


Endodontide Blue-wire ve Gold-wire Teknolojisi ile Üretilen Yeni Nesil Nikel Titanyum Eğeler

New Generation Nickel Titanium Instruments Produced with Blue-wire and Gold-wire Technology in Endodontics

Erhan Mert ÇETİN¹ 
mrt.cet06@gmail.com

Ali TÜRKYILMAZ¹ 
turkyilmaz_a@hotmail.com

ÖZ

Kök kanal tedavisinin başarısı, birçok değişkenle ilişkili olmakla beraber en önemli unsurlarından biri kök kanalının şekillendirme işlemidir. Yumuşak dokuların, nekrotik pulpal artıkların ve bakteri toksinlerinin kök kanalının içinden tamamen uzaklaştırılması için günümüzde nikel titanyum (NiTi) alaşımdan üretilen kanal aletleri sıklıkla kullanılmaktadır. NiTi eğelerin süperelastisite ve şekil hafızası özelliği sayesinde kök kanal anatomisine zarar vermeden uygun şekillendirme yapılması mümkündür. Son yıllarda metalürjik üretim aşamasında; yüzey bitirme teknikleri ve termomekanik işlemler ile NiTi endodontik aletlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve dayanıklılıklarını arttırmak için çalışılmaktadır. NiTi alaşımlarda kullanılan iyileştirme teknikleri gelişim süreci; Elektropolishing, M-wire, R-faz, Controlled Memory, M wire, Blue wire-Gold wire, Elektriksel Discharge Machining ve Max wire olarak sıralanabilir. NiTi endodontik eğelerin yorulma direnci, NiTi alaşımların geçiş sıcaklıklarının ayarlanması, mikroyapı fazlarının oranları ve özelliklerinin değiştirilmesi ile düzenlenmektedir. Bu derlemede termomekanik yüzey işlemlerine tabi tutulan Blue wire ve Gold wire NiTi alaşımdan üretilmiş döner eğelerin özellikleri üzerinde durulmuş, avantaj ve dezavantajları göz önüne alınarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Blue wire, Gold wire, Nikel-Titanyum

Geliş: 30.12.2021

Kabul: 07.04.2022

Yayın: 29.04.2022

ABSTRACT

Although the success of root canal treatment is related to many variables, one of the most important elements is the preparation of the root canal. Today, canal instruments made of nickel titanium (NiTi) alloy are frequently used for the complete removal of soft tissues, necrotic pulpal residues and bacterial toxins from the root canal. Thanks to the superelasticity and shape memory feature of NiTi files, proper shaping is possible without damaging the root canal anatomy. In recent years, in the metallurgical production phase; surface finishing techniques and thermomechanical processes are used to improve the mechanical properties and increase resistance of NiTi endodontic instruments. The improvement techniques used in NiTi alloys in the development process can be listed as electropolishing, M-wire, R-phase, Controlled Memory wire, Blue wire-Gold wire, Electrical Discharge Machining and Max wire. The fatigue resistance of NiTi endodontic files is regulated by adjusting the transition temperatures of NiTi alloys and changing the ratios and properties of the microstructure phases. In this review, the properties of rotary files made of Blue wire and Gold wire NiTi alloy, which are subjected to thermomechanical surface treatments, are emphasized and examined by considering their advantages and disadvantages.

Keywords: Blue wire, Gold wire, Nickel-Titanium

Received: 30.12.2021

Accepted: 07.04.2022

Published: 29.04.2022

Atıf / Citation: Çetin EM, Türkyılmaz A. Endodontide blue-wire ve gold-wire teknolojisi ile üretilen yeni nesil nikel titanyum eğeler. NEU Dent J. 2022;1:30-7.

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author
1. Kırıkkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD, Kırıkkale, Türkiye



"This article is licensed under a
[Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International
License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

NiTi alaşımı 1960'ların başlarında manyetik olmayan, tuza dirençli ve su geçirmez alaşımlar üzerinde çalışan bir metalürji uzmanı olan William F. Buehler¹ tarafından geliştirilmiştir. NiTi alaşımı, yüksek korozyon direnci ve biyouyumlu olmasından dolayı, tıp ve diş hekimliği alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır.² NiTi alaşımının 1990'lı yılların başında ticari olarak temin edilmesiyle birlikte birçok üretici, farklı tasarımlarda NiTi kök kanal aleti geliştirmiştir.³

NiTi alaşımların endodonti alanında kullanılmasının en büyük nedenlerinden biri konvansiyonel endodontik aletlere göre NiTi enstrümanların süperelastisite ve şekil hafızası özellikleridir.⁴ Düşük sıcaklıklarda kolaylıkla yapısı bozulan alaşımın, yüksek sıcaklıklarda yapısı bozulmadan önceki haline dönebilme özelliğine şekil hafızası denir.⁵ Yüksek sıcaklıklarda, üzerine kuvvet uygulandığında şekil değiştirebilmesine rağmen, kuvvet ortadan kalktığında alaşımın eski haline dönebilmesini sağlayan özellik ise süperelastiklik özelliği olarak adlandırılır.⁵ NiTi'nin süperelastisite özelliği, endodontik aletlere üstün esneklik özelliği sunmakta, kök kanallarının karmaşık anatomisini takip etmelerine izin vermekte, kırılma ve aşınmaya karşı daha dirençli olmasını sağlamaktadır.^{6,7,8} NiTi aletlerin yaygın kullanımı ile kanalın tıkanması, zip, basamak, transportasyon ve perforasyon oluşumu gibi birçok işlemsel hatanın görülme riskinin azaldığı bildirilmiştir.^{9,10,11} NiTi eğelerin geleneksel alaşımlardan yapılmış eğeler gibi yapısının kolay bozulmamasından dolayı, kanal preparasyonunda paslanmaz çelik eğelere göre daha iyi temizleme ve şekillendirme sağladığı, apikal tıkanmanın daha iyi oluşturulduğu ve daha düzgün kanal duvarları elde edildiği bildirilmiştir.¹²

