

ARAŞTIRMA

Resiprokal Hareket İle Kullanılan Isıl İşlem Görmüş Tek Eğe Nikel Titanyum Sistemlerin Vücut Sıcaklığında Döngüsel Yorgunluk Dirençlerinin Karşılaştırılması

Gözde Baş(0000-0002-1721-1838)^α, Elçin Yüzgüleç(0000-0003-3286-069X)^α, Cangül Keskin(0000-0001-8990-4847)^α
Uğur İnan(0000-0001-8899-2152)^α, Ali Keleş(0000-0002-6834-4307)^α

Selcuk Dent J, 2021; 8: 658-664 (Doi: 10.15311/selcukdentj.760048)

Başvuru Tarihi: 29 Haziran 2020
Yayına Kabul Tarihi: 16 Aralık 2020

ÖZ

Resiprokal Hareket İle Kullanılan Isıl İşlem Görmüş Tek Eğe Nikel Titanyum Sistemlerin Vücut Sıcaklığında Döngüsel Yorgunluk Dirençlerinin Karşılaştırılması

Amaç: Bu çalışmanın amacı WaveOne Gold, Reciproc Blue ve North Profa RC Blue nikel titanyum (NiTi) tek eğe döner sistemlerin vücut sıcaklığında döngüsel yorgunluğa bağlı kırılma dirençlerinin ve faz değişim derecelerinin karşılaştırılmasıdır.

Gereç ve Yöntemler: Bu çalışmada 12 WaveOne Gold, 12 Reciproc Blue ve 12 North Profa RC Blue döner eğe sistem NiTi eğeleri kullanıldı. Tüm eğeler, 60°'lik kurvatür açısına, 5 mm kurvatür yarıçapına ve 1.4 mm kanal iç çapına sahip seramik yapay kanal içeren statik döngüsel yorgunluk deney düzeneğinde 37°C'de kırılıncaya kadar kullanıldı. Eğelerin kırılma zamanı dijital kronometre ile kaydedildi ve kırılıncaya kadarki tur sayıları hesaplandı. Normal dağılım göstermediği saptanan veriler Kruskal-Wallis H testi ile analiz edildi. Tahmini sağlam kalma oranının belirlenmesi için Weibull analizi yapıldı.

Bulgular: North Profa RC Blue grubu ile Reciproc Blue grubu arasında ve Reciproc Blue grubu ile WaveOne Gold grubu arasında döngüsel yorgunluk direnci bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmedi ($p>0.05$). North Profa RC Blue eğelerin döngüsel yorgunluk direnci WaveOne Gold eğelerden istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0.05$). Kırık yüzeylerden alınan SEM görüntüleri incelenerek aletlerin döngüsel yorgunluk sonucunda kırıldığı doğrulandı.

Sonuç: Bu çalışmada, North Profa RC Blue ve Reciproc Blue eğelerin döngüsel yorgunluk dirençleri arasında fark bulunmazken, WaveOne Gold eğelerin döngüsel yorgunluk direnci North Profa RC Blue eğelerden daha düşük bulundu.

ANAHTAR KELİMELER

North Profa, Reciproc Blue, Seramik kanal, Taramalı elektron mikroskopu, WaveOne Gold

ABSTRACT

Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of Thermal Treated Nickel Titanium Single File Systems Used with Reciprocating Motion at Body Temperature

Background: The aim of this study was to compare the phase transformation temperatures and cyclic fatigue resistances of WaveOne Gold, Reciproc Blue and North Profa RC Blue nickel titanium (NiTi) instruments at body temperature.

Methods: In this study 12 WaveOne Gold, 12 Reciproc Blue and 12 North Profa RC Blue rotary system NiTi files were used. All instruments were used in a static cyclic fatigue testing device, which has an artificial ceramic canal with a radius of curvature of 5 mm, an angle of curvature of 60° and a 1,4 mm inner diameter at 37°C until the fracture occurred. The time to failure of the files was recorded using a digital chronometer and the number of cycles to failure of files were calculated. Non-normally distributed data were analyzed by Kruskal-Wallis H test. Weibull analysis was performed to determine the estimated survival rate.

Results: There was no statistically significant difference between the North Profa RC Blue group and the Reciproc Blue group, and between the Reciproc Blue group and the WaveOne Gold group in terms of cyclic fatigue resistance ($p>0.05$). Cyclic fatigue resistance of North Profa RC Blue group was statistically higher than WaveOne Gold group ($p<0.05$). SEM images taken from fractured surfaces confirmed that the instrument fracture occurred as the result of cyclic fatigue.

Conclusion: In this study, no difference was found between the cyclic fatigue resistances of North Profa RC Blue and Reciproc Blue instruments, while the cyclic fatigue resistance of the WaveOne Gold instruments was found to be lower than the North Profa RC Blue.

