

HyFlex EDM, RC Gold ve G-Star Nikel Titanyum Eğelerinin Döngüsel Yorgunluğa Karşı Dirençlerinin Karşılaştırılması

Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of HyFlex EDM, RC Gold and G-Star Nickel Titanium Files

 Mustafa GÜNDOĞAR^a

^aMedipol Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, İstanbul, TÜRKİYE

ÖZET Amaç: Statik model altında HyFlex EDM, RC Gold ve G-Star nikel titanyum eğelerinin döngüsel yorgunluğa karşı dirençlerinin karşılaştırılmasıdır. **Gereç ve Yöntemler:** Yirmi G-Star (25/.06), 20 RC Gold File (25/.08) ve 20 HyFlex EDM (25/.08) çalışmaya dâhil edildi. Eğeler üretici firma talimatlarına uygun olarak 5 mm kurvatür yarı çapına, 60° kanal kurvatür açısına ve 1,5 mm kanal iç çapına sahip paslanmaz çelikten yapılmış yapay kanallarda kırılıncaya kadar kullanıldı. Eğeler kırılıncaya kadar geçen süre dijital kronometre ile kaydedildi ve eğelerin kırılıncaya kadar yaptığı tur sayısı hesaplandı. Elde edilen veriler Kruskal-Wallis testi ile istatistiksel olarak değerlendirildi. **Bulgular:** Eğelerin kırılıncaya kadar yaptığı ortalama tur sayılarının yüksekten düşüğe sıralaması sırayla HyFlex EDM, RC Gold ve G-Star olarak bulundu. Bütün gruplar arasında istatistiksel olarak fark mevcuttu ($p<0,05$). **Sonuç:** Çalışmamız sınırları dâhilinde HEDM eğesinin döngüsel yorgunluğa karşı direnci, RC Gold File ve G-Star eğesinden daha yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Endodonti; titanyum nikelid

ABSTRACT Objective: To compare the cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM, RC Gold and G-Star nickel titanium files under static model. **Material and Methods:** Twenty G-Star (25/.06), 20 RC Gold File (25/.08) and 20 HyFlex EDM (25/.08) nickel titanium files were included in the present study. According to the manufacturer instruction files were rotated in an artificial stainless steel with 5 mm radius, 60° angle of curvature and 1.5 mm inner diameter. The time to failure of files was recorded with a digital chronometers and the number of cycles to failure of files were calculated. Kruskal-Wallis test was performed for statistically analyze. **Results:** The mean number of cycles to failure of files highest to lowest was HyFlex EDM, RC Gold and G-Star respectively. A statistically significant difference was noted between all the groups ($p<0.05$). **Conclusion:** Within the limitation of the present study the cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM nickel titanium files was greater than the RC Gold and G-Star nickel titanium files.

Keywords: Endodontics; titanium nickellide

Walia ve ark. tarafından geliştirilen nikel-titanyum (NiTi) kök kanal eğeleri, günümüzde kök kanal tedavisinde sıklıkla kullanılır hâle gelmiştir.¹ Özellikle gelişen teknoloji ile birçok yeni NiTi döner alet piyasaya sürülmüştür. NiTi aletler; kök kanalı şeklinin orijinal hâlini koruma, basamak, zipping oluşumu ve perforasyon riskini azaltma gibi birçok avantaj sunmaktadır. NiTi döner aletlerin özellikle kurvatürlü kök kanalları içerisinde beklenmedik şekilde kırılmaları ise en büyük dezavantajlarındandır.^{2,3} NiTi döner eğelerin kırılmaları torsiyonel ya da döngüsel

olmak üzere iki mekanizma ile meydana gelmektedir.⁴ NiTi döner eğelerin kırılmasını engellemek için birçok yöntem denenmekte ve geliştirilmektedir. Üretici firmalar eğelerin üretiminde değişik alaşımlar kullanarak, eğelerin dizayn özelliklerini (Yatay kesit, pitch length gibi) değiştirerek ve eğelere değişik ısıl işlemler uygulayarak eğelerin kırılmaya karşı direncini artırmaya çalışmaktadır.⁵

HyFlex EDM (HEDM; Coltene/Whaledent, Altstätten, İsviçre) döner ege sistemi devamlı rotasyon hareketine sahip yeni nesil tek ege sistemidir. HyFlex

Correspondence: Mustafa GÜNDOĞAR

Medipol Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD, İstanbul, TÜRKİYE/TURKEY

E-mail: mustafagundogar@msn.com



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences.