Kök kanal tedavisinde kullanılan NiTi alaşımları, ortalama olarak ağırlıkça %56 nikel ve %44 titanyum içerir. Ortaya çıkan bu kombinasyonda, ana bileşenlerin atomik oranı eşittir ve alaşım çeşitli kristalografik yapılarda kendini gösterebilir.¹³ NiTi alaşımları, metalin karakteristiklerini ve nispi oranlarını belirleyen 3 mikroyapısal faz (austenit, martensit ve R-fazı) içerir.³ Austenit ve martensit fazlarının bazı özellikleri arasında belirgin farklar bulunmaktadır.^{1,13} Pratik uygulamalar açısından; malzeme martensit formunda olduğunda yumuşak, bükülebilir özellikte ve kolaylıkla deforme olabilmektedir. Aksine austenitik NiTi oldukça güçlü ve sert bir yapıdadır.⁵ NiTi alaşımların özellikleri; kimyasal birleşimler, faz değişiklikleri, metallerin kimyasal içerikleri gibi içsel etkenlere ve fabrikasyon işlemleri gibi dışsal etkenlere bağlıdır. NiTi alaşımının ısıtılıp soğutulması ile uygulanan ısıl işlemler sonucunda alaşımın geçiş sıcaklıklarının ve faz bileşimlerinin ayarlanması NiTi eğelerin yorulma direncini etkilemektedir.¹⁴ Eğelerin metalik özelliklerini bilmek kök kanal tedavisi esnasında ka-

nalın yapısına göre hangi eğenin daha uygun olacağını tespit edilmesine yardımcı olur.¹⁵

NiTi Döner Eğe Sistemleri

NiTi alaşımdan yapılmış el aletlerinin dentini kesme yeteneğinin yetersiz ve dolayısıyla çalışma etkinliklerinin kısıtlı olması nedeniyle şekillendirme işleminin uzun sürmesi üretici firmaları yeni arayışlara sevk etmiştir. Son yıllarda NiTi eğelerin olumlu özelliklerinden en iyi şekilde yararlanabilmek ve preparasyon süresini kısaltabilmek için motorla çalışan döner aletler üretilmiştir.¹⁶ Bu yenilikçi yaklaşım sayesinde daha gelişmiş esneklik, kesme etkinliği ve torsiyonel dirence sahip kanal aletleri üretilmiştir. Ayrıca NiTi aletlerin süperelastisitesi, daha büyük taper açısına sahip döner eğelerin kullanılmasını mümkün kılmış ve böylelikle daha hızlı kanal preparasyonu yapılması sağlanmıştır.^{7,9,17}

1990'lardan günümüze dek, NiTi alet tasarımı önemli ölçüde değişmiş; üretimde ve alaşımın işlenmesinde ilerlemeler kaydedilmiştir. Alet özellikleri; alaşımın tipi, koniklik derecesi ve kesit tasarımına bağlı olarak modifiye edilebilmektedir.¹⁸ İlk üretilen eğelerden günümüze dek piyasada kullanılan NiTi kanal eğeleri, fonksiyon ve tasarım özelliklerine göre çeşitli teknolojiler kullanılarak iyileştirilmiştir. Bu teknolojiler; elektropolishing, M-wire, R-fazı, controlled memory wire, blue-gold wire, electrical discharge machining ve Max wire olarak sıralanabilir.

Elektropolishing

FKG (La Chaux-de-Fonds, İsviçre) firması tarafından 1999 yılında elektropolishing teknolojisi bulunmuştur. Elektropolishing; çapak, çizik ve ısıdan etkilenen bölgeleri temizler, yeni ve pürüzsüz bir yüzey oluşturur. Bu işlemin uygulandığı NiTi alaşımı, yaklaşık 3 nm'lik bir oksit film tabakası ile kaplanmış olur. Bu tabaka alaşıma üstün korozyon direnci ve biyouyumluluk kazandırır.¹⁹

M-Wire

M-wire teknolojisi, Tulsa Dental tarafından 2007 yılında tanıtılmıştır. M-wire NiTi, metalin işlenmeden önce çeşitli sıcaklıklarda ısıl işlemlere tabi tutulması ile elde edilir. Yapılan ısıl işlem sonucu alaşım süperelastik yapısını korurken, martensit ve R fazlarını da içerir.²⁰ M-wire ile üretilen aletlere örnek olarak ProFile GT Series X, ProFile Vortex, ProTaper Next sistemleri (Dentsply, İsviçre), Path Files, WaveOne ve Reciproc (VDW, Almanya) bulunmaktadır.

R-Fazı

2008 yılında Sybron Endo firması, R-fazında bükülebilir halde NiTi aletler üretilen yeni bir yöntem geliştirmiştir. NiTi alaşımlarının R fazı, martensit ve austenit fazlar arasında dönüşüm

esnasında ortaya çıkar. Young modülü, katı bir cisme uygulanan kuvvetin meydana getirdiği birim şekil değişikliğine oranıdır ve cismin sertliğini ifade eder. NiTi alaşımının young modülü, R fazında austenit faza göre daha düşüktür. Bu nedenle R fazındaki bir telden yapılmış bir alet daha esnektir.²¹ R-fazında üretilen sistemlere örnek olarak Twisted Files (TF SybronEndo, Orange CA, ABD) ve K3XF (SybronEndo, Orange CA, ABD) gösterilebilir.