KEYWORDS

Ceramic canal, North Profa, Reciproc Blue, Scanning electron microscope, WaveOne Gold

Nikel titanyum (NiTi) döner aletler günümüzde kök kanal şekillendirmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. NiTi döner aletlerin geleneksel el aletleri ile kıyaslandığında ortaya çıkan pek çok avantajına rağmen, klinik kullanım sırasında herhangi bir deformasyon belirtisi göstermeksizin aniden kırılabilimleri hekimler için büyük bir endişe kaynağıdır.¹ Kırılma, döngüsel yorgunluk veya torsiyonel stres kaynaklı iki farklı mekanizma üzerinden veya bunların kombinasyonu sebebiyle

meydana gelmektedir.² Torsiyonel stres kaynaklı kırılma, aletin ucu veya başka bir kısmı kanal içerisine saplanırken, gövdesinin dönmeye devam etmesi durumunda NiTi aletin elastik sınırının aşılmasıyla meydana gelir. Döngüsel yorgunluğa bağlı kırılma ise özellikle kurvatürlü kanalların preparasyonu sırasında aletin, eğimin en şiddetli olduğu noktada tekrarlayan sıkışma ve gerilme kuvvetlerine maruz kalması sonucunda oluşur.³ Döner sistem NiTi eğelerin klinik başarısızlıkları temel olarak döngüsel yorgunluktan

^α Ondokuz Mayıs Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Endodonti AD. Samsun, Türkiye

kaynaklanmaktadır.⁴⁻⁵

Endodontik aletlerin mekanik özelliklerini geliştirmek ve döngüsel yorgunluk direncini arttırmak için farklı kesit tasarımlarına sahip aletler üretilmiş, farklı alaşımlar kullanılmış ve aletlere termomekanik işlemler uygulanmıştır. Isıl işlemler kullanılarak üretilen eğelerin geleneksel NiTi eğelerden daha yüksek kırılma direnci gösterdikleri belirtilmiştir.⁶⁻⁷ Bunun dışında, aletlerin kinematiği de döngüsel yorgunluk direncini etkilemektedir. Yared[®], bir kök kanalının resiprokal hareket ile kullanılan tek bir eğe ile başarılı bir şekilde şekillendirilebileceğini bildirmiştir. Resiprokal hareketin, alet üzerindeki baskı ve gerilme stresini azalttığı, böylece sürekli dönme hareketi ile karşılaştırıldığında daha fazla döngüsel yorgunluk direnci sağladığı gösterilmiştir.⁹⁻¹¹

WaveOne Gold (Dentsply Sirona, Ballaigues, İsviçre) ve Reciproc Blue (VDW, Münih, Almanya) resiprokal hareket ile kullanılan tek kullanımlık yeni nesil tek ege sistemleridir. WaveOne Gold, aynı hareket ile kullanılan WaveOne'dan farklı olarak "Gold Wire" adı verilen yeni bir ısıl işlem prosedürü ile üretilmiştir.¹² Bu aletlerin fabrikasyon sonrası ısıl işlem kullanılarak üretilmesi sayesinde, martensit ve östenit arasında yeni bir faz geçiş noktası belirlenir ve gelişmiş mekanik özelliklere sahip, altın rengi görünümünde bir ege üretilmiş olur.¹³ WaveOne Gold, iki kesici kenarı bulunan paralelkenar şeklinde bir kesit tasarımına sahiptir.¹⁴

Reciproc Blue, Reciproc eğelerin yeni bir termomekanik işlem uygulanarak modifiye edilmesiyle üretilmiştir. Kesici olmayan uca sahip olan Reciproc Blue eğenin 2 kesici kenarı ve S şeklinde bir kesit tasarımı vardır. Aynı zamanda alete rengini de veren tescilli ısıl işlem, aletin esnekliğini ve döngüsel yorgunluk direncini artırmaktadır.¹⁵ Piyasaya yeni sürülen North Profa RC Blue ege sistemi (Shenzhen Profa Medical Instruments, Shenzhen, Çin) üretim sonrasında eğenin çalışan kısmının mavi renk almasına sebep olan bir ısıl işlem görerek üretilmiştir. Sistem, kanal genişliğine göre tercih edilen 25, 40 ve 50 numaralara sahip tek ege sistemidir. Kesit tasarımı Reciproc Blue'ya benzer şekilde S şeklindedir ve sistemin 25 numaralı egesi 0.08 taper açısına sahiptir. Üretici firma, resiprokal hareketle kullanılan bu aletlerin daha üstün döngüsel yorgunluk direnci gösterdiğini bildirmektedir.¹⁶