Received: 28.12.2018

Received in revised form: 05.04.2019

Accepted: 12.04.2019

Available online: 17.04.2019

2146-8966 / Copyright © 2020 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

EDM eğeleri ısıl işlemlerle rejenerasyon teknolojisini kullanarak “controlled memory” aşımından üretilmiştir. Bu sayede mekanik özelliklerinin oldukça geliştirildiği belirtilmiştir.⁶ HyFlex EDM (25/,08) eğeleri apikal 4 mm’lik kısımda sabit %8 taper gösterirken, koronal kısma doğru %4 taper değerine kadar düşüş gösterir. Eğenin tüm çalışma boyutunca üç farklı yatay kesiti mevcuttur. Apikal kısımda kare, orta kısımda yamuk ve koronal kısımda ise neredeyse üçgene yakın bir kesit göstermektedir.⁷ G-Star döner ege sistemi (Golden Star Medical, Shenzhen, Çin) de devamlı rotasyon hareketine sahip, ISO #20-25-30-35-40-45 apikal çaplarında 6 adet rotary eğelerinden oluşan bir sistemdir. Konvansiyonel NiTi aşımından üretilmiş olup, %4 veya %6 sabit taper yapısına sahiptir.⁸ RC Gold File (Perfect Medical Instruments, Shenzhen, Çin) resiprokal tek ege sistemi iki kesici kenarlı S şeklinde bir kesite sahip olup, M-Wire aşımından üretilmiştir. R25, R40, R50 olmak üzere üç eğeye ve sırasıyla %8, %6 ve %5 tapera sahiptir. Bu çalışma haricinde, RC Gold NiTi eğesinin döngüsel yorgunluğa karşı direncini inceleyen herhangi bir çalışma bulunmamıştır.

Bu çalışmada, değişik metalürji ve kinematiklere sahip 3 farklı NiTi ege sisteminin döngüsel yorgunluğa karşı direncinin incelenmesidir.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada, 20 G-Star, 20 RC Gold File ve 20 HyFlex EDM olmak üzere 60 adet döner sistem NiTi ege kullanıldı. Eğeler çalışmaya dâhil edilmeden önce deformasyon ve üretim hatası açısından stereo mikroskop (Imaging Systems, Leica Ltd., Cambridge, İngiltere) altında incelendi. Döngüsel yorgunluk testi için paslanmaz çelikten yapılmış yapay kanallar kullanıldı. Bu yapay kanallar 5 mm kurvatür yarı çapına, 60° kanal kurvatür açısına ve 1,5 mm kanal iç çapına sahip idi.⁹ Ayrıca, yapay kanalların 5 mm koronaline kanalların sahip olduğu kurvatürün merkezi konumlandı. Eğelerin paslanmaz çelikten yapılmış yapay kanallarda rahatça dönebilmesini sağlamak amacıyla sentetik yağ (WD-40 Company, Milton Keynes, İngiltere) kullanıldı. Eğelerin kırılmasını rahat gözlemlemek için paslanmaz çelik bloğun üstü cam ile kapatıldı.

Eğeler 3 deney grubuna ayrıldı ve aşağıdaki işlemler uygulandı:

GRUP 1: RC GOLD FİLE (25/,08)

Bu gruptaki eğeler döngüsel yorgunluk test cihazına monte edilmiş VDW Gold (VDW, Munich, Almanya) endodontik motor ile Reciproc ALL programında kırılana kadar kullanıldı.

GRUP 2: G-STAR (25/,06)

Bu gruptaki eğeler döngüsel yorgunluk test cihazına monte edilmiş VDW Gold (VDW) endodontik motor ile 300 rpm ve 2 g/cm tork değerinde kırılana kadar kullanıldı.

GRUP 3: HYFLEX EDM (25/,08)

Bu gruptaki eğeler döngüsel yorgunluk test cihazına monte edilmiş VDW Gold (VDW) endodontik motor ile 500 rpm ve 2,5 g/cm tork değerinde kırılana kadar kullanıldı.