Controlled Memory Wire

2010 yılında tanıtılan Controlled Memory (CM) Wire ise NiTi alaşımının özel termomekanik işlemler sonrası şekil hafızasının kontrol edilerek eğelerin aşırı esnek olmasını sağlayan bir yöntemdir.¹⁸ CM ile üretilen eğelerin döngüsel yorgunluk direnci geleneksel NiTi eğelere göre %300-800 daha fazla bulunmuştur.²² CM wire teknolojisi ile üretilen sistemlere HyFlex CM (Coltene Whaledent, Cuyahoga Falls, OH, ABD), ProDesign R, ProDesign Logic (Easy Dental Equipments, Brezilya) ve Typhoon Infinite Flex NiTi (Clinician Choise Dental Products, ABD) örnek olarak gösterilebilir.

Blue wire-Gold wire

2012 yılında, Dentsply Sirona, NiTi CM alaşımları için yeni bir ısıl işlem uygulaması başlatmıştır. Tekrarlayan ısıtılıp soğutulma işlemleri sonucunda alet yüzeyinde titanyum oksit tabakası oluşturulmuştur. Bu oksit tabaka, Blue wire aletlerde 60-80 nm iken, Gold wire aletlerde 100-140 nm'dir. Aletin rengini, yüzeydeki titanyum oksit tabakasının kalınlığı belirlemektedir.²³ Bu teknoloji ile üretilen aletlere örnek olarak Vortex Blue (Dentsply Sirona), Reciproc Blue (VDW), ProTaper Gold (Dentsply Sirona), WaveOne Gold (Dentsply Sirona) verilebilir.²⁰

Electrical Discharge Machining

Electrical Discharge Machining (EDM), elektriksel deşarj yöntemiyle hassas malzemelerin üretilmesini sağlayan, temassız bir işlem uygulamasıdır.^{24,25} EDM, doğrudan temas gerektirmediğinden mekanik hasar olasılığını ortadan kaldırarak geleneksel tormalama işlemine kıyasla metal üzerinde daha az stres meydana getirir.²⁶ Hyflex EDM, elektrikli deşarj yöntemi ile üretilen ilk endodontik ege sistemidir.²⁷ Üreticiye göre; bu yenilikçi sistem, ege yüzeyini sertleştirmekte ve böylece kırılma direncini artırarak üstün kesme verimliliği sağlamaktadır.²⁰

Max Wire

2016 yılında, FKG firması termomekanik işlemlerle şekil hafızası ve süperelastisitesi geliştirilmiş Max wire (Martensite-Austenite Electropolishing-Flex) endodontik NiTi alaşımı üretmiştir. Max wire NiTi ege sistemleri, oda sıcaklığında martensit

fazda ve nispeten düz iken kanal içi sıcaklığa maruz kaldıklarında austenit faza geçer ve kanal içerisinde kıvrımlı bir yapı sergileyerek kök kanal duvarlarının tamamına temas eder. Bu teknoloji ile üretilen aletlere örnek olarak XP-endo Finisher, XP-endo Finisher Rve XP-endo Shaper (FKG, İsviçre) verilebilir.²⁰

Blue-Wire ve Gold-Wire Teknolojisi ile Üretilen Döner Ege Sistemleri

Günümüzde yaygın kullanımı olan ve ısıl işlem ile üretilmiş iki adet Blue wire ve iki adet Gold wire NiTi sistemi mevcuttur. Vortex Blue (Dentsply Sirona), Reciproc Blue (VDW), ProTaper Gold (Dentsply Sirona) ve WaveOne Gold (Dentsply Sirona) sistemleri bu teknoloji kullanılarak üretilmektedir.²⁰

Tüm Gold wire ve Blue wire ısıl işlem görmüş eğeler, martensit yapılarından ötürü geleneksel NiTi eğeler ve M-wire eğelere kıyasla gelişmiş esneklik ve yorgunluk direnci göstermektedir.^{28,29} Gold wire ve Blue wire NiTi sistemlerinin tümü, fazla eğime sahip kök kanallarında bile merkezi bir preparasyon yapılmasına olanak tanımaktadır.³⁰⁻³³ Bu sistemlerin yüksek lateral kesme etkinliğine sahip olması, aletlerin nispeten daha sert yüzey tabakası ile açıklanabilir.²⁸

Vortex Blue

Vortex Blue (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK; ABD), yeni nesil ProFile eğelerini temsil eder. Geleneksel süperelastik NiTi aletlerinden farklı olarak Vortex Blue eğelerinde, özel üretim işlemleri sonucunda mavi renkli oksit yüzey tabakası oluşur. Vortex Blue eğelerindeki özel titanyum oksit yüzey tabakası ProFile Vortex eğelerinde bulunan sertlik dezavantajını ortadan kaldırarak kesme verimliliğini ve aşınma direncini iyileştirir. Vortex Blue, aynı değişken heliks açısına sahip Profile Vortex egesine göre daha çok esneklik ve verimlilik sağlar.³⁴

Vortex Blue döner eğeler, M-wire NiTi eğelere göre döngüsel yorulma direnci bakımından % 65, standart NiTi eğelere göre ise % 99 daha iyi sonuç verir.³⁵ Ayrıca, Vortex Blue eğeleri M-wire NiTi'ye kıyasla %42 oranında daha yüksek tork gücü artışı sergiler.³⁵ Vortex Blue döner eğeleri, 15-50 apikal boyutlarında ve %4 ile %6 açılı olarak piyasaya sunulmuştur. Eğin kök kanal preparasyonu için 500 rpm sabit hızda kullanılması önerilmektedir. NiTi döner eğelere geçilmeden önce #10-15 K-file ile glide path hazırlığı önerilmiştir. Crown down temizleme ve şekillendirme tekniği ile kullanılmalıdır.³⁶