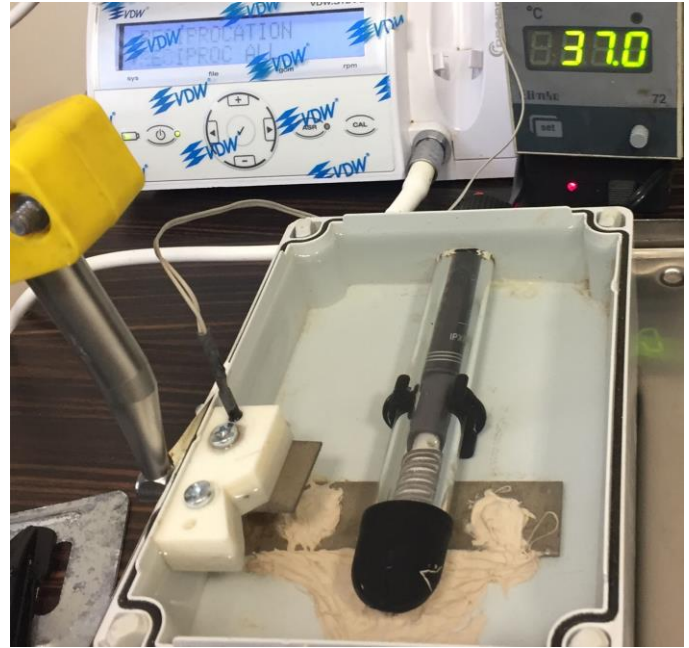
Bu çalışmanın amacı, resiprokal hareket ile kullanılan WaveOne Gold, Reciproc Blue ve North Profa RC Blue döner sistem NiTi eğelerin vücut sıcaklığında ve sodyum hipoklorit (NaOCl) solüsyonu içindeki döngüsel yorgunluğa bağlı kırılma dirençlerinin eğelerin ısı değişimine bağlı faz transformasyon davranışları ile ilişkilendirilerek karşılaştırılmasıdır.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Deney öncesi örneklem büyüklüğünün belirlenmesi için gerçekleştirilen güç analizi Keskin ve ark.'nın

"Cyclic fatigue resistance of R-Pilot, WaveOne Gold Glider and ProGlider glide path instruments" başlıklı çalışmalarının etki büyüklüğü kullanılarak (1.28), F-test ailesi ANOVA (fixed effects, omnibus, one-way) testi için G*Power programı (G*Power 3.1 for Macintosh; Heinrich Heine, Universität Dusseldorf, Düsseldorf, Almanya) ile 0.05 tip bir hata ve 0.90 beta değerleriyle grup başına düşen minimum örnek sayısı 12 olarak hesaplanmıştır.¹⁷

Bu çalışmada 12 adet WaveOne Gold Primary (25.07), 12 adet Reciproc Blue 25 (25.08) ve 12 adet North Profa RC Blue (25.08) NiTi ege kullanıldı. Bu çalışmada kullanılmak üzere kurvatür açısı 60°, kurvatür yarıçapı 5 mm, iç çapı 1.4 mm olan 19 mm uzunluğunda seramik bir yapay kanal InCoris ZI zirkonyum oksit F0.5 disk (Dentsply Sirona Ballaigues, İsviçre) ve Inlab MCX5 2.5 ve 1.0 ZrO₂ frezleri kullanılarak MCX5 CAD/CAM (Dentsply Sirona) cihazı ile üretildi. Yapay kanalı içeren seramik blok, 15x10x4 cm boyutlarında bir plastik kap içerisine monte edildi. Plastik kap 600 ml %5.25'lik NaOCl solüsyonu ile dolduruldu ve solüsyon 37 ± 1°C sıcaklığa kadar bir ısıtıcı (AquaTop, CA, ABD) yardımıyla ısıtıldı. Solüsyonun sıcaklığı ısıölçer ve termostatlar yardımıyla sabit tutuldu (Resim 1).



Resim 1

Statik model döngüsel yorgunluk test düzeneğinde seramik bloğun içine monte edildiği NaOCl içeren plastik kap, seramik bloğun içine yerleştirilen termokapılı ve ortamın sıcaklığını ölçen ve ayarlayan termostat izlenmektedir.

Eğeler paketlerinden çıkarıldıktan sonra başka bir işleme tabi tutulmadan, döngüsel yorgunluk test cihazına monte edilmiş VDW Silver Reciproc endodontik motor (VDW Münih, Almanya) yardımıyla üretici firmaların önerilerine uygun bir şekilde, WaveOne Gold eğeler "WaveOne ALL" modunda, Reciproc Blue ve North Profa RC Blue eğeler ise "Reciproc ALL" modunda kırılma gerçekleşene kadar kullanıldı. Kırılma zamanları görsel ve işitsel olarak saptandı ve 1/100 dijital kronometre ile kaydedildi.

Eğelerin kırılma anına kadar attıkları tur sayıları, dönme hızı (rpm) ile kırılma süresinin (dk) çarpımı ile hesaplandı. Her gruptan iki adet eğe seçilerek kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) (JEOL, JSM-7001F, Tokyo, Japonya) altında incelendi.

Eğelerin faz transformasyon sıcaklıklarının belirlenmesi için her gruptan 1 adet eğe diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazında analiz edildi. Bunun için eğeler, paketlerinden çıkarıldıktan sonra başka bir işleme tabi tutulmadan uçlarından 4 mm'lik birer parça kesilerek DSC cihazına (Q2000, TA Instruments, New Castle, ABD) yerleştirildi. DSC analizi ısıtma hızı 10°C/dk olacak şekilde 80°C, -80°C sıcaklık aralığında gerçekleştirildi. Bulgular TA Instruments Universal Analysis bilgisayar programı ile analiz edildi.