Tüm gruplarda dijital kronometre ile eğeler kırılıncaya kadar geçen süre kaydedildi. Kırılma meydana geldiğinde cihaz otomatik olarak durdu ve kırılıncaya kadar olan tur sayısı dönme hızının (rpm) kırılma süresi (dk) çarpımı ile hesaplandı. Kırılan parçaların uzunlukları dijital bir kompas ile ölçüldü. Her gruptan 2 eğenin kırık yüzey görüntüsü, eğelerin döngüsel yorgunluğa bağlı olarak kırıldığını doğrulamak amacıyla taramalı elektron mikroskobu [scanning electron microscope (SEM)] (JEOL, JSM-7001F, Tokyo, Japonya) altında incelendi.

İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Shapiro-Wilk testi ile verilerin normal dağılmadığı saptandı. Herhangi bir ek analiz yapılmadan, veriler istatistiksel olarak Kruskal-Wallis testi kullanılarak analiz edildi. Bütün istatistiksel analizler SPSS 21.0 (IBM-SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) programı kullanılarak yapıldı. Sonuçların istatistiksel önem seviyesi %5 olarak ayarlandı.

BULGULAR

Eğelerin paslanmaz çelik yapay kanallarda kırılıncaya kadar yaptıkları tur sayılarının ortalama ve standart sapmaları **Tablo 1**’de görülmektedir. Döngüsel yorgunluğa karşı en fazla direnci, istatistiksel olarak HEDM eğesi (3145,15±326,92) gösterdi (p<0,05). G-STAR (1436,34±155,75) eğesi de döngüsel yorgunluğa karşı istatistiksel olarak en az direnç gösterdiği

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

	KKTS	KPU
RC GOLD	2015,43±156,34	5,73±0,54
HEDM	3145,15±326,92	5,77±0,52
G-STAR	1436,34±155,75	5,72±0,53
P değeri	< 0,05	> 0,05

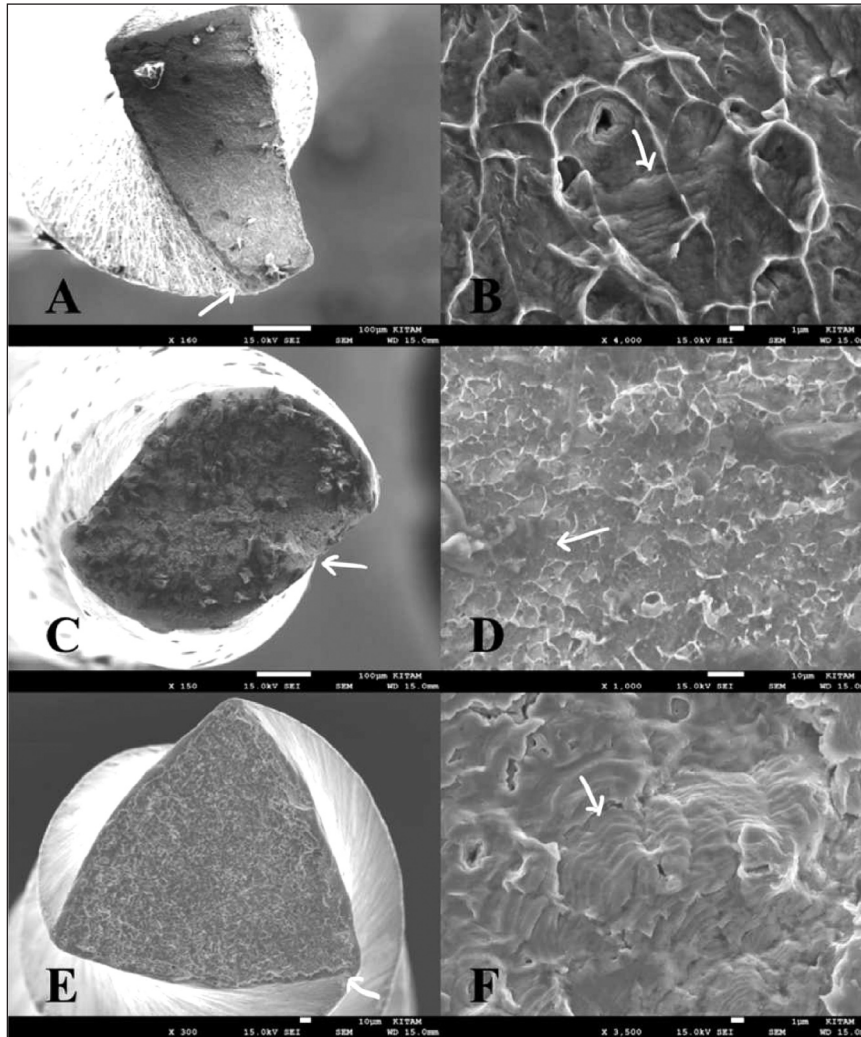
*Farklı harfler istatistiksel olarak farkı ifade etmektedir (P<0,05); KKTS: Eğelerin kırılıncaya kadar yaptıkları tur sayıları; KPU: Kırık parça uzunluğu.