Reciproc Blue

Reciproc Blue (VDW, Münih, Almanya), orijinal Reciproc eğesine ısıl işlemler uygulanarak yüzeyinde titanyum oksit tabakası oluşturularak geliştirilen bir ege sistemidir. Üretici firma bu işlemler esnasında sıcaklığı kontrol ederek eğenin esnekliğini ve döngüsel yorgunluk direncini arttırmayı hedeflemiştir.³⁷ Özel 'S' şeklindeki kesiti, değişken koniklik ve kesme açılarının bir arada olması Reciproc Blue eğesine yüksek verimlilik ve kesme etkinliği kazandırır. Kanal aletinin ucu, kökün apikal üçte birinde travmatik işlem oluşturmayacak şekilde tasarlanmıştır. Kanal genişletme işlemi tek ege ile gerçekleşir.³⁸ Orijinal Reciproc sisteminde olduğu gibi RB25, RB40 ve RB50 olarak 3 farklı ege ile piyasaya sunulmuştur: RB25 eğesinin apikal çapı 0,25 mm ve ilk üç mm'deki konikleşme miktarı %8, RB40 eğesinin apikal çapı 0,40 mm ve ilk üç mm'deki konikleşme miktarı %6, RB50 eğesinin apikal çapı 0,50 mm ve ilk üç mm'deki konikleşme miktarı %5'dir.

Reciproc Blue eğeleri, resiprokal hareketin oluşmasına yardımcı olan "Gold Reciproc" endodontik motorla beraber önceden programlanmış "Reciproc all" modunda çalıştırılabilirler. Toplamda 3 resiprokal hareketle bir tur dönüşü tamamlanır.

Resiprokal hareket ile kullanılan eğenin devamlı rotasyon hareketiyle kullanılan eğeye göre döngüsel yorgunluğa karşı direncinin daha iyi olduğu ve dolayısıyla kullanım ömrünün arttığı ifade edilmiştir.^{39,40} Resiprokal hareket ile ege saat yönünün tersine 150 derecelik, saat yönünde 30 derecelik bir rotasyon hareketi yapar. Saat yönünün tersine 150 derecelik hareket ile ege, kanal duvarına sıkışır ve dentin duvarını kesme sırasında saat yönündeki 30 derecelik hareket eğenin serbestleşmesine ve kök kanalından uzaklaşmasına yardımcı olur. Bu hareket vidalama etkisini ve kanal aletinin kırılma olasılığını düşük seviyeye indirir.⁴¹ Araştırmacılar, genişletme işlemi sonrasında Reciproc eğelerin kökün daha az zayıflamasına neden olacağını bildirmişlerdir.⁴²

Reciproc Blue eğelerine uygulanan termal işlemler sonucu yüzeyinde oluşan titanyum oksit tabakası eğeye mavi rengini vermektedir. Uygulanan termal işlemler sonucu eğenin alaşımındaki stabil martensit oranının Reciproc eğesine göre daha fazla olduğu bildirilmiştir.⁴³ Ayrıca, oluşan oksit tabakasının yüzey sertliğini arttırdığı, bu durumun da eğenin kesme etkinliğini geliştirdiği düşünülmektedir.⁴³ Reciproc Blue eğelerinin, austenit faz değişim sıcaklığı 36.9°, martensit faz değişim sıcaklığı 28.4° olarak bildirilmiş olup vücut sıcaklığında hem

martensit hem de R fazında bulunabilmektedir. Bu özellik Reciproc Blue eğelerine süperelastisite yeteneği kazandırır.²⁸

ProTaper Gold

ProTaper Gold (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, ABD) ege sistemi, ProTaper Universal ege sistemi ile benzer geometrik tasarıma sahiptir. Özel bir metalürji tekniği ile üretilen ProTaper Gold eğeleri, esneklikte sağladıkları belirgin artış ile öngörülebilir bir performans sergiler. ProTaper Universal eğelere göre döngüsel yorgunluğa karşı iki kat daha fazla dayanıklıdır. Bu özellik, apikaldeki aşırı kurvatürlerde bitim eğelerine önemli üstünlük sağlar.⁴⁴ Ayrıca, ProTaper Gold'un sap boyu kısaltılarak, dişlere daha kolay erişime olanak sağlanmıştır.⁴⁴

ProTaper Gold eğelerindeki kesmeyen uç tasarımı, kanal aletinin dentin duvarını güvenli bir şekilde takip etmesine yardımcı olurken, uçtaki küçük düz alan dentin talaşı ve yumuşak doku varlığında eğenin kanal yolunu bulma yeteneğini artırır.⁴⁵ ProTaper Gold kesitinin dışbükey üçgen yapısı ve konikliği, eğenin kanal duvarı ile kesici yüzey arasındaki sürtünmesini azaltırken kesme etkinliğini artırır.⁴⁶ Üretici firma tarafından preparasyon için 300 rpm hız ve 400-520 gcm tork gücünde çalışılması tavsiye edilir.⁴⁴ ProTaper Gold eğeleri ile yapılacak şekillendirme işlemlerinde crown-down tekniği kullanılması önerilir. #10-15 K file ve/veya ProGlider® ile giriş yolu hazırlandıktan sonra koronalde daha iyi bir şekillendirme sağlamak için ProTaper Gold SX kullanılabilir. Kanal boyunda S1 ve S2 ile şekillendirme yapıldıktan sonra F1 ve F2 eğeleriyle genişletme işlemi bitirilir. Kanalın geniş olduğu durumlarda F3, F4, F5 eğeleri kullanılabilir.⁴⁴