Elde edilen döngüsel yorgunluk dayanımına ve kırık parçaların uzunluklarına dair veriler IBM SPSS 20.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, ABD) istatistik programı kullanılarak analiz edildi. Shapiro-Wilk testi kırık parça uzunluklarının normal dağılıma uygunluk gösterdiğini ($p>0.05$) ancak döngüsel yorgunluk dayanımı verilerinin normal dağılıma uygun dağılım göstermediğini ortaya çıkardı ($p<0.05$). Kırık parçaların uzunluklarını karşılaştırmak amacıyla tek yönlü varyans analizi ve sonrasında ikili karşılaştırmalar için Tukey testi; döngüsel yorgunluk dirençlerinin analizi için de Kruskal-Wallis H çoklu karşılaştırma testi uygulandı. Tüm testlerde anlamlılık eşiği $p<0.05$ olarak belirlendi. Weibull analizi yapılarak eğelerin belirlenen tur sayılarında tahmini sağlam kalma oranları karşılaştırıldı.

BULGULAR

Çalışmada kullanılan eğelerin kırılıncaya kadarki ortalama tur sayıları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1.

Döngüsel yorgunluk testine tabi tutulan eğelerin kırılana kadar attıkları tur sayıları ve kırık parça uzunluklarının ortalama ve standart sapma değerleri

Grup	KKTS	KPU (mm)
North Profa RC Blue	1449.5 ± 501.9 ^a	5.4 ± 2.8 ^a
Reciproc Blue	1323.4 ± 302.0 ^{ab}	3.3 ± 1.2 ^b
WaveOne Gold	1109.3 ± 163.6 ^b	2.8 ± 0.8 ^b

*Farklı harfler, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı göstermektedir ($p<0,05$); KKTS: Eğelerin kırılıncaya kadar attıkları tur sayıları; KPU: Kırık parça uzunluğu.

Buna göre, döngüsel yorgunluğa karşı en yüksek direnci North Profa RC Blue grubu, en düşük direnci ise WaveOne Gold grubu gösterdi. North Profa RC Blue grubu ile Reciproc Blue grubu arasında ve Reciproc Blue grubu ile WaveOne Gold grubu arasında döngüsel yorgunluk direnci bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı saptandı ($p>0.05$). North Profa RC Blue eğelerin döngüsel yorgunluk direnci, WaveOne Gold eğelerden istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0.05$). North Profa

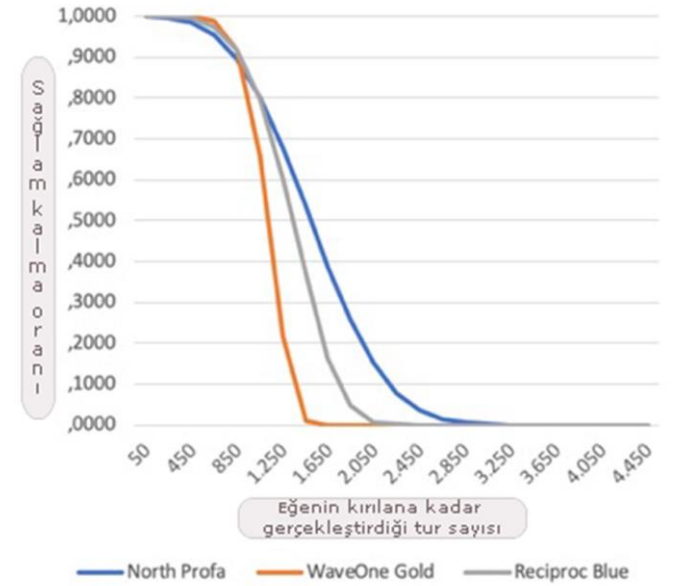
RC Blue eğelerin döngüsel yorgunluk direnci, WaveOne Gold eğelerden istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0.05$). North Profa eğelerinin kırık parça uzunluklarının diğer iki gruptan anlamlı derecede yüksek olduğu bulundu ($p<0.05$). Reciproc Blue ve WaveOne Gold eğelerin kırılan parçalarının uzunlukları ise istatistiksel olarak benzerdi ($p>0.05$). Weibull analizi, North Profa RC Blue eğelerin Reciproc Blue ve WaveOne Gold eğelere göre daha dayanıklı olduğunu gösterdi. %99 güven aralığında eğelerin kırılıncaya kadarki tahmini tur sayıları North Profa RC Blue, Reciproc Blue ve WaveOne Gold grupları için sırasıyla 636, 533 ve 399 olarak ölçüldü (Tablo 2, Şekil 1).

Tablo 2.

Çalışmada test edilen eğelerin Weibull analizi ile hesaplanmış Weibull modülleri, testin güvenilirliğini gösteren R2 değerleri ve test edilen her 100 eğeden 99'unun sağlam kalacağı tahmini tur sayıları

Grup	Weibull modülü	R ² değeri	%99 sağlam kalma oranı için tahmini KKTS değeri
North Profa RC Blue	7.45	0.84	636
Reciproc Blue	4.59	0.82	533
WaveOne Gold	3.20	0.90	399

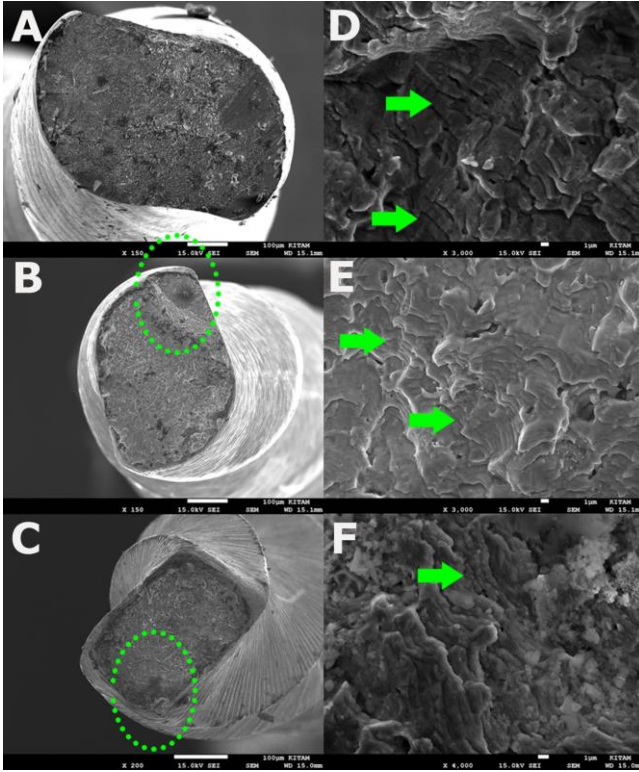
R²: Determinasyon katsayısı; KKTS: Eğelerin kırılıncaya kadar attıkları tur sayıları



Şekil 1

Weibull dağılımı ile hesaplanan tahmini sağlam kalma oranı. Dikey eksen sağlam kalma olasılığını, yatay eksen ise kırılıncaya kadarki tur sayısını göstermektedir.

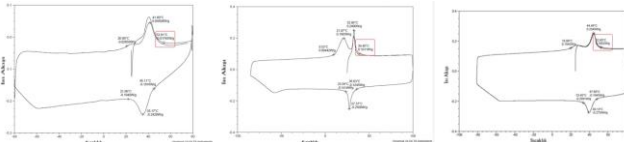
SEM incelemesi, kırık yüzeylerinde, kırık başlangıç noktaları ve yüksek büyütmede yorgunluk çizgilerini gösterdi ve yorgunluk çizgilerinin varlığı, kırılmaların döngüsel yorgunluğa bağlı olarak gerçekleştiği doğruladı (Resim 2).



Resim 2

Çalışmada kullanılan eğelerin kırık yüzeylerinin SEM görüntülerinde döngüsel yorgunluk kaynaklı başarısızlığın tipik özellikleri izlenmektedir. Genel görünümde (X150) kırık başlangıç alanları işaretlenmiştir (renkli daire). (A) North Profa RC Blue, (B) Reciproc Blue, (C) WaveOne Gold. Yüksek büyütmede (X3000-4000) yorgunluk çizgileri gözlenmektedir (renkli oklar). North Profa (D), Reciproc Blue (E), WaveOne Gold (F).

Faz transformasyon sıcaklıklarının belirlenmesi için yapılan DSC analizi bulgularının, her üç sistemin döngüsel yorgunluk direnci bulguları ile paralel olduğu belirlendi (Şekil 2).



Şekil 2

Çalışmada kullanılan eğelere ait DSC grafikleri ve faz transformasyon sıcaklık değerleri, Af faz değişim değerleri kırmızı ile işaretlenmiştir. (A: North Profa RC Blue; B: Reciproc Blue; C: WaveOne Gold).

Tüm eğeler ısıtma esnasında iki aşamalı faz transformasyonu gösterirken, soğutma esnasında R-fazı ve martensitik transformasyon çakışmasından ötürü iki pik değişimi tam olarak tespit edilememiştir. Östenit bitiş (Af) sıcaklık değerleri North Profa, Reciproc Blue ve WaveOne Gold için sırasıyla 53.91°C, 39.45°C ve 52.60°C olarak ölçüldü. Vücut sıcaklığı-Af değerleri ile döngüsel yorgunluk değerleri karşılaştırıldığında, tüm eğelerin değişen miktarlarda östenit, martensit ve ara faz içerdikleri ve döngüsel yorgunluk dayanımının martensitik ve ara faz miktarı ile doğru orantılı olduğu tespiti yapılabilir.

TARTIŞMA

Bu çalışmada resiprokal hareket ile kullanılan ve ısı işlem görmüş WaveOne Gold, Reciproc Blue ve North Profa RC Blue tek eğe döner sistemlerinin kanal içi sıcaklıkta döngüsel yorgunluğa bağlı kırılma dirençlerinin karşılaştırılması amaçlandı. Gerçekleştirdiğimiz literatür taramasında North Profa RC Blue eğelerinin döngüsel yorgunluk direncini değerlendiren herhangi bir çalışma olmadığı tespit edilmiştir; bu nedenle bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağını düşünmekteyiz.