bulundu ($p<0,05$). Ölçümleri yapılan kırık ege parçaları karşılaştırıldığında aralarındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı bulunmadığı tespit edildi ($p>0,05$).

Eğelerin kırık yüzeylerinden SEM ile alınan fotoğraflar incelendiğinde, grupların hepsinde yorgunluğa bağlı kırılmalarda oluşan yorgunluk çizgileri gözlemlendi (Resim 1a-f). Bu bulgu, deneyin doğru bir şekilde yapıldığını ve eğelerin döngüsel yorgunluğa bağlı olarak kırıldığını göstermektedir.

TARTIŞMA

NiTi döner alet sistemleriyle kök kanalı şekillendirilmesi sırasında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri, eğelerin işlem sırasında kırılıp kök kanal tedavisinin başarısını olumsuz etkilemesidir.¹⁰ Klinik kullanımları sırasında eğelerin yüksek oranda döngüsel



RESİM 1: HyFlex EDM, RC Gold ve G-Star eğelerinin döngüsel yorgunluk testi sonrası kırık yüzeylerinin taramalı elektron mikroskop görüntüleri. Eğelerin kırık başlangıç noktalarının genel görüntüleri (A: HyFlex EDM; C: RC Gold; E: G-Star) (Beyaz oklar). Yüksek büyütme altında döngüsel yorgunluğa ait yorgunluk çizgileri (B: HyFlex EDM; D: RC Gold; F: G-Star) (Beyaz oklar).

yorgunluk nedeni ile kırıldığı bildirilmiştir.¹¹ Bu nedenden dolayı, NiTi döner eğelerin döngüsel yorgunluğa karşı direncini araştıran birçok çalışma yapılmıştır.^{9,12} Üretici firmalar eğelerin dizaynında, metalurjisinde ve kinematığında yaptıkları değişiklikler ve eğelere uyguladıkları çeşitli ısı işlemleri ile eğelerin döngüsel yorgunluğa karşı dirençlerini artırmayı hedeflemektedirler.^{13,14} Bu çalışmadan önce, RC Gold File NiTi eğelerinin döngüsel yorgunluğa karşı direncini inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenden dolayı, çalışmamızda; RC Gold File, HEDM, G-Star NiTi döner ege sistemlerinin döngüsel yorgunluğa karşı dirençlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmamız sonuçlarına göre, HEDM ege sistemi döngüsel yorgunluğa karşı diğer ege sistemlerinden istatistiksel olarak daha yüksek direnç göstermiştir. Bu çalışmada, kırılan ege parçalarının uzunlukları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu sonuç, test edilen NiTi eğelerin kanal eğriliği içinde doğru şekilde konumlandığını ve benzer gerilimlerin indüklendiğini göstermiştir. Ayrıca, eğelerin SEM görüntülerinin incelenmesinde, eğelerin kırık yüzeylerinin döngüsel yorgunluğa bağlı olarak kırıldığı belirlenmiştir. Bu sonuç, yapılan çalışmaların sonuçları ile uyumludur.^{12,13}