WaveOne Gold

2015 yılında tanıtılan WaveOne Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre), WaveOne ege sistemine benzeyen bir veya daha çok kanallı şekillendirmek için kullanılan tek ege sistemidir. Tek ege sistemlerinin önceden şekillendirilmemiş bir kanallı %80 başarı ile şekillendirdiği gösterilmiştir.⁴⁷ WaveOne Gold, WaveOne'dan farklı olarak Gold wire termomekanik yöntem ile üretilmiştir. NiTi alaşıma uygulanan tek-rarlanan termal işlemler sonucu yüzeyde 100-140 nm titanyum oksit tabakası oluşmakta, bu da ege sistemine gelişmiş mekanik özellikler ve altın rengi görünümü kazandırmaktadır.^{48,49} Bu teknoloji, WaveOne Gold eğenin WaveOne eğeye göre döngüsel yorgunluk direncinin %50, esnekliğinin %80 oranında daha iyi olmasını sağlamaktadır.⁵⁰

WaveOne Gold eğe, WaveOne eğe sistemine göre farklı boyut, taper açısı ve tasarım özelliklerine sahiptir. WaveOne, dışbükey kesit tasarımı, daha büyük boyut ve taper açısına sahipken, WaveOne Gold eğe sisteminde iki kesici kenar ve paralel kenar kesit tasarımı mevcuttur.²⁹ WaveOne Gold eğesinin hareket esnasında merkezde yer almayan yapısı sayesinde kanal duvarıyla sadece iki kenarı temas eder. Azalan temas noktası sayesinde debrislerin koronale taşınabileceği bir boşluk oluşur ve vidalama etkisi azaltılmış olur. WaveOne Gold eğe sisteminde artan kesme verimliliği sayesinde kanal şekillendirme süresi %19 azalır.⁵⁰

WaveOne Gold, kanal yapısını zayıflatmamak için D1-D3'te sabit ve D4-D16'da kademeli olarak azalmış taper açısına sahiptir.⁴⁷ Bu sistemde; 20/0.07 (Small), 25/0.07 (Primary), 35/0.06 (Medium), 45/0.05 (Large) olacak şekilde 4 farklı eğe yer almaktadır. Bu eğeler 21mm, 23mm ve 25 mm uzunlukta olacak şekilde üretilmektedir.⁵¹ WaveOne Gold eğe sistemi kanal içerisinde resiprokal hareketle çalışmaktadır. Resiprokal hareketin, rotasyonel harekete göre NiTi eğeler üzerinde daha düşük stres birikimine sebep olduğu ve aletin dayanımını olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir.^{52,53} WaveOne Gold eğeleri, saat yönünün tersine 170° ve saat yönünde 50° hareket ederek toplamda 3 resiprokal döngüyle tam bir turu tamamlamış olur. WaveOne Gold Primary şekillendirme protokolünü başlatmak için her zaman ilk olarak kullanılmalıdır. Primary eğenin kanal içerisinde rahat ilerleyemeyeceği durumlarda Small eğe ile koronal rahatlatma yapılmalıdır. Vakaların %80'inde kanal preparasyonu işlemi yalnızca WaveOne Gold Primary eğesi kullanılarak bitirilebilmektedir.⁵⁰

Blue-Wire ve Gold-Wire Eğe Sistemlerinin Döngüsel Yorgunluk, Şekillendirme Etkinliği, Apikal Debris Çıkışı ve Şekillendirme Süresi Açısından Karşılaştırıldığı Çalışmalar

Birçok çalışmada, Blue wire ve Gold wire teknolojisine sahip kanal eğelerinin geleneksel NiTi eğeler ve M-wire teknolojisine sahip kanal eğelerinden daha esnek oldukları ve daha yüksek döngüsel yorgunluk direnci gösterdikleri bildirilmiştir.^{30,54,55}

Plotino ve ark.⁵⁶ ProTaper Universal ve ProTaper Gold eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençlerini hem oda sıcaklığında hem de kanal içi sıcaklıkta karşılaştırdıkları çalışmada; ProTaper Gold eğelerinin döngüsel yorgunluk direncinin daha yüksek olduğunu ve ısı değişiminden etkilenmediğini bildirmiştir. Araştırmacılar, bu sonuçları ProTaper Gold eğesinin faz transformasyon sıcaklığının kanal içi sıcaklığın üzerinde olması ile ilişkilendirmiştir. Aynı araştırmacılar bir başka çalışmada, farklı ortam sıcaklıklarında stereomikroskop ile in vitro Reciproc ve Reciproc

Blue döner eğe sistemlerinin döngüsel yorgunluklarını karşılaştırmış ve bütün sıcaklıklarda Reciproc Blue eğelerin daha dirençli olduğunu bildirmiştir.⁵⁷ Vieira ve ark. Reciproc Blue ve Vortex Blue eğelerin farklı sıcaklıklardaki döngüsel yorgunluk dirençlerini karşılaştırmışlar ve Reciproc Blue eğelerin test edilen bütün sıcaklıklarda daha iyi döngüsel direnç gösterdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, resiprokal hareketin döngüsel yorgunluk direncini olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir.⁵⁸

Keskin ve ark.⁵⁵ Reciproc R25, Reciproc Blue R25 ve WaveOne Gold Primary döner eğe sistemlerinin döngüsel yorgunluk dirençlerini stereomikroskop ile in vitro olarak incelemişlerdir. Çalışmada en yüksek yorgunluk direnci Reciproc Blue R25 döner eğe sisteminde saptanmıştır. Gündoğar ve Özyürek⁵⁹ 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 üstün bulmuşlardır. Lopes ve ark.⁶⁰ 2021 yılında Reciproc Blue R25, Reciproc R25 M-Wire, WaveOne Gold Primary döner eğe sistemlerinin döngüsel yorgunluk dirençlerini incelemişler ve Reciproc Blue eğelerin döngüsel yorgunluk direnci WaveOne Gold eğelerine göre daha üstün bulunmuştur. Alcalde ve ark.⁴⁸ 3 farklı ısıl işlem görmüş resiprokal NiTi aletlerin döngüsel yorgunluk dirençlerini taramalı elektron mikroskobu ile incelemişler ve döngüsel yorulma direncinin Reciproc Blue döner eğe sisteminde WaveOne Gold döner eğe sistemine göre anlamlı derecede daha yüksek olarak bildirmiştir. Literatürde, 'S' şeklinde çapraz kesite sahip eğelerin dikdörtgen kesite sahip eğelerden daha üstün döngüsel yorgunluk direncine sahip oldukları belirtilmektedir.⁶¹ Araştırmacılar, Reciproc Blue eğelerin WaveOne Gold eğe sisteminden daha yüksek direnç göstermesini bu bulgu ile açıklamaktadır.

Keskin ve ark.⁶² Reciproc Blue ve WaveOne Gold sistemlerinin şekillendirme etkinlikleri ve transportasyon miktarlarını 'J' şekilli reçine bloklarda karşılaştırmış, kaldırılan madde miktarının orta ve koronal bölümde Reciproc Blue grubunda anlamlı derecede fazla olduğunu bildirmiştir. Bu durum, WaveOne Gold eğesinin koniklik açısının daha az olması ile açıklanmıştır. Araştırmacılar, transportasyon bakımından sistemler arasında fark bulamamıştır. Silva ve ark. Reciproc Blue ve ProTaper Gold sistemlerinin şekillendirme etkinliklerini ve transportasyon miktarlarını mandibular molar dişlerde karşılaştırmışlardır. Reciproc Blue, ProTaper Gold eğe sistemine göre mesio bukkal kanalın apikal üçlüsünde daha üstün kesme verimliliği ve daha iyi dairesel ve merkezi kanal oluşumu sağlamıştır.⁶³

Bürklein ve ark.⁵⁸ Reciproc, WaveOne ve bu sistemlerin yeni nesil üretimleri olan Reciproc Blue ve WaveOne Gold sistemlerini çekilmiş molar dişlerin ileri derecede eğimli köklerinde karşılaştırmıştır. Eğelerin kanal eğimlerini düzleştirme miktarları bakımından sistemler arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Ancak detaylı incelemede üretim sırasında ısı işleme tabi tutulan eğelerde daha düşük eğim düzleştirme yönelimi olduğu bildirilmiştir. 2021 yılında yapılan çalışmada WaveOne Gold ve ProTaper Gold eğe sistemlerin çift eğimli reçine bloklarda transportasyon miktarları ve şekillendirme süreleri değerlendirilmiştir. Apikal bölgede ProTaper Gold, WaveOne Gold eğe sistemine göre daha fazla transportasyon değeri göstermiş olsa da aralarında anlamlı fark bulunmamıştır. Wave One Gold eğe sisteminin şekillendirme süresi ProTaper Gold sistemine göre daha iyi bulunmuştur.⁶⁴

Elashiry ve ark.⁶⁵ Reciproc Blue, WaveOne Gold ve Hyflex EDM sistemlerinin apikal debris çıkışını karşılaştırdıkları çalışmalarında, WaveOne Gold sisteminde diğer iki sisteme göre daha az debris çıkışı izlenmiştir. Bu sonuçlara ulaşılmasında WaveOne Gold sisteminin eğe tasarımı ve kinematığının etkili olduğu bildirilmiştir.

Al-dhbaan ve ark.⁶⁶ Gold-wire eğe sistemlerinin şekillendirme süresini karşılaştırmalı olarak incelemiş ve WaveOne Gold sisteminin Protaper Gold sistemine göre istatistiksel olarak daha kısa sürede şekillendirmeyi tamamladığını bildirmişlerdir. Bu farkı, WaveOne Gold'un tek eğeden Protaper Gold'un ise çok eğeden oluşan bir sistem olması ile açıklamışlardır. Daha önceki yıllarda yapılan çalışmalarda ise sistemler arasındaki şekillendirme süresi farkının, uygulayıcı farklılığından kaynaklanıyor olabileceği bildirilmiştir.^{67,68} Elashiry ve ark.⁶⁵ Reciproc Blue, WaveOne Gold ve Hyflex EDM sistemlerinin şekillendirme sürelerini karşılaştırdıkları çalışmalarında; sistemler arasında anlamlı bir farklılık saptayamadıklarını bildirmişlerdir.

SONUÇ

NiTi eğeler endodonti uzmanlarının kullandıkları el aletlerinden en önemlileridir. Hem hekim hem de hasta açısından tedavi süresini azaltması, kanalın anatomik yapısına uygun şekillendirme oluşturması, kurallara azami ölçüde uyulduğunda kanal içinde kırılma ihtimalinin düşük olması nedeniyle hekimler tarafından sıklıkla kullanılmaktadır.

Farklı çalışma ilkelerine sahip eğe çeşitliliği ile NiTi eğeler gelişmeye devam etmektedir. Hekimler farklı eğe çeşitleri arasından vakaya uygun eğe seçimi yaparken, tedavi edecekleri dişin lokalizasyonunu ve anatomik özelliklerini göz önünde bulundurmalıdır. Optimal eğe sistemini tercih ederken yeni nesil Blue wire ve Gold wire eğe sistemlerinin gelişmiş

esneklik, kesme etkinliği ve torsiyonel direnç gibi üstün özelliklerini göz önünde bulundurmak klinik başarıya olumlu katkılar sunabilir.

KAYNAKLAR

1. Buehler WJ, Gilfrich JV, Wiley RC. Effect of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition NiTi. *J Appl Phys.* 1963;34:1475-7.
2. Yoneyama T, Kobayashi C. Endodontic instruments for root canal treatment using Ni-Ti shape memory alloys. In: Yoneyama T, Kobayashi C. editors. *Shape memory alloys for biomedical applications.* St Louis; Elsevier: 2009. p. 297-305
3. Brantley WA. Introduction of nickel-titanium alloy to endodontics. In: Ingle JL, Bakland LK editors. *Ingle's Endodontics.* 6th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 2008. p.800-13
4. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys—a review. *Int Endod J.* 2018;51:1088-103.
5. T. Saburi. Ni-Ti shape memory alloys. In: Wayman CM, Otsuka K, editors. *Shape memory materials.* Cambridge: Cambridge University Press; 1999. p. 49-93
6. Walia H, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod.* 1988;14:346-51.
7. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PM. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topics.* 2005;10:30-76.
8. Svec TA. Endodontics instruments and armamentarium c. Instruments for cleaning and shaping. In: Ingle JL, Bakland LK editors. *Ingle's Endodontics.* 6th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 2008. p. 813-48.
9. Glosson CR, Haller RH, Dove SB, Carlos EA. comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *J Endod.* 1995;21:146-51.
10. Dietz DB, Di Fiore PM, Bahcall JK, Lautenschlager EP. Effect of rotational speed on the breakage of nickel-titanium rotary files. *J Endod.* 2000;26:68-71.
11. Peters OA, Peters CI. Cleaning and shaping the root canal system. In: Cohen S, Hargreaves KM editors. *Pathways of the pulp.* 9th ed. St Louis: Mosby; 2006. p. 290-310.
12. Fishelberg G, Pawluk JW. Nickel-titanium rotary-file canal preparation and intracanal file separation. *Compend Contin Educ Dent.* 2004;25:17-8.
13. Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J.* 2000;33:297-310
14. Alapati SB, Brantley WA, Iijima M, Clark WAT, Kovarik L, Buie C, Liu J, Johnson WB. Metallurgical characterization of a new nickel-titanium wire for rotary endodontic instruments. *J Endod.* 2009;35:1589-93.
15. Brantley WA, Svec TA, Iijima M, Powers JM, Grentzer TH. Differential scanning calorimetric studies of nic-

- kel-titanium rotary endodontic instruments after simulated clinical use. *J Endod.* 2002;28:774-8.
16. Krell KV. Endodontic Instruments. In: Gulabivala K, Ng YL editors. *Endodontics*. Elsevier: Mosby; 2009. p. 204-15.
 17. Bergmans L, Lambrechts P. *Root canal instrumentation*. 3th ed. New York: John Wiley & Sons; 2018. 100p.
 18. Haapasalo M, Shen Y. Evolution of nickel-titanium instruments: from past to future. *Endod Topics.* 2013;29:3-17.
 19. Miao W, Mi X, Wang X, Li H. Electropolishing parameters of NiTi alloy. *Trans Nonferrous Met Soc China.* 2006;16:130-2.
 20. Gavini G, Santos M, Caldeira C, Machado M, Freire LG, Iglecias EF, Peters OA, Candeiro GT. Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. *Braz Oral Res.* 2018;32:12-22.
 21. Hou XM, Yahata Y, Hayashi Y, Ebihara A, Hanawa T, Suda H. Phase transformation behaviour and bending property of twisted nickel-titanium endodontic instruments. *Int Endod J.* 2011;44:253-8.
 22. Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Fatigue testing of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2011;37:997-1001.
 23. Bojorque B, Marloth RT, Es-Said OS. Formation of a crater in the workpiece on an electrical discharge machine. *Eng Fail Anal.* 2002;9:93-7.
 24. Daneshmand S, Kahrizi EF, Abedi E, Abdolhosseini MM. Influence of machining parameters on electro discharge machining of NiTi shape memory alloys. *Int J Electrochem Sci.* 2013;8:3095-104.
 25. Singh S, Maheshwari S, Pandey PC. Some investigations into the electric discharge machining of hardened tool steel using different electrode materials. *J Mater Process Technol.* 2004;149:272-7.
 26. Pirani C, Iacono F, Sassatelli P, Nucci C, Lusvarghi L, Gandolfi G, Prati C. HyFlex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2016;49:483-93.
 27. Shen Y, Hieawy A, Huang X, Wang Z, Maezono H, Haapasalo M. Fatigue resistance of a 3-dimensional conforming nickel-titanium rotary instrument in double curvatures. *J Endod.* 2016;42:961-4.
 28. 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.
 29. Adıgüzel M, Capar ID. Comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne and WaveOne Gold small, primary, and large instruments. *J Endod.* 2017;43:623-7.
 30. Elnaghy AM, Elsaka SE. Shaping ability of ProTaper Gold and ProTaper Universal files by using cone-beam computed tomography. *Ind J Dent Res.* 2016;27:37.
 31. Silva EJNL, Muniz BL, Pires F, Belladonna FP, Neves AA, Souza EM, De-Deus G. Comparison of canal transportation in simulated curved canals prepared with ProTaper Universal and ProTaper Gold systems. *Restor Dent Endod.* 2016;41:1-5.
 32. Duque JA, Vivan RR, Cavenago BC, Amoroso-Silva PA, Barbardes RA, de Vasconcelos BC, Duarte MAH. Influence of NiTi alloy on the root canal shaping capabilities of the ProTaper Universal and ProTaper Gold rotary instrument systems. *J Appl Oral Sci.* 2017;25:27-33.
 33. Pinheiro SR, Alcalde MP, Vivacqua Gomes N, Bramante CM, Vivan RR, Duarte MAH, Vasconcelos BC. Evaluation of apical transportation and centring ability of five thermally treated NiTi rotary systems. *Int Endod J.* 2018;51:705-13.
 34. 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;40:1451-3.
 35. Vortex blue Rotary Files. <https://www.dentsplysirona.com/en-ca/products/endodontics/glide-path-shaping/vortex-rotary-files-learn-more.html#RotaryFiles>.
 36. VortexBlue@properties. https://www.dentsplysirona.com/content/dam/dentsply/pim/manufacture/Endodontics/Glide_Path_Shaping/Rotary_Reciprocating_Files/Shaping/Vortex_Blue_Rotary_Files/Vortex_Blue_Tip_Card_EN.pdf. Published 2012.
 37. Yared G. Reciproc blue: the new generation of reciprocation. *G Ital Endod.* 2017;31:96-101.
 38. Reciproc blue system. <https://www.vdw-dental.com/en/products/detail/reciproc-blue-instruments/>.
 39. De-Deus G, Moreira EJJ, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. *Int Endod J.* 2010;43:1063-8.
 40. You SY, Bae KS, Baek SH, Kum KY, Shon WJ, Lee WC. Lifespan of one nickel-titanium rotary file with reciprocating motion in curved root canals. *J Endod.* 2010;36:1991-4.
 41. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J.* ;2012;45:614-8.
 42. Liu R, Hou BX, Wesselink PR, Wu MK, She mesh. H. The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod.* 2013;39:1054-6.
 43. Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Effect of environment on fatigue failure of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2012;38:376-80.
 44. protaper gold broşür. https://www.dentsply.com/content/dam/dentsply/pim/manufacture/Endodontics/Glide_Path_Shaping/Rotary_Reciprocating_Files/Shaping/ProTaper_Gold_Rotary_Files/ProTaper-Gold-Brochure-p7btcwy-en-1502.pdf.
 45. Blum JY, Machtou P, Ruddle C, Micallef JP. Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: value of the safety quo-

- tient. J Endod. 2003;29:567-75.
46. Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pasqualini D. Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper rotary instruments. J Endod. 2004;30:228-30.
 47. Ruddle CJ. Single-file shaping technique: achieving a gold medal result. Dent Today. 2016;35:1-7.
 48. Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Filho MT, Tonomaru JMG, Pinto JC, Vivan RR. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. Clin Oral Investig. 2018;22:1865-71.
 49. Van der Vyver PJ, Vorster M. WaveOne® Gold reciprocating instruments: clinical application in the private practice: Part 1. Int Dent. 2017;7:6-19
 50. Webber J. Shaping canals with confidence: WaveOne GOLD single-file reciprocating system. 2015;6:34-40.
 51. de Menezes SEAC, Batista SM, Lira JOP, de Melo Monteiro GQ. Cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, ProDesign R and ProDesign Logic files in curved canals in vitro. Iran Endod J. 2017;12:468.
 52. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. Int Endod J. 2008;41:339-44.
 53. Plotino G, Ahmed HMA, Grande NM, Cohen S, Bukiet F. Current assessment of reciprocation in endodontic preparation: a comprehensive review—part II: properties and effectiveness. J Endod. 2015;41:1939-50.
 54. De-Deus G, Silva EJNL, Vieira VTL, Belladonna FGB, Elias CN, Plotino G, Grande NM. Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the Reciproc files. J Endod 2017;43:462-6.
 55. Keskin C, Inan U, Demiral M, Keleş A. Cyclic fatigue resistance of Reciproc Blue, Reciproc, and WaveOne Gold reciprocating instruments. J Endod. 2017;43:1360-3.
 56. 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;43:200-2.
 57. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G, Castagnola R, Rossetti A, Ozyürek T, Cordaro M, Fortunato L. Cyclic fatigue of Reciproc and Reciproc Blue nickel-titanium reciprocating files at different environmental temperatures. J Endod. 2018;44:1549-52.
 58. Gündoğar M, Özyürek T. Cyclic fatigue resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue nickel-titanium instruments. J Endod. 2017;43:1192-6.
 59. Cheung GSP, Zhang EW, Zheng YFA numerical method for predicting the bending fatigue life of NiTi and stainless steel root canal instruments. Int Endod J. 2011;44:357-61.
 60. Keskin C, Demiral M, Sarıyılmaz E. Comparison of the shaping ability of novel thermally treated reciprocating instruments. Restor Dent Endod. 2018;43.
 61. Elashiry MM, Saber SE, Elashry SH. Apical extrusion of debris after canal shaping with three single-file systems. Niger J Clin Pract. 2020;23:79-83 (2020).
 62. Al-Dhbaan AA, Al-Omari MA, Mathew ST, Baseer MA. Shaping ability of ProTaper gold and WaveOne gold nickel-titanium rotary file in different canal configurations. Saudi Endod J. 2018;8:202.
 63. Pereira ESJ, Peixoto IFC, Viana ACD, Oliveira II, Gonzalez BM, Bueno VTL, Bahia MGA. Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments. Int Endod J. ;2012;45:469-74.
 64. Bürklein S, Hinschitzka K, Dammaschke T, Schäfer E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. Int End J. 2012;45:449-61.