Döngüsel yorgunluk çalışmalarında yapay kanalların üretilmesi için çoğunlukla paslanmaz çelik bloklar kullanılmıştır.^{7,10,18} Ancak, zamanla NaOCl ile etkileşime giren paslanmaz çeliğin okside olması çalışmanın standardizasyonu açısından bir dezavantaj oluşturabilmektedir.¹⁹ Bu konudaki diğer bir endişe ise eğelerin, metal bloğun iç duvarlarında plastik deformasyona sebep olabilmesi ve bu durumun art arda kullanılan eğelerin döngüsel yorgunluk dayanım sürelerini etkileyebilmesidir.²⁰ Diş hekimliği alanında CAD/CAM, restorasyonların ve sabit protezlerin tasarım ve üretimini geliştirmek için kullanılan bilgisayar kontrollü bir sistemdir. Mikron boyutlarda hata payına sahip bu sistemde son derece doğru modeller üretilmektedir. Seramik malzemeler yüksek sertliğe ve dayanıklılığa, ayrıca üstün korozyon ve aşınma direncine sahiptir.²¹ Bu çalışmada yorulma testi için kullandığımız bloklar önceki çalışmalara benzer olarak zirkonyum dioksit biyomateryalinden CAD/CAM sistemi ile özel olarak üretildi.^{19,21}

Güncel pek çok çalışmada eğeler bir solüsyon içerisinde ve vücut sıcaklığı taklit edilerek test edilmiş; bu test koşullarının aletlerin döngüsel yorgunluk direncinde oda sıcaklığıyla karşılaştırıldığında anlamlı bir düşüşe sebep olduğu bildirilmiştir.^{6,22-24} Kök kanal preparasyonu esnasında kullanılan irrigasyon solüsyonları NiTi eğeler ile temas halindedir. NiTi eğelerin yüzeyindeki nikel üzerinde çözücü etkinliğe sahip olan NaOCl çözeltisi korozyona ve yüzey değişikliklerine yol açarak beklenmeyen alet kırıklarına neden olabilmektedir.²⁵ Bu çalışmada eğeler klinik koşulları daha iyi taklit etmek amacıyla vücut sıcaklığında ve %5.25'lik NaOCl solüsyonu içerisinde kullanıldı.

Faz değişim sıcaklıklarının test ortamıyla ilişkisi alaşımın mekanik özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Ortam sıcaklığı Af eşiğinin üzerindeyken alet tamamen östenit formdadır. Ortam sıcaklığı bu eşiğin altındayken alette östenitten martensite geçiş esnasında, termal işlem gören alaşımların bazılarında da değişen miktarlarda östenit, martensit ve ara faz birarada bulunmaktadır.²⁶ Ortam sıcaklığı martensit başlangıç sıcaklığının altındayken de martensitik dönüşüm tamamlanır.²⁷ Martensitik alaşımların yorgunluk dayanımları östenite kıyasla daha yüksektir.

Ayrıca eğe yüzeyinde mevcut bir mikroçatlağın ilerlemesi martensit formda daha yavaş olur.²⁸ Martensit formdaki NiTi aletler östenit formdaki aletlere oranla daha yumuşaktır, kolayca eğilebilmekte ve deforme olabilmektedir.²⁶⁻²⁸ Bu çalışmada yapılan döngüsel yorgunluk testi sonucunda; apikal çap büyüklükleri, taper açıları ve kesit tasarımları aynı olan Blue Wire ısıl işlem görmüş North Profa RC Blue ve Reciproc Blue NiTi döner eğelerin döngüsel yorgunluk dirençlerinin istatistiksel olarak benzer olduğu bulundu. WaveOne Gold grubunun döngüsel yorgunluk direnci ise North Profa RC Blue grubundan anlamlı derecede düşüktü. Çalışmamızın DSC analizi bulgularına bakıldığında WaveOne Gold eğelerin Af sıcaklık değerinin, North Profa RC Blue eğelerin Af sıcaklık değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. WaveOne Gold eğeler vücut sıcaklığında North Profa eğelere oranla daha fazla östenit, daha az martensit faz içermektedir. North Profa eğelerin döngüsel yorgunluk direncinin WaveOne Gold eğelerden yüksek oluşu, martensit faz yoğunluğunun döngüsel yorgunluk direncini artırması ile açıklanabilir.

Bu çalışmada, North Profa RC Blue eğelerin kırık parça uzunluklarının, Reciproc Blue ve WaveOne Gold gruplarından daha yüksek olduğu gözlemlendi. Son dönemde yapılan çalışmalarda, döner sistem eğeler yapay kanallarda resiprokal hareket ile kullanıldığında kırık parça uzunlukları arasında farklılıklar gözlemlendiği, ortalama uzunlukların daha yüksek olduğu bildirilmiştir.²⁹⁻³⁰ Alqahtani ve ark.³⁰, yaptıkları çalışmada üç farklı NiTi döner sistem eğeyi (Unicone, Navigator ve ProTaper Next) 19 mm uzunluğunda, kurvatür açısı 60°, kurvatür yarıçapı 5 mm ve 1.5 mm kanal iç çapına sahip yapay kanallarda resiprokal hareket ve sürekli dönme hareketi işe kullanarak karşılaştırmışlar ve kırık parça uzunlukları arasında aletler resiprokal hareketle kullanıldığında anlamlı fark bulmuşlar, ancak sürekli dönme hareketi ile kullanıldığında 3 grup arasında fark olmadığını bildirmişlerdir. Rubio ve ark.²⁹, on farklı NiTi döner sistem eğenin döngüsel yorgunluk dirençlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında Reciproc grubundaki eğelerin kırık parça uzunluklarının diğerlerinden daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Bunun dışında, yapay kanalların tasarımlarının da kırık parça uzunluklarını etkilediği bildirilmiştir. Aminsobhani ve ark.³¹, 5 farklı döner sistem NiTi eğeyi, 3 farklı eğim, kurvatür çapı ve ark uzunluğuna sahip yapay kanallarda karşılaştırmışlar ve kurvatürün daha koronalde başladığı grupta kırık parçalar arasında fark görülmezken, daha apikal kurvatürlü kanallarda kırık parça uzunlukları arasında anlamlı fark bulunmuştur. Uygun ve ark.³², ProTaper Universal ve ProTaper Next eğe sistemlerini 2 farklı eğimde (apikalden 5mm ve 8 mm mesafede) karşılaştırmışlar ve kanal eğiminin apikalden 8 mm mesafede başladığı yapay kanallarda kırılan parçaların uzunlukları arasında fark bulunmadığını, ancak kanal eğiminin apikalden 5 mm mesafede başladığı yapay kanallarda kırılan eğelerin

kırık parça uzunlukları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunduğunu gözlemlemişlerdir.

Döngüsel yorgunluk çalışmalarında, NiTi eğelerin kırılma şeklinin analizi için kırık yüzeylerden SEM görüntüleri alınmaktadır. Yüksek büyütmelelerde kırılma alanları net bir şekilde gözlenebilmektedir. Genellikle kırık başlangıç alanları, kırık yüzeyin periferinde düzgün, pürüzsüz yüzeyler olarak görülmektedir. Daha yüksek büyütmelelerde gözlenen yorgunluk çizgileri ise kırılmanın döngüsel yorgunluk nedeniyle olduğunu teyit etmektedir.⁹ Bizim çalışmamızda da kullandığımız eğeler SEM görüntülerinde tipik döngüsel yorgunluk kırılma modelini sergilemiştir.

Bir eğenin döngüsel yorgunluk dayanımı, aletin çapına, merkezi metal kütesine, esnekliğine, kesit alanının şekline ve üretildiği NiTi alaşımın özelliklerine bağlıdır.³³⁻³⁵ Cheung ve ark.³⁶ yaptıkları çalışmada üçgen kesit tasarıma sahip eğelerin döngüsel yorgunluk dirençlerinin kare kesit tasarımına sahip aletlerden daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Grande ve ark.³⁴ ise kurvatür içindeki eğenin maksimum gerilme noktasındaki metal kütesinin, NiTi döner aletlerin döngüsel yorgunluk direncini önemli oranda etkilediğini; metal kütesi arttıkça döngüsel yorgunluk direncinin azaldığını belirtmişlerdir. Plotino ve ark.³⁷ da M-Wire ısıl işlem görmüş Reciproc ve WaveOne eğelerin döngüsel yorgunluk dirençlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, daha düşük metal kütesine sahip olan Reciproc eğenin döngüsel yorgunluk direncinin daha büyük metal kütesine sahip olan WaveOne eğeden yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan North Profa RC Blue ve Reciproc Blue eğeler S şeklinde kesit tasarımına sahipken, WaveOne Gold eğelerin kesit tasarımı paralelkenar şeklindedir. North Profa RC Blue ve Reciproc Blue eğeler ile WaveOne Gold eğelerin kesit tasarımlarının döngüsel yorgunluk dirençleri üzerine etkisini inceleyen daha fazla sayıda çalışmaya ihtiyaç vardır.

SONUÇ

Bu çalışmada "Blue Wire" ısıl işlem görmüş North Profa ve Reciproc Blue eğelerin döngüsel yorgunluk dirençleri benzer bulunurken, "Gold Wire" ısıl işlem kullanılarak üretilen WaveOne Gold eğenin döngüsel yorgunluk direnci North Profa eğeden anlamlı derecede düşük bulunmuştur.

KAYNAKLAR

1. Pruett JP, Clement DJ, Carnes Jr DL. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1997; 23: 77-85.
2. Pedullà E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande N, Rapisarda E, La Rosa G. Influence of cyclic torsional preloading on cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments. *Int Endod J* 2015; 48: 1043-50.
3. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 2000; 26: 161-65.
4. Shen Y, Cheung GS, Bian Z, Peng B. Comparison of defects in ProFile and ProTaper systems after clinical use. *J Endod* 2006; 32: 61-65.
5. Cheung GS. Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. *Endod Topics* 2009; 16: 1-26.
6. Plotino G, Grande NM, Mercade BM, Testarelli L, Gambarini G. Influence of temperature on cyclic fatigue resistance of ProTaper Gold and ProTaper Universal rotary files. *J Endod* 2017; 43: 200-02.
7. Plotino G, Grande NM, Cotti E, Testarelli L, Gambarini G. Blue treatment enhances cyclic fatigue resistance of vortex nickel-titanium rotary files. *J Endod* 2014; 40: 1451-53.
8. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 2008; 41: 339-44.
9. You S-Y, Bae K-S, Baek S-H, Kum K-Y, Shon W-J, Lee W. Lifespan of one nickel-titanium rotary file with reciprocating motion in curved root canals. *J Endod* 2010; 36: 1991-94.
10. De-Deus G, Moreira E, Lopes H, Elias C. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. *Int Endod J* 2010; 43: 1063-68.
11. 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: 258-61.
12. Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, Pinto JC, Só MVR, Vivan RR. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Invest* 2018; 22: 1865-71.
13. Van der Vyver PJ, Vorster M. WaveOne® Gold reciprocating instruments: Clinical application in the private practice: Part 1. *International Dentistry-African Edition* 2017; 7: 6-19.
14. Adigüzel M, Capar ID. Comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne and WaveOne Gold small, primary, and large instruments. *J Endod* 2017; 43: 623-27.
15. Al-Huwaizi H. Evaluation of the Cyclic Fatigue of Wave One Gold and Reciproc Blue using different irrigating medium. *Int J Med Res Health Sci* 2018; 7: 27-31.
16. Reciproc Blue Broşürü. <https://www.vdw-dental.com/fileadmin/Dokumente/Sortiment/Aufbereitung/ReziprokeAufbereitung/RECIPROC-blue/VDW-Dental-RECIPROCblue-User-Brochure-EN.pdf>. 2020.
17. Keskin C, İnan U, Demiral M, Keleş A. Cyclic fatigue resistance of R-Pilot, WaveOne Gold Glider, and ProGlider glide path instruments. *Clin Oral Invest* 2018; 22: 3007-12.
18. Alfawaz H, Alqedairi A, Alsharekh H, Almuzaini E, Alzahrani S, Jamleh A. Effects of sodium hypochlorite concentration and temperature on the cyclic fatigue resistance of heat-treated nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2018; 44: 1563-66.
19. Ertuğrul İF, Orhan EO. Cyclic fatigue and energy-dispersive X-ray spectroscopy examination of the novel ROTATE instrument. *Microsc Res Tech* 2019; 82: 2042-8.
20. Wan J, Rasimick BJ, Musikant BL, Deutsch AS. A comparison of cyclic fatigue resistance in reciprocating and rotary nickel-titanium instruments. *Aust Endod J* 2011; 37: 122-7.
21. Huang X, Shen Y, Wei X, Haapasalo M. Fatigue resistance of nickel-titanium instruments exposed to high-concentration hypochlorite. *J Endod* 2017; 43: 1847-51.
22. 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: 782-7.
23. Dosanjh A, Paurazas S, Askar M. The Effect of temperature on cyclic fatigue of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *J Endod* 2017; 43: 823-26.
24. Jamleh A, Yahata Y, Ebihara A, Atmeh AR, Bakhsh T, Suda H. Performance of NiTi endodontic instrument under different temperatures. *Odontology* 2016; 104: 324-28.
25. Bonaccorso A, Tripi TR, Rondelli G, Condorelli GG, Cantatore G, Schäfer E. Pitting corrosion resistance of nickel-titanium rotary instruments with different surface treatments in seventeen percent ethylenediaminetetraacetic acid and sodium chloride solutions. *J Endod* 2008; 34: 208-11.
26. 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: 163-72.
27. Shen Y, Huang X, Wang Z, Wei X, Haapasalo M. Low environmental temperature influences the fatigue resistance of nickel-titanium files. *J Endod* 2018; 44: 626-9.
28. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schafer E. New thermomechanically treated NiTi alloys- a review. *Int Endod J* 2018; 51: 1088-103.
29. Rubio J, Zarzosa JI, Pallares A. A Comparative study of cyclic fatigue of 10 different types of endodontic instruments: an in vitro study. *Acta Stomatol Croat* 2019; 53: 28-36.

30. Alqahtani S, Al-Omari M, Olarinmoye AO, Alrahlah A. Flexural fatigue of Unicone, Navigator Evo and Protaper Next files in reciprocate and continuous rotary systems in simulated curved canals-An in vitro study. *Metals* 2020; 10,23:1-13.
31. Aminsobhani M, Meraji N, Sadri E. Comparison of cyclic fatigue resistance of five nickel titanium rotary file systems with different manufacturing techniques. *J Dent (Tehran)* 2015; 12: 636-46.
32. Uygun AD, Kol E, Topcu MKC, Seçkin F, Ersoy I, Tanrıver M. Variations in cyclic fatigue resistance among ProTaper Gold, ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. *Int Endod J* 2016; 49: 494-9.
33. Silva EJNL, Vieira VTL, Hecksher F, Dos Santos Oliveira MRS, Dos Santos Antunes H, Moreira E JL. Cyclic fatigue using severely curved canals and torsional resistance of thermally treated reciprocating instruments. *Clin Oral Invest* 2018; 22: 2633-8.
34. 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: 755-63.
35. Tripi TR, Bonaccorso A, Condorelli GG. Cyclic fatigue of different nickel-titanium endodontic rotary instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 102: e106-e14.
36. 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 (4): 357-61.
37. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J* 2012; 45: 614-18.

Yazışma Adresi:

Uğur İNAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi
Endodonti AD.
Samsun, Türkiye
Tel : +90 362 312 19 19/ 8249
E Posta: ugurinan@omu.edu.tr