Çalışmamızın sonuçlarına göre, HEDM egesi döngüsel yorgunluğa karşı en yüksek direnci göstermiştir. Benzer şekilde, Gündoğar ve Özyürek, HEDM eğelerinin döngüsel yorgunluğa karşı direncinin OneShape (Micro Mega, Besancon, Fransa), WaveOne Gold (Dentsply Sirona, Ballaigues, İsviçre) ve Reciproc Blue (VDW) eğelerinden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.¹² Başka bir çalışmada, Pirani ve ark., HEDM eğelerinin döngüsel yorgunluğa karşı direncinin HyFlex CM (HCM; Coltene/Whaledent) eğelerinden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.¹⁵ Benzer şekilde, Kaval ve ark., HEDM eğelerinin döngüsel yorgunluk direncinin ProTaper Universal (PTU; Dentsply Sirona) ve ProTaper Gold (Dentsply Sirona) eğelerinin döngüsel yorgunluk direncinden daha yüksek olduğunu göstermişlerdir.¹⁶ HEDM eğelerinin yüksek döngüsel yorgunluk direnci göstermesinin nedeni, üretimi sırasında uygulanan elektrik boşaltım işlemi olabilir. NiTi eğelerinin üretildiği alaşım dışında, yatay kesit tipi, alanı ve egeğin kullanım hızı da NiTi eğelerin

döngüsel yorgunluk direncini etkileyebilir. Bu çalışmanın sonuçlarına rağmen, sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak yapılan bir çalışmada, üçgen şeklinde kesite sahip NiTi eğelerin, kare şeklinde kesite sahip NiTi eğelerinden daha iyi döngüsel yorgunluk direnci gösterdiği bildirilmiştir.¹⁷ Daha önce yapılan çalışmalarda, resiprokasyon hareketinin, rotary hareketine göre NiTi eğelerin döngüsel yorgunluk direncini artırdığı belirtilmiştir.¹⁸⁻²⁰ Fakat bu çalışmanın sonuçlarıyla benzer olarak, Pedullà ve ark., HEDM eğelerinin döngüsel yorgunluk direncinin resiprokasyon hareketi yapan Reciproc ve WaveOne (Dentsply Sirona) eğelerinin döngüsel yorgunluk direncinden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.²¹ Bu sonucun nedeninin, üretim aşamasında kullanılan alaşımlardan ve uygulanan ısı işlemlerindeki farklılıklardan kaynaklandığına inanılmaktadır.

Literatürde, RC Gold File eğelerinin döngüsel yorgunluğa karşı direncini inceleyen herhangi bir çalışma bulunmadığından, çalışmamız sonuçları diğer araştırmaların sonuçlarıyla direkt olarak karşılaştırılmamaktadır. Çalışmamız sonuçlarına göre, RC Gold egesi döngüsel yorgunluğa karşı G-Star egesinden daha yüksek direnç göstermiştir. Özyürek ve Özerol, Revo-S ve G-Star NiTi eğelerinin döngüsel yorgunluk direncini karşılaştırdıkları çalışmalarında, iki ege arasında anlamlı bir fark bulunmadığını bildirmişlerdir.⁸ Bu sonucu, her iki egeğin kesitinin aynı ve üretildiği alaşımın konvansiyonel NiTi olmasına bağlamışlardır. Yapılan bir çalışmada, M-Wire alaşımından yapılan eğelerin nano-kristal martensitik mikro yapıları sebebiyle konvansiyonel NiTi eğelere göre daha dayanıklı olduğu bildirilmiştir.²² Çalışmamızda kullanılan RC Gold egesinin döngüsel yorgunluğa karşı direncinin, G-Star egesine göre anlamlı derecede yüksek bulunması, hem üretim aşamasında kullanılan M-Wire alaşımına hem de resiprokasyon hareketiyle kullanımına bağlı olabilir.

Önceki çalışmalarda, farklı NiTi eğelerin döngüsel yorgunluk direncini karşılaştırmak için paslanmaz çelik yapay kanallar kullanılmıştır.^{9,12} Standartlaştırılmış paslanmaz çelik yapay kanal klinik koşulları sağlayamasa da döngüsel yorgunluk dışındaki diğer ege kırılma değişkenlerinin etkisini en aza indirir.^{23,24} Bu nedenle, bu çalışmada, döngüsel

yorulma testini standardize etmek için standart bir yapay kanal kullanılmıştır.

SONUÇ

Çalışmamız sınırları dâhilinde, HEDM eğesinin döngüsel yorgunluğa karşı direnci, RC Gold File ve G-Star eğesinden daha yüksek bulunmuştur.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğru-

dan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

KAYNAKLAR

1. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod.* 1988;14(7):346-51. [Crossref]
2. Cheung GS. Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. *Endod Top.* 2007;16(1):1-26. [Crossref]
3. McGuigan MB, Louca C, Duncan HF. Endodontic instrument fracture: causes and prevention. *Br Dent J.* 2013;214(7):341-8. [Crossref] [PubMed]
4. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod.* 2000;26(3):161-5. [Crossref]
5. Peters OA, Gluskin AK, Weiss RA, Han JT. An in vitro assessment of the physical properties of novel Hyflex nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J.* 2012;45(11):1027-34. [Crossref] [PubMed]
6. Özyürek T, Yılmaz K, Uslu G. Shaping ability of Reciproc, WaveOne GOLD, and HyFlex EDM single-file systems in simulated S-shaped canals. *J Endod.* 2017;43(5):805-9. [Crossref] [PubMed]
7. Pedullà E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande NM, La Rosa G, et al. Torsional and cyclic fatigue resistance of a new nickel-titanium instrument manufactured by electrical discharge machining. *J Endod.* 2016;42(1):156-9. [Crossref] [PubMed]
8. Özyürek T, Özerol NB. Comparison of cyclic fatigue resistance of Revo-S and G-Star NiTi Files. *J Appl Dent Med Sci.* 2016;15(12):112-4.
9. Özyürek T. Cyclic fatigue resistance of Reciproc, WaveOne, and WaveOne Gold nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2016;42(10):1536-9. [Crossref] [PubMed]
10. Shahabinejad H, Ghassemi A, Pishbin L, Shahrahan A. Success of ultrasonic technique in removing fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals and its effect on the required force for root fracture. *J Endod.* 2013;39(6):824-8. [Crossref] [PubMed]
11. Cheung GS, Peng B, Bian Z, Shen Y, Darvell BW. Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: fractographic examination. *Int Endod J.* 2005;38(11):802-9. [Crossref] [PubMed]
12. Gundogar M, Ozyurek T. Cyclic fatigue resistance of OneShape, HyFlex EDM, Wave One gold, and Reciproc blue nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2017;43(7):1192-6. [Crossref] [PubMed]
13. 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.* 2016;50(2):143-52. [Crossref] [PubMed]
14. 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(2):163-72. [Crossref] [PubMed]
15. Pirani C, Iacono F, Generali L, Sassatelli P, Nucci C, Lusvardi L, et al. HyFlex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2015;49(5):483-93. [Crossref] [PubMed]
16. 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.* 2016;42(12):1840-3. [Crossref] [PubMed]
17. Cheung GS, Zhang EW, Zheng YF. A numerical method for predicting the bending fatigue life of NiTi and stainless steel root canal instruments. *Int Endod J.* 2011;44(4):357-61. [Crossref] [PubMed]
18. De-Deus G, Moreira EJ, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. *Int Endod J.* 2010;43(12):1063-8. [Crossref] [PubMed]
19. Varela-Patiño P, Ibañez-Párraga A, Rivas-Mundiña B, Cantatore G, Otero XL, Martín-Biedma B. Alternating versus continuous rotation: a comparative study of the effect on instrument life. *J Endod.* 2010;36(1):157-9. [Crossref] [PubMed]
20. Karataş E, Arslan H, Büker M, Seçkin F, Çapar ID. Effect of movement kinematics on the cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments. *Int Endod J.* 2016;49(4):361-4. [Crossref] [PubMed]
21. Pedullà E, Grande NM, Plotino G, Gambarini G, Rapisarda E. Influence of continuous or reciprocating motion on cyclic fatigue resistance of 4 different nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2013;39(2):258-61. [Crossref] [PubMed]
22. Ye J, Gao Y. Metallurgical characterization of M-Wire nickel titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue. *J Endod.* 2012;38(1):105-7. [Crossref] [PubMed]
23. Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Aktı A. Comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of D-Race and ProTaper retreatment instruments in artificial curved canals. *Int Endod J.* 2015;49(6):604-9. [Crossref] [PubMed]
24. Vadhana S, SaravanaKarthikeyan B, Nandini S, Velmurugan N. Cyclic fatigue resistance of RaCe and Mtwo rotary files in continuous rotation and reciprocating motion. *J Endod.* 2014;40(7):995-9. [Crossref] [PubMed]