 farklı açıdaki kanallarda kırılma zamanları (sn) ve kırık parça uzunlukları (mm) ortalama ve standart sapma değerleri

	60°		90°	
	Kırılma zamanı (sn)	Kırık parça uzunluğu (mm)	Kırılma zamanı (sn)	Kırık parça uzunluğu (mm)
K3XF 25/.04	123 ± 17 ^b	4,98 ± 0,32 ^a	102 ± 14 ^b	5,15 ± 0,33 ^a
2Shape TS1	82 ± 9 ^c	4,94 ± 0,22 ^a	37 ± 7 ^c	5,1 ± 0,23 ^a
VDW.ROTATE 25/.04	194 ± 42 ^a	5,06 ± 0,3 ^a	123 ± 13 ^b	5,21 ± 0,28 ^a

Aynı sütündeki farklı üst simge harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu anlamına gelir (P<0.05)

K3XF sistemi (Orange, Kaliforniya, ABD) daha önceki yıllarda üretilen K3 (Orange, Kaliforniya, ABD) ve Twisted File (TF, Orange, Kaliforniya, ABD) sistemlerine benzer olarak üretilmiştir. TF gibi R-faz ısıtım teknolojisine sahiptir ancak bükülme yerine K3 gibi taşlama yöntemi ile üretilmiştir. K3XF sistemi farklı konisite ve uç boyutlarına

sahip birçok eğe içermektedir.^{8, 9} 2Shape (Micro-Mega, Besançon, Fransa) sistemi T.wire ısıtım teknolojisi ile üretilen 2 adet eğeden oluşan NiTi döner sistemidir. TS1 ve TS2 sırasıyla 25/.04 ve 25/.06 uç boyut ve taper açısına sahiptir.^{10, 11} VDW.ROTATE (VDW, Munich, Almanya) son yıllarda ısıtım teknolojisi ile üretilen ve birçok eğeden oluşan bir sistemdir. Sistemin eğeleri normal ve dar kanallarda kullanılmak üzere 0,06 ve 0,04 taper açısına sahip eğelerden oluşmaktadır. Literatürde bu sistemlerin döngüsel yorgunluk dirençlerinin kıyaslandığı az sayıda çalışma vardır.^{12, 13} Bu çalışmanın amacı, 0,25 mm apikal uç boyuta ve %4 taper açısına sahip yeni döner alet sistemlerinin döngüsel yorgunluk dirençlerini kıyaslamaktır. Çalışmanın sıfır hipotezi, K3XF (25/.04), 2Shape TS1 ve VDW. ROTATE (25/.04) NiTi döner aletlerinin döngüsel yorgunluk dirençleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark olmayacağıdır.

GEREÇ VE YÖNTEM

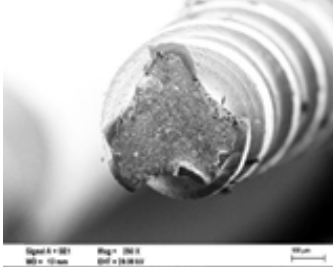
Bu çalışmada 30 adet K3XF (25-0.04), 30 adet 2Shape TS1 ve 30 adet VDW.ROTATE (25-0.04) kullanıldı. Deneyden önce tüm örnekler stereomikroskop altında üretim hatası yönünden incelendi ve kusurlu bir ege ile karşılaşılmadı.

Döngüsel yorulma testi için 3 boyutlu olarak farklı yönlerde ayarlanabilen bir test düzeneği oluşturuldu (Şekil 1) .

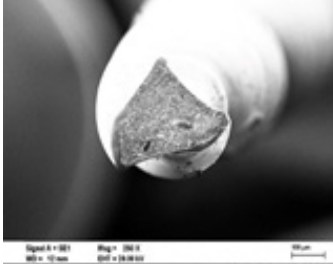


Şekil 1. Döngüsel yorgunluk direnci test düzeneği

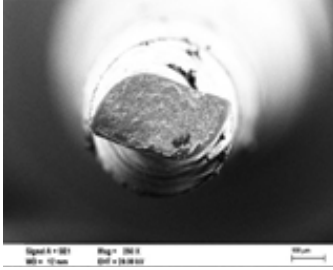
Örnekler 2 alt gruba ayrıldı (n=15), 60° ve 90° eğimli ve 3 mm eğim yarıçapına sahip yapay paslanmaz çelik kanallar döngüsel yorgunluk direnç testi için tercih edildi.¹⁴ Döner aletler uç kısmı kanal kurvatürünü 5 mm geçecek şekilde yerleştirildi. Kırılmanın takibi ve kırılacak parçanın kaybını engellemek için yapay kanalların üstü bir cam blok ile örtüldü. Üretici talimatlarına uygun olarak 350 rpm hızda VDW Gold Reciproc endodontik motor kullanılarak test gerçekleştirildi. Döngüsel yorgunluk direnç testi 35 °C (±2) sıcaklıkta distile su içinde gerçekleştirildi. Dijital bir kronometre ile kırılma zamanları ölçüldü. Kırık parça uzunlukları hassas bir kumpas yardımı ile ölçüldü ve eğelerin kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (LEO 1430 VP, Zeiss Oberkochen, Almanya) altında incelendi (Şekil 2-4).



Şekil 2. K3XF eğesinin kırık yüzeyinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü



Şekil 3. 2Shape eğesinin kırık yüzeyinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü



Şekil 4. VDW.ROTATE eğesinin kırık yüzeyinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü

Eğelerin kırılma zamanı verileri istatistiksel olarak Kruskal Wallis H-testi ve post hoc Tamhane T2 testi ile istatistiksel olarak incelendi. Sonuçlar istatistiksel olarak %5 anlamlılık oranında değerlendirildi (SPSS v23.0; IBM Corp, Armonk, NY, ABD).

BULGULAR

Eğelerin 60° ve 90° eğimli kanallarda kırılma zamanları (sn) ve kırık parça uzunlukları (mm) ortalama ve standart sapma verileri' de verilmiştir. Her iki eğimli kanalda VDW. ROTATE grubu istatistiksel olarak anlamlı şekilde yüksek döngüsel yorgunluk direncine sahipti ($p < 0.05$). K3XF grubu her iki farklı kanalda da istatistiksel olarak 2Shape TS1 grubuna göre döngüsel yorgunluğa karşı daha dirençli bulundu ($p < 0.05$). Her iki farklı kanalda eğeler arasında kırık parça uzunlukları kıyaslandığında istatistiksel açıdan fark yoktu ($p > 0.05$).

TARTIŞMA

Endodontik tedavinin başarısı birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden mekanik olarak kök kanalının genişletilmesi çok önem arz etmektedir. Ancak literatürde kök kanalında hangi boyuta kadar genişletme yapılacağı tartışma konusudur. Kök kanal genişletmesinin arttıkça apikal iyileşmenin azaldığı rapor edilmiştir.^{15,16} Saini ve ark.¹⁷ ise yaptıkları bir çalışmada, kök kanalında ilk sıkışan eğenin 3 üstüne kadar yapılan apikal genişletmenin ye-

terli olduğu ve daha fazla yapılan genişletmenin periapikal iyileşmeye bir katkısının olmadığını göstermişlerdir. Ayrıca kök kanal genişletmesinin vertikal kırılma direncini düşürdüğü yapılan çalışmalar neticesinde bilinmektedir.¹⁸⁻²⁰ Dolayısıyla yüksek taper açısına sahip döner aletlerden kaçınmak ve orijinal kanal kurvatürünü korumak gibi minimal invaziv yaklaşımlar daha popüler hale gelmektedir. Bunlara ilaveten daha az taper açısına sahip döner aletlerin kullanımıyla döngüsel yorgunluk direnci artırılıp kök kanalında alet kırılması riski azaltılmaktadır. Biz de çalışmamızda daha az taper açısına sahip NiTi döner aletlerin 2 farklı açıya sahip paslanmaz çelik kanallarda döngüsel yorgunluk dirençlerini inceledik. VDW. ROTATE eğeleriyle diğer eğeler arasında her iki kanalda da istatistiksel olarak anlamlı fark vardı ($p < 0.05$). 2Shape TS1 eğeleri de K3XF eğelerinden istatistiksel olarak daha yüksek kırılma direncine sahipti ($p < 0.05$). Böylece bu çalışmanın sıfır hipotezi reddedilmiştir.

Literatürde döngüsel yorgunluğu ölçmek için birbirinden farklı birçok düzenek kullanılmıştır. Bunlar başlıca sabit (statik) ve hareketli (dinamik) olmak üzere ikiye ayrılabilir. Hareketli düzenekler sabite ek olarak aksiyel hareketi de içermektedir.²¹ Aksiyel hareket ile NiTi döner aletlerinde kanal kurvatüründe oluşan stresin tek bir noktada toplanmak yerine belli bir bölgeye dağıldığı ve kırılma direncinin arttığı gösterilmiştir.²² Bizim çalışmamızda standardizasyonun daha iyi sağlanabilmesi açısından sabit bir model içinde eğeler döngüsel yorgunluk direnç testine tabi tutulmuştur. Castello-Escriva ve ark.²³ eğim yarıçapı açısının eğelerin döngüsel yorulma direncini etkileyen önemli faktörler olduğunu göstermiştir. Literatürde %6 taper açısına sahip eğeler genellikle 60° eğim açısına sahip yapay kanallarda teste tabi tutulmaktadırlar, ancak daha düşük taper açısına sahip eğeler 60° eğime sahip kanallara ilaveten 90° eğimli veya S harfi şeklinde çift eğimli yapay kanallarda döngüsel yorgunluk direnç testine tabi tutulmuşlardır.^{7,24} Biz de %4 taper açısına sahip eğeleri incelediğimiz çalışmamızda, döner aletin üç boyutlu olarak konumlandırılabilirdiği sabit bir test düzeneği içerisinde yarıçapı 3 mm olan 60° ve 90° eğime sahip yapay paslanmaz çelik kanallarda döngüsel yorgunluk direnç testi gerçekleştirilmiştir.^{14,25-27} Önceki çalışmalarla uyumlu olarak 90° eğime sahip kanalların eğelerin kırılma dirençlerini daha hızlı bir şekilde azalttığı görülmüştür.^{4,27} Son yıllarda ortam koşullarının döngüsel yorgunluk direnç testlerini etkilediği iddia edilmiştir.²⁸⁻³⁰ Daha önceden yapılan çalışmalarda sıcaklığın eğelerin fiziksel özelliklerini etkilediği ve kanal içi sıcaklıkta bu çalışmaların yapılmasının daha doğru olacağı belirtilmiştir.^{28,31} Literatürde yapılan az sayıdaki çalışmanın sonuçlarına göre, kanal içi sıcaklığın vücut sıcaklığından bir miktar daha düşük olarak 31°C ve 35°C aralığında olduğu belirtilmiştir.^{32,33} Bu nedenden dolayı döngüsel yorgunluk

direnç testi bir termostat yardımı ile kontrol edilen 35°C (± 2) sıcaklığındaki su içerisinde gerçekleştirildi.

Eğelerin mekanik özelliklerini dolayısıyla kırılma direncini etkileyen faktörlerden biri eğenin geometrik tasarımıdır. Geometrik tasarım enine kesit ile ilişkilidir ve kırılma direncini etkilediği daha önce yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir.^{34,35} S şeklinde enine kesite sahip eğelerin dörtgen veya üçgen şekilli enine kesitli eğelere nazaran daha yüksek kırılma direncine sahip oldukları gösterilmiştir.^{36,37} VDW.ROTATE eğeleri de S şeklinde enine kesite, 2Shape TS1 dışbükey üçgen ve K3XF içbükey üçgen benzeri farklı bir enine kesite sahiptir. Bu çalışmadaki döngüsel yorgunluk direncindeki fark enine kesit tasarımlarından kaynaklanmış olabilir. Eğelerin kırılma direncini etkileyen tek faktör sadece geometrik tasarımları değildir. Aynı zamanda üretildikleri ısıtım teknolojileri de alaşımların kırılma direncini etkilemektedir.^{26,38,39} Firmalar tarafından ürettikleri eğelerin sahip oldukları alaşım ve üretim süreçleri tam olarak açıklanmamakta ve farklı isimlerle adlandırılmaktadır. 2Shape T.wire ve K3XF ise R-phase olarak adlandırılan alaşımlara sahiptir.^{9,10} VDW. ROTATE eğesi bu eğelerden daha sonraki yıllar içerisinde üretilen yeni bir egedir ve üreticisi tarafından alaşımına dair paylaşılan bir bilgi yoktur. Keskin ve ark.¹² yaptıkları bir diferansiyel taramalı kalorimetri çalışmasında, VDW. ROTATE, Reciproc Blue ve Reciproc gibi ısıtım işlem görmüş eğelerin Östenit bitiş (Af) sıcaklıklarını sırasıyla 33°C, 35°C ve 41°C bulmuşlardır. Aynı çalışmada ise geleneksel bir NiTi alaşıma sahip olan Mtwo eğesi 15°C Af sıcaklığına sahipti. Bu bulgular VDW.ROTATE eğelerinin geleneksel bir NiTi egeden daha yüksek kırılma direncine sahip olduğunu açıklamaktadır.

Literatürdeki VDW.ROTATE eğeleri ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Gündoğar ve ark.¹¹ 2020 yılında yaptıkları çalışmada VDW.ROTATE egesinin döngüsel yorgunluk direncini diğer bütün eğelerden daha yüksek bulmuşlardır. Uslu ve ark.⁴⁰ S şeklinde çift kurvatürlü yapay bir kanala sahip düzenekte yaptıkları çalışmalarında, VDW.ROTATE eğeleri ve HYFlex CM eğeleri arasında istatistiksel bir fark bulamazken, 2Shape eğelerinin daha düşük döngüsel yorgunluk direncine sahip olduklarını göstermişlerdir. Bizim çalışmamızın sonuçları da bu iki çalışma ile uyum içerisindedir. Bilgimiz dahilinde literatürde 2Shape ve K3XF eğelerinin döngüsel yorgunluk direncini kıyaslayan bir çalışma bulunmamaktadır. Daha yeni bir teknoloji ile üretilmiş olmasına rağmen 2Shape TS1 eğeleri K3XF eğelerinden düşük döngüsel yorulma direncine sahipti.

SONUÇLAR

Çalışmanın sınırları dahilinde, %4 taper açısına sahip farklı tasarımlara ve ısıtım teknolojilerine sahip NiTi döner aletlerin döngüsel yorgunluk dirençleri kıyaslandı. VDW.ROTATE eğeleri istatistiksel olarak en yüksek kırıl-

ma direncine sahipti. 2Shape TS1 eğesi ile K3XF arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardı. Eğelerin kırılmasını etkileyen tek faktör sadece döngüsel yorgunluk direnci değildir, bu nedenle söz konusu eğelerin klinik kullanımlarında dikkatli olmakta fayda vardır ve bu eğelerle ilgili yapılacak klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Teşekkür

Bu çalışma, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 19.DİŞ.001 numaralı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Cheung G, Peng B, Bian Z, Shen Y, Darvell B. Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: fractographic examination. *Int Endod J* 2005;38:802-809.
2. Shen Y, Haapasalo M, Cheung GS-p, Peng B. Defects in nickel-titanium instruments after clinical use. Part 1: Relationship between observed imperfections and factors leading to such defects in a cohort study. *J Endod* 2009;35:129-132.
3. Pérez-Higueras JJ, Arias A, José C, Peters OA. Differences in cyclic fatigue resistance between ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. *J Endod* 2014;40:1477-1481.
4. Adıgüzel M, Capar ID. Comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne and WaveOne Gold small, primary, and large instruments. *J Endod* 2017;43:623-627.
5. Zandbiglari T, Davids H, Schäfer E. Influence of instrument taper on the resistance to fracture of endodontically treated roots. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;101:126-131.
6. Versluis A, Messer H, Pintado M. Changes in compaction stress distributions in roots resulting from canal preparation. *Int Endod J* 2006;39:931-939.
7. Hülsmann M, Donnermeyer D, Schäfer E. A critical appraisal of studies on cyclic fatigue resistance of engine-driven endodontic instruments. *Int Endod J* 2019;52:1427-1445.
8. Pérez-Higueras JJ, Arias A, José C. Cyclic fatigue resistance of K3, K3XF, and twisted file nickel-titanium files under continuous rotation or reciprocating motion. *J Endod* 2013;39:1585-1588.
9. Shen Y, Zhou H-m, Wang Z, Campbell L, Zheng Y-f, Haapasalo M. Phase transformation behavior and mechanical properties of thermomechanically treated K3XF nickel-titanium instruments. *J Endod* 2013;39:919-923.
10. Elmaghy AM, Elsaka SE. Cyclic fatigue resistance of one curve, 2Shape, ProFile vortex, vortex blue, and RaCe nickel-titanium rotary instruments in single and double curvature canals. *J Endod* 2018;44:1725-1730.
11. Gündoğar M, Uslu G, Özyürek T, Plotino G. Comparison of the cyclic fatigue resistance of VDW. ROTATE, TruNatomy, 2Shape, and HyFlex CM nickel-titanium rotary files at body temperature. *Restor Dent Endod* 2020;45.

- 12.** Keskin C, Yılmaz ÖS, Keleş A, Inan U. Comparison of cyclic fatigue resistance of Rotate instrument with reciprocating and continuous rotary nickel-titanium instruments at body temperature in relation to their transformation temperatures. *Clin Oral Investig* 2020;1-7.
- 13.** Uygun AD. Cyclic fatigue resistance of VDW. ROTATE and Reciproc Blue nickel-titanium files at root canal temperature. *J Dent Res* 2020;14:2.
- 14.** Pruett JP, Clement DJ, Carnes Jr DL. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1997;23:77-85.
- 15.** Strindberg LZ. The dependence of the results of pulp therapy on certain factors-an analytical study based on radiographic and clinical follow-up examination. *Acta Odontol Scand* 1956;14:1-175.
- 16.** Hoskinson SE, Ng Y-L, Hoskinson AE, Moles DR, Gulabivala K. A retrospective comparison of outcome of root canal treatment using two different protocols. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002;93:705-715.
- 17.** Saini HR, Tewari S, Sangwan P, Duhan J, Gupta A. Effect of different apical preparation sizes on outcome of primary endodontic treatment: a randomized controlled trial. *J Endod* 2012;38:1309-1315.
- 18.** Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. *Am J Dent* 2001;14:324-333.
- 19.** Cohen S, Berman LH, Blanco L, Bakland L, Kim JS. A demographic analysis of vertical root fractures. *J Endod* 2006;32:1160-1163.
- 20.** Topçuoğlu HS, Arslan H, Keleş A, Köseoğlu M. Fracture resistance of roots filled with three different obturation techniques. *Medicina oral, patologia oral y cirugia bucal* 2012;17:e528.
- 21.** Dederich DN, Zakariasen KL. The effects of cyclical axial motion on rotary endodontic instrument fatigue. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1986;61:192-196.
- 22.** Li U-M, Lee B-S, Shih C-T, Lan W-H, Lin C-P. Cyclic fatigue of endodontic nickel titanium rotary instruments: static and dynamic tests. *J Endod* 2002;28:448-451.
- 23.** Castelló-Escrivá R, Alegre-Domingo T, Faus-Matoses V, Román-Richon S, Faus-Llácer VJ. In vitro comparison of cyclic fatigue resistance of ProTaper, WaveOne, and Twisted Files. *J Endod* 2012;38:1521-1524.
- 24.** Ferreira F, Adeodato C, Barbosa I, Aboud L, Scelza P, Zaccaro Scelza M. Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. *Int Endod J* 2017;50:143-152.
- 25.** Capar ID, Kaval ME, Ertas H, Sen BH. Comparison of the cyclic fatigue resistance of 5 different rotary path-finding instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire, and controlled memory wire. *J Endod* 2015;41:535-538.
- 26.** Uygun A, Kol E, Topcu M, Seckin F, Ersoy I, Tanriver M. Variations in cyclic fatigue resistance among ProTaper Gold, ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. *Int Endod J* 2016;49:494-499.
- 27.** Özyürek T, Gündoğar M, Uslu G, Yılmaz K, Staffoli S, Grande N, Plotino G, Polimeni A. Cyclic fatigue resistances of Hyflex EDM, WaveOne gold, Reciproc blue and 2shape NiTi rotary files in different artificial canals. *Odontology* 2018;106:408-413.
- 28.** de Vasconcelos RA, Murphy S, Carvalho CAT, Govindjee RG, Govindjee S, Peters OA. Evidence for reduced fatigue resistance of contemporary rotary instruments exposed to body temperature. *J Endod* 2016;42:782-787.
- 29.** Inaghy A, Elsaka S. Effect of sodium hypochlorite and saline on cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold and Reciproc reciprocating instruments. *Int Endod J* 2017;50:991-998.
- 30.** Keles A, Ozyurek EU, Uyanik MO, Nagas E. Effect of temperature of sodium hypochlorite on cyclic fatigue resistance of heat-treated reciprocating files. *J Endod* 2019;45:205-208.
- 31.** Plotino G, Grande NM, Bellido MM, Testarelli L, Gambarini G. Influence of temperature on cyclic fatigue resistance of ProTaper Gold and ProTaper Universal rotary files. *J Endod* 2017;43:200-202.
- 32.** de Hemptinne F, Slaus G, Vandendael M, Jacquet W, De Moor RJ, Bottenberg P. In vivo intracanal temperature evolution during endodontic treatment after the injection of room temperature or preheated sodium hypochlorite. *J Endod* 2015;41:1112-1115.
- 33.** Cunningham WT, Balekjian AY. Effect of temperature on collagen-dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1980;49:175-177.
- 34.** Xu X, Eng M, Zheng Y, Eng D. Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections. *J Endod* 2006;32:372-375.
- 35.** Grande N, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino V, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J* 2006;39:755-763.
- 36.** Plotino G, Grande N, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J* 2012;45:614-618.
- 37.** Dagna A, Poggio C, Beltrami R, Colombo M, Chiesa M, Bianchi S. Cyclic fatigue resistance of OneShape, Reciproc, and WaveOne: An in vitro comparative study. *J Conserv Dent* 2014;17:250.
- 38.** Ha J-H, Kim SK, Cohenca N, Kim H-C. Effect of R-phase heat treatment on torsional resistance and cyclic fatigue

fracture. J Endod 2013;39:389-393.

39. Gündoğar M, Özyürek T. Cyclic fatigue resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue nickel-titanium instruments. J Endod 2017;43:1192-1196.

40. Uslu G, Gundogar M, Özyurek T, Plotino G. Cyclic fatigue resistance of reduced-taper nickel-titanium (NiTi) instruments in doubled-curved (S-shaped) canals at body temperature. J Dent Res 2020;14: 2.