

Geçmişten günümüze endodontide kullanılan Nikel Titanyum aletler; evrimden devrime jenerasyonlar arası bir yolculuk

Nickel-Titanium instruments used in endodontics from past to present; a journey between generations from evolution to revolution

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Gürkan Güneç

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,
Endodonti A.D., İstanbul

Orcid ID: 0000-0002-7056-7876

Stj. Dt. Hüseyin Hamza Onay

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0001-5076-949X

Stj. Dt. Beril Ekinci

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0001-7643-0881

Stj. Dt. Ayşegül Özyer Yaran

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0003-4761-263X

Stj. Dt. Tennur Kasimi

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0002-0084-7004

Stj. Dt. Aleyna Danacı

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0003-1419-8778

Geliş tarihi: 2 Mayıs 2020

Kabul tarihi: 1 Aralık 2020

doi: 10.5505/yeditepe.2022.16056

Yazışma adresi:

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Gürkan Güneç

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,
Endodonti A.D.

Cumhuriyet Mahallesi, Beykent, Büyükçekmece /
İstanbul

Tel: 444 1997 /8262

E-posta: gunec.gurkan@gmail.com

ÖZET

Modern Endodontik tedavilerin başarı ve başarısızlıklarında diş hekimlerinin tecrübesi ve kullanılan teknolojik ürünlerin payı günümüzde çok önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle, klinisyenlerin büyüteç, dental operasyon mikroskobu, dental volumetrik tomografi, rubber-dam ve nikel-titanyum (NiTi) kanal eğeleri gibi ürünleri kullanması endodontik tedavinin başarısını anlamlı derecede arttırmaktadır. Kliniklerimizde, endodontik tedavi yaparken genellikle en çok kullandığımız alet ise paslanmaz çelik veya NiTi kök kanal eğe sistemleridir. Her iki farklı türdeki eğelerin kendi içerisindeki avantaj ve dezavantajlarına rağmen, günümüzde endodontik tedavi yapılırken NiTi'den yapılmış aletler daha çok tercih edilmektedir. NiTi eğelerin hızlı ve pratik kullanımına rağmen, diş hekimleri endodontik tedavi uygulamalarında bu eğelerin kullanımında dikkatli davranmaları ve kullanacakları NiTi eğeleri çok iyi tanımaları gerekmektedir. Bu derlemenin amacı; modern endodonti pratiğinde sıklıkla kullandığımız NiTi aletlerin yıllar içerisinde yapmış olduğu tasarım değişikliklerini, sistem güncellemelerini ve jenerasyonlar arası farklılıklarını değerlendirmek ve açıklamaktır.

Anahtar kelimeler: Ni-Ti jenerasyonlar, Ni-Ti alaşımlar, ısıl işlem, Ni-Ti aletler.

SUMMARY

In the success and failures of modern endodontic treatments, both the experience of dentists and the using technological products's parts are played a very important role today. In particular, practitioners make use of products such as loupe, dental operation microscope, dental volumetric tomography, rubber-dam and nickel-titanium (NiTi) rotary files significantly increases the success of endodontic treatment. The most commonly used instrument in endodontic treatment is stainless steel or NiTi rotary file systems in our clinics. Despite the advantages and disadvantages of both different types of files, the instruments made of NiTi are more preferred when administering endodontic treatment. In addition to despite the rapid and practical using of NiTi files, dentists need to be careful in the using of these files and know them very well in endodontic treatments. The purpose of this review is to evaluate and explain the design changes, system updates and intergenerational differences of NiTi instruments that we frequently use in modern endodontics treatment over the years.

Key words: Ni-Ti generations, Ni-Ti wires, heat treatment, Ni-Ti instruments.

GİRİŞ

Endodontik tedavinin birbiri ile ilişkili üç temel basamağı vardır. Bu basamakların birinde yapılabilecek hatalar, zincirleme bir şekilde diğer basamakları da etkilemektedir. Amacımız; bu üç basamaktan önemli bir yer tutan kök kanalı şekillendirme-

sini çok iyi yaparak, daha iyi bir kök kanalı temizliği ve dolgusu elde etmek olmalıdır.^{1,2,3}

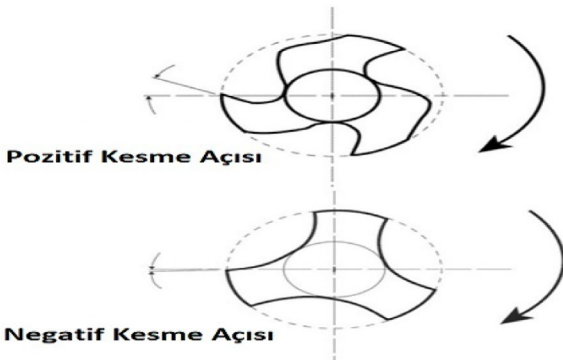
Şekillendirmede kritik bir öneme sahip olan kök kanalı anatomisi, Schneider'in kök kıvrıklığı (açısal olarak) kriterlerine göre⁴ kolay, orta (>10° ve <25°) ve zor (>25°) olarak sınıflandırılmıştır. Bu kök kanallarının şekillendirilmesinde, kullanılan geleneksel endodontik aletlerin esnekliğinin yeterli gelmemesi sonucu; basamak oluşumu, perforasyon oluşumu gibi sorunlarla karşılaşabilmektedir. Bu sorunları elimine etmek için 1990'ların başında Nikel-Titanyum (NiTi) alaşımından yapılan aletler kullanılmaya başlanmıştır.^{4,5} İhtiyaçlar doğrultusunda bu eğelere yeni özellikler kazandırmak için çeşitli ısıl işlemler uygulanmış, farklı kesit alanları ve değişken taper değerleri kullanılmış, kesme açıları farklılaştırılmış ve resiprokal hareket gibi yeni hareket sistemleri geliştirilmiştir.^{6,7,8}

Taper, endodontik bir eğenin apikal ucundan koronale doğru gidildikçe her milimetre başına artan çap miktarına denir. Örneğin Resim 1'de gösterilen 0.35 mm çapa ve .02 taper değerine sahip bir eğenin apikalden koronale doğru 3. mm'sinde eğe çapı artarak 0.41 mm olacaktır.



Resim 1. Taper nedir?

Kesme (rake) açısı aletin uzun aksına dik olan kesitle, kesici yüzeyin oluşturduğu açıdır.⁹ Çoğu geleneksel eğe Resim 2'deki gibi negatif ve nötral kesme açısı gösterir.



Resim 2. Pozitif ve Negatif Rake Açıları.

Negatif kesme açısı daha az agresif yapıya sahiptir ama eğenin kesiciliği gövde dizaynıyla değiştirilebilir.⁹ Ayrıca, tam pozitif bir ideal kesme açısı yerine nötrale yakın bir pozitif açıda olması da düşünülebilmektedir. Tam pozitif kesme açısı, agresif yapısı nedeniyle etkin bir şekillendirme yaparken, perforasyon riskini ve vidalanma eğilimini artmaktadır. Ayrıca, buna bağlı olarak da kesici kısımda kırılmalara sebep olabilir.⁹

Bu derlemenin amacı, endodontik tedavide sıklıkla kullanılan NiTi aletleri tanımlamak, değerlendirmek, pratikte kullandığımız bu eğeleri karşılaştırmak ve tüm jenerasyonlar hakkında bilgi vermektir.

BİRİNCİ JENERASYON NİTİ EĞELER (GELENEKSEL NİTİ EĞELER)

Birinci jenerasyon eğeler birçok sistemin temelini oluşturmuş, fakat günümüzde pek fazla kullanılmamaktadır. Bu jenerasyondaki eğelerin uç çapları, taper değerleri ve uzunlukları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. 1. Jenerasyon eğeler.

1. Jenerasyon Eğeleri	Çapları ve Uzunlukları
LIGHTSPEED	#20-80 / 21, 25, 31 mm
HERO 642	#20-45 / .02, .04, .06 / 21 ve 25 mm
QUANTEC	#15-60 / .02, .03, .04, .05, .06, .08, .10, .12 / 17, 21 ve 25 mm
PROFILE	#15-80 / .02, .04, .06 / 21, 25 ve 30 mm
GT ROTARY FILES	#20, 30 ve 40 / .04, .06, .08, .10 / 18, 21 ve 25 mm
FLEX MASTER	#15-40 / .02, .04, .06 / 25 mm

LIGHTSPEED (LightSpeed Technology, Inc., San Antonio, Teksas, ABD)

Dr. Steve Senia ve Dr. William Wildey tarafından tasarlanan LightSpeed NiTi döner alet sistemi Greater Taper (GT) sistemi ile benzer kesite sahiptir.⁴ Lightspeed eğesi kök kanal şekillendirmesinde kullanılan ilk NiTi eğe sistemidir. Lightspeed eğeleri 1993 yılında Canal Master U tasarımı esas olarak üretilmiştir.¹⁰ Uzun gövdeleri ve kısa çalışma uçları ile gates glidden frezleri andırmaktadır. LightSpeed sistemini diğer sistemlerden ayıran özellik eğelerinde uzun, esnek ve yivsiz bir shaft ve kesici olmayan bir rehber uçla beraber kısa kesme uzunluğu (0.25-2mm) bulunmasıdır. Bu gövde tasarımının eğeye sağladığı esneklik transportasyon riski azalmaktadır. Ayrıca kısa kesme uzunluğu kök kanalının koronal ve orta üçte birinde aşırı şekillendirmeye gerek kalmadan apikal bölgenin tek başına şekillendirilme sağlarken kullanılan eğe sayısı arttırmaktadır.

S. Lodd Tharuni ve ark. yaptığı çalışmada;¹¹ kıvrımlı kanallarda K tipi paslanmaz çelik eğeler ve NiTi Lightspeed döner alet sistemlerinin kök kanal hazırlığında etkinlikleri karşılaştırılmıştır. K tipi eğelerin kök kanalının apikalinde daha fazla genişlemeye, transportasyon ve basamak olu-

şumuna neden olduğu belirlenmiştir. Lightspeed eğele-riyse minimum transportasyon oluşumuna sebep olmuş ve merkezi eksenini koruyarak kök kanalı bütünlüğünün korunmasına katkıda bulunmuştur.

HERO 642 (Micro Mega, Besençon, Fransa)

H file eğeleri modifiye edilerek elde edilen Hero 642, Micro Mega firması tarafından üretilmiş bir sistemdir. Üç aktif kesme yüzeyine sahiptir,¹² bu uