

Farklı Isıl İşlem Uygulanmış Nikel Titanyum Eğelerin Döngüsel Yorgunluk Dirençlerinin Karşılaştırılması

The Comparative Evaluation of Cyclic Fatigue Resistance of Different Heat-treated NiTi Instruments

Gözde Kandemir Demirci, Seniha Micoogullari Kurt, Burcu Serefoglu, Mehmet Emin Kaval, Mehmet Kemal Çalışkan

Ege Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, İzmir

Atıf/Citation: Kandemir Demirci, G., Mucoogullari Kurt, S., Serefoglu, B., Kaval, M.E., Çalışkan, M.K., (2020). Farklı Isıl İşlem Uygulanmış Nikel Titanyum Eğelerin Döngüsel Yorgunluk Dirençlerinin Karşılaştırılması. Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 41(3), 209-213.

ÖZ

Amaç: Farklı ısı işlem uygulamaları ile üretilmiş nikel titanyum eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençlerinin karşılaştırılmasıdır.

Yöntem: On ikişer adet Scope RS Gold (25.06), Scope RS Blue (25.06) ve Scope RS "controlled memory" (CM) (25.06) nikel titanyum eğeleri çalışmaya dâhil edildi. Eğeler 60° kanal kurvatür açısına ve 3 mm kurvatür yarı çapına sahip paslanmaz çelikten yapılmış yapay kanallar kullanılarak döngüsel yorgunluk testi uygulandı. Eğeler kırılıncaya kadar geçen süre kaydedildi ve eğelerin kırılıncaya kadar gerçekleştirdiği tur sayısı hesaplandı. Elde edilen veriler One-way ANOVA ve post-hoc Tukey testi ile istatistiksel olarak değerlendirildi.

Bulgular: Eğelerin kırılma dayanımının yüksekten düşüğe sıralaması Scope RS CM, Scope RS Gold ve Scope RS Blue olarak bulundu. Scope RS CM eğelerinin döngüsel yorgunluk direnci diğer gruplardan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulundu ($p<0,05$). Scope RS Blue ve Scope RS Gold eğeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı ($p>0,05$).

Sonuç: Çalışmamızın sınırları dâhilinde, Scope RS CM nikel titanyum eğesinin döngüsel yorgunluk direnci Scope RS Gold ve Scope RS Blue eğelerinden daha yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel yorgunluk, nikel titanyum, ısı işlem

ABSTRACT

Objective: To compare the cyclic fatigue resistance of different heat-treated NiTi files.

Methods: Scope RS Gold (25.06), Scope RS Blue (25.06) and Scope RS controlled memory (CM) (25.06) nickel titanium files were included in the present study ($n=12$). According to the manufacturer instruction files were rotated in an artificial stainless steel canal with 3 mm radius and 60° angle of curvature. The time to failure of files was recorded and the number of cycles to failure of the files were calculated. The data were analysed with One-way ANOVA and post-hoc Tukey tests.

Results: The mean number of cycles to failure of files highest to lowest was Scope RS CM, Scope RS Gold and Scope RS Blue, respectively. A statistically significant difference was noted between Scope CM and the other two groups ($p<0.05$). There was no statistically significant difference between the Scope RS Blue and Scope RS Gold groups ($p>0.05$).

Conclusion: Within the limitation of the present study the cyclic fatigue resistance of Scope RS CM nickel titanium files was greater than the Scope RS Blue and Scope RS Gold nickel titanium files.

Keywords: Surface detail, shark fin test, hardness, impression material

GİRİŞ

Nikel titanyum (NiTi) eğeler, üstün kesme etkinlikleri ve esneklikleri sebebiyle son yıllarda kök kanal şekillendirme işlemlerinde popüler hâle gelmiştir ve yaygın olarak kullanılmaktadır¹. Bu eğelerin birçok avantajı bulunmasına rağmen, en büyük problemlerinden biri, özellikle eğri kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında maksimum kurvatürün olduğu noktada meydana gelen gerilme ve sıkışma kuvvetleri sonucunda döngüsel yorgunluğa bağlı olarak kırılmalarıdır²⁻⁴. Son yıllarda NiTi eğelerin üretildiği alaşımlar farklı ısıl işlem prosedürleri ile geliştirilmiş, böylece esnekliklerinin ve döngüsel yorgunluk dirençlerinin artırılması sağlanmıştır⁵⁻⁹. Yeni nesil Blue ve Gold teknolojisi ile üretilmiş NiTi eğeler, eğe yüzeyinde görünür bir titanyum oksit tabakası oluşumuna neden olan özel bir ısıtma-soğutma işlemine tabi tutularak üretilmektedir^{8,9}. Öte yandan CM alaşımdan üretilen eğelerde uygulanan ısıl işlem prosedürü ile eğenin martensit fazda stabil olarak kalması ile eğenin kontrol edilebilir şekil hafızalı olması sağlanır¹⁰⁻¹³. Bu teknolojiler kullanılarak üretilen NiTi alaşımdan üretilen Scope RS Gold (Scope, Yozgat, Türkiye), Scope RS Blue ve Scope RS CM eğeleri sabit koniklik açısına ve üçgen kesite sahiptir¹⁴. Literatür incelendiğinde, eğelerin üretildiği alaşım tipi ve uygulanan ısıl işlem dışında enine kesit dizaynları, koniklik açıları, kinematiği gibi döngüsel yorgunluk direncini etkileyen birçok etken bildirilmiştir¹⁵. Yaptığımız kapsamlı literatür taramasında, eğelere uygulanan ısıl işlemlerin döngüsel yorgunluk direnci üzerinde etkisini inceleyen çok sayıda çalışma olmasına rağmen^{7,16,17}, enine kesit dizaynları, koniklik açıları, kinematiği gibi faktörlerin standardize edilerek yalnızca uygulanan ısıl işlemin döngüsel yorgunluk direnci üzerinde etkisini inceleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır¹⁸⁻²⁰. Ayrıca yeni üretilmiş olan Scope RS NiTi eğelerinin döngüsel yorgunluğa karşı direncini inceleyen çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı Gold ısıl işlem, Blue ısıl işlem ve “Controlled Memory” teknolojileri ile üretilen Scope RS NiTi eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençlerinin karşılaştırılmasıdır. Çalışmamızın sıfır hipotezi; test edilen NiTi eğelerin döngüsel yorgunluk dirençleri arasında fark olmayacağıdır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmanın örneklem büyüklüğü Serefoglu ve arkadaşlarının²¹ yapmış olduğu çalışma esas alınarak G*Power 3.1 (Heinrich Heine University, Dusseldorf, Germany) programı ile yapılmış ve minimum örneklem sayısı 6 olarak bulunmuştur. Bu veriler doğrultusunda, çalışmamızda her grupta 12 adet örnek olacak şekilde toplam 36 adet kanal eğesi kullanılmasına karar verilmiştir.

Çalışmaya NiTi alaşımdan üretilmiş olan aynı apikal çap ve aynı koniklik açısına sahip Oniki adet Scope RS CM (25.06), 12 adet Scope RS Blue (25.06) ve 12 adet

Scope RS Gold (25.06) NiTi eğeleri dâhil edildi. Bütün eğeler kullanılmadan önce stereomikroskopta x20 büyütme altında (Olympus BX43, Olympus Co., Tokyo, Japonya) deformasyon ve üretim hatası açısından incelendi²².

Döngüsel yorgunluk testi için, 3 mm kurvatür yarı çapına, 60° kanal kurvatür açısına sahip paslanmaz çelik yapay kanal kullanıldı (Resim 1). Tüm eğelerde çalışma boyu 19 mm olarak belirlendi. Tüm eğeler üretici firma talimatlarına uygun olarak X Smart plus (VDW, Münih, Almanya) endodontik motoru ile 300 rpm ve 2 Ncm tork değerinde kırılıncaya kadar yapay kanallarda kullanıldı. Eğeler ile yapay kanal duvarları arasındaki sürtünmeyi en aza indirmek ve eğelerin yapay kanallarda serbestçe dönebilmesini sağlamak amacıyla sentetik yağ (WD-40 Company, Milton Keynes, İngiltere) kullanıldı. Kırılıncaya kadar geçen süre dijital kronometre ve deney düzeneği üzerinde konumlandırılan kamera (Sony HDR-XR260; Sony Corporation, Minato, Tokyo, Japonya) ile kayıt altına alındı. Daha sonra elde edilen süreler üzerinden eğelerin kırılıncaya kadar yaptığı tur sayısı: eğelerin dakikada yaptığı tur sayısı (rpm) x süre(sn)/60 formülü kullanılarak hesaplandı.



Resim 1.

İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler GraphPad Prism 5 (GraphPad Prism Software, San Diego, CA, USA) programı kullanılarak gerçekleştirildi. Shapiro-Wilk testi ile verilerin dağılımının normal olduğu saptandığı için, tüm deney grupları arasında eğelerin kırılıncaya kadar

yaptığı tur sayısının ve kırık parçaların uzunluklarının kıyaslaması One-way ANOVA testi ile analiz edildi. Gruplar arası ikili karşılaştırmalar ise Tukey testi ile yapıldı. Tüm analizlerde istatistiksel anlamlılık seviyesi %5 olarak belirlendi.

BULGULAR

Her grup için NiTi eğelerin kırılıncaya kadar yaptıkları tur sayılarının ortalamaları ve kırık parçalarının uzunlukları ve standart sapma değerleri Tablo 1'de görülmektedir. Elde ettiğimiz veriler doğrultusunda, Scope RS CM eğesinin NCF değerinin Scope RS Blue ve Scope RS Gold eğesinden istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek olduğu gözlemlendi ($p<0,05$). Gold ısıtma işlemi ile üretilen Scope RS Gold ve Blue-ısıtma işlemi ile üretilen Scope RS Blue eğeleri arasında döngüsel yorgunluk direnci açısından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Gruplar arasında kırık parçaların uzunlukları kıyaslandığında Scope RS CM, Scope RS Gold ve Scope RS Blue eğeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

Tablo 1. Test edilen eğelerin kırılana kadar yaptıkları tur sayıları ve ile kırık parçaların uzunluklarının ortalama ve standart sapma değerleri

Eğge Tipi	KKTS±SS	KPU ±SS
Scope CM (n=12)	2682 ^a ±797,4	8,67 ^a ±0,2
Scope Gold (n=12)	477,92 ^b ±137,1	8,50 ^a ±0,5
Scope Blue (n=12)	374,58 ^b ±64,61	8,83 ^a ±0,2

*Farklı harfler istatistiksel olarak farkı ifade etmektedir ($P<0,05$); KKTS: Eğelerin kırılıncaya kadar yaptıkları tur sayıları; KPU: Kırık parça uzunluğu.

TARTIŞMA

NiTi eğelerin üretiminde yeni alaşımların kullanılması ve tasarımlarında meydana gelen gelişmeler eğelerin döngüsel yorgunluk dirençlerini geliştirirse de, NiTi eğelerde meydana gelen kırıklar klinikte halen hekimlerin karşılaştığı en önemli problemlerinden biridir. NiTi eğelerin döngüsel yorgunluk dirençlerini inceleyen çalışmaların en büyük problemi, çalışmanın sonucuna etki edebilecek faktörlerin (metal alaşımı, eğelerin dizaynı ve çapı gibi) tam olarak standardize edilememesidir¹⁵. Bu nedenle çalışmamızda aynı üretim koşullarına, aynı dizayna ve aynı çapa sahip olup sadece uygulanan ısıtma işlemi protokolleri farklı olan eğeler kullanılmıştır.

NiTi eğelerin fiziksel özelliklerinin değerlendirildiği döngüsel yorgunluk çalışmalarında, çekilmiş insan dişleri klinik koşulları daha iyi yansıtırsa da sahip olduğu anatomik varyasyonlar nedeniyle standardizasyona olumsuz etki etmektedir²³. Döngüsel yorgunluk çalışmalarında yapay olarak hazırlanmış standart kanalların kullanılması, çalışmanın sonuçlarına etki

edebilecek diğer faktörleri en aza indirmek açısından daha yararlı olacaktır²⁴. Bu nedenle çalışmamızda paslanmaz çelikten yapılmış standart yapay kanallar kullanılmıştır²⁵.

Laboratuvar çalışmalarında döngüsel yorgunluk testleri statik ya da dinamik test düzeneklerinde yapılmaktadır. Dinamik model klinik koşulları daha iyi yansıtırsa da, birçok döngüsel yorgunluk çalışmasında statik model kullanılmıştır^{26,27}. Keleş ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada eğeler dinamik model kullanıldığında elde edilen tur sayılarının statik teste kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmelerine rağmen, test edilen eğelerin döngüsel yorgunluk dirençleri arasındaki sıralamanın hem statik hem de dinamik modelde benzer olarak gözlemlendiğini bildirmiştir²⁸. Literatürdeki bu bilgiler ışığında bu çalışmada da, statik döngüsel yorgunluk test metodu kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı Gold ısıtma işlemi, Blue ısıtma işlemi ve "Controlled Memory" teknolojileri ile üretilen Scope RS NiTi eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençlerinin karşılaştırılmasıdır. Çalışmamızın sıfır hipotezi; test edilen NiTi eğelerin döngüsel yorgunluk dirençleri arasında fark olmayacağıdır. Çalışmamızın sonuçlarına göre Scope RS CM eğesinin döngüsel yorgunluk direnci Scope Gold ve Scope Blue eğelerinden istatistiksel olarak anlamlı derece yüksek bulunmuştur. Bu nedenle çalışmamızın sıfır hipotezi reddedilmiştir.

Vasconcelos ve arkadaşları²⁹, Protaper Universal, Hyflex CM, TRUShape ve Vortex Blue eğelerinin döngüsel yorgunluk direncini karşılaştırdıkları çalışmalarında bizim çalışmamızla benzer şekilde oda ısısında Hyflex CM eğelerinin, Vortex Blue eğelerinden daha yüksek döngüsel yorgunluk direncine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre Scope RS Blue ve Scope RS Gold eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur. Bu sonuç, Özyürek ve arkadaşlarının¹⁶, Waveone Gold (WOG) ve Reciproc Blue eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençlerini benzer olduğunu bildirdikleri çalışmaları ile uyumludur.

Gündoğar ve Özyürek 2017 yılında OneShape, Hyflex EDM, Reciproc Blue ve Waveone Gold eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında Reciproc Blue eğelerinin döngüsel yorgunluk direncini Waveone Gold eğelerinden daha yüksek bulmuşlardır³⁰. Ancak bizim çalışmamızda Blue ve Gold eğeleri arasında fark bulunmamıştır. Literatürde, S-şeklinde çapraz kesite sahip eğelerin dikdörtgen kesite sahip eğelerden daha yüksek döngüsel yorgunluk direnci gösterdikleri bilinmektedir¹⁵. Bu nedenle bulgularımızdaki bu farklılığın bizim çalışmamızın aksine farklı çapraz kesite sahip olan eğelerinin kullanılmış olmasından kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz.

Konvansiyonel NiTi alaşımlar ağız ve oda sıcaklığında ostenit fazda bulunurken, CM alaşımlar oda sıcaklığında ostenit ve martensit fazların karışımı hâlinde bulunmaktadır²⁴. Martensit fazda bulunan eğerler, ostenit fazda üretilen eğerlere göre daha elastiktir ve CM alaşımında üretilen eğerler daha çok martensit faza sahiptir. Bu durum eğerlerin döngüsel yorgunluk direncine olumlu yönde etki etmektedir¹⁴. Çalışmamızın sonuçlarına göre Scope RS CM eğerinin döngüsel yorgunluk direncinin Scope RS Gold ve Scope RS Blue eğerlerinden daha yüksek olmasının nedeninin CM eğerlerin üretim teknolojilerinden farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Vasconcelos ve arkadaşları²⁹, Protaper Universal, Hyflex CM, TRUShape ve Vortex Blue eğerlerinin döngüsel yorgunluk direncini hem oda ısısında (20° C) hem de vücut sıcaklığında (37° C) karşılaştırmışlardır. Eğerlerin döngüsel yorgunluk direncinin 37° C de oda ısısından daha düşük olduğunu bildirmiştir. Eğerlerin döngüsel yorgunluk dirençlerinin bu nedenle klinik

koşulları daha iyi yansıtması nedeniyle ağız ortamını taklit eden deney düzenekleri ile yapılması gerektiği bildirilmiştir^{29,32}. Öte yandan Zhou ve arkadaşları, çalışma ortamının ısısı eğer Af derecesinin üzerinde ise eğerlerin ostenit fazda olacağı, yani sert ve kırılabilir bir yapıda olabileceğini bildirmiştir³³. Çalışmamızda kullandığımız eğerlerin Af dereceleri Scope RS CM için 58° C, Scope RS Blue için 36° C, Scope RS Gold için 22° C dir. Bu yüzden Af dereceleri dikkate alındığında, test edilen eğerlerin döngüsel yorgunluk dirençleri arasındaki sıralamanın değişmeyeceği görüşündeyiz; ancak ısıl işlem görmüş NiTi eğerlerin farklı sıcaklıklarda döngüsel yorgunluk direncini belirlemek için daha fazla sayıda çalışmaya gerek vardır.

SONUÇ

Çalışmamızın sınırları dâhilinde, Scope RS CM NiTi eğerinin döngüsel yorgunluk direncinin Scope RS Blue ve Scope RS Gold NiTi eğerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Bird DC, Chambers D, Peters OA. Usage parameters of nickel-titanium rotary instruments: a survey of endodontists in the United States. *J Endod* 2009;35:1193-1197.
2. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 2000;26:161-165.
3. 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.
4. Young JM, Van Vliet KJ. Predicting in vivo failure of pseudoelastic NiTi devices under low cycle, high amplitude fatigue. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2005;72:17-26.
5. Perez-Higueras JJ, Arias A, de la Macorra JC. Cyclic fatigue resistance of K3, K3XF, and twisted file nickel-titanium files under continuous rotation or reciprocating motion. *J Endod* 2013;39:1585-1588.
6. Topçuoğlu HS, Düzgün S, Aktı A, Topçuoğlu G. Laboratory comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc and WaveOne files in canals with a double curvature. *Int Endod J* 2017;50:713-717.
7. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys - a review. *Int Endod J* 2018;51:1088-1103.
8. Hieawy A, Haapasalo M, Zhou H, et al. Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. *J Endod* 2015;41:1134-1138.
9. Silva EJ, Muniz BL, Pires F, et al. Comparison of canal transportation in simulated curved canals prepared with ProTaper Universal and ProTaper Gold systems. *Restor Dent Endod* 2016;41:1-5.
10. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod* 2013; 39:163-172.
11. Gao Y, Gutmann JL, Wilkinson K, Maxwell R, Ammon D. Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments. *J Endod* 2012;38:398-401.
12. Kaval ME, Capar ID, Ertas H. Evaluation of the cyclic fatigue and torsional resistance of novel nickel-titanium rotary files with various alloy properties. *J Endod* 2017; 42:1840-1843.
13. Gambarini G, Grande NM, Plotino G, et al. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *J Endod* 2008; 34:1003-1005.
14. <https://scopeendo.com.tr/wp-content/uploads/2020/06/Kullanım-Kılavuzu-RS.pdf>
15. Cheung G, Zhang E, Zheng Y. A numerical method for predicting the bending fatigue life of NiTi and stainless steel root canal instruments. *Int Endod J* 2011; 44:357-361.
16. Özyürek T, Gündoğar M, Yılmaz K, Uslu G. Bending resistance and cyclic fatigue life of

- Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Genius files in a double (S-shaped) curved canal. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2017;11: 241–246.
17. Serafin M, De Biasi M, Franco V, Angerame D. In vitro comparison of cyclic fatigue resistance of two rotary single-file endodontic systems: OneCurve versus OneShape. *Odontology* 2019; 107:196-201.
 18. Pérez-Higueras JJ, Arias A, de la Macorra JC. Cyclic fatigue resistance of K3, K3XF, and twisted file nickel-titanium files under continuous rotation or reciprocating motion. *J Endod* 2013; 39: 1585-1588.
 19. Shen Y, Zhou HM, Wang Z, Campbell L, Zheng YF, Haapasalo M. Phase transformation behavior and mechanical properties of thermomechanically treated K3XF nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2013;39:919-923.
 20. Shen Y, Riyahi AM, Campbell L, et al. Effect of a combination of torsional and cyclic fatigue preloading on the fracture behavior of K3 and K3XF instruments. *J Endod.* 2015;41:526-530.
 21. Serefoglu B, Kaval ME, Micoogullari Kurt S, Çalışkan MK. Cyclic fatigue resistance of novel glide path instruments with different alloy properties and kinematics. *J Endod* 2018;44:1422-1424.
 22. Özyürek T, Gündoğar M, Uslu G, et al. Cyclic fatigue resistances of Hyflex EDM, WaveOne gold, Reciproc blue and 2shape NiTi rotary files in different artificial canals. *Odontology* 2018;106:408-413.
 23. Yao JH, Schwartz SA, Beeson TJ. Cyclic fatigue of three types of rotary nickel-titanium files in a dynamic model. *J Endod* 2006; 32:55-57.
 24. Yared, GM, Bou Dagher FE, Machtou P. Cyclic fatigue of Profile rotary instruments after simulated clinical use. *Int Endod J* 1999;32: 115–119.
 25. Larsen CM, Watanabe I, Glickman GN, He J. Cyclic fatigue analysis of a new generation of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2009; 35:401-403.
 26. Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J* 2006;39:755–763.
 27. Ertuğrul İF, Orhan EO. Cyclic fatigue and energy-dispersive X-ray spectroscopy examination of the novel ROTATE instrument. *Micros Res Tech* 2019;82:2042-2048.
 28. Keleş A, Eymirli A, Uyanık O, Nagas E. Influence of static and dynamic cyclic fatigue tests on the lifespan of four reciprocating systems at different temperatures. *Int Endod J* 2019;52: 880–886.
 29. de Vasconcelos RA, Murphy S, Carvalho CA, 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.
 30. 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.
 31. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, et al. Metallurgical characterization of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2011;37:1566-1571.
 32. Yılmaz, K, Uslu G, Gündoğar M, Özyürek T, Grande NM, Plotino G. Cyclic fatigue resistances of several nickel–titanium glide path rotary and reciprocating instruments at body temperature. *Int Endod J* 2018; 51: 924–930
 33. Zhou H, Peng B, Zheng YF. An overview of the mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments. *Endod Topics* 2013; 29: 42–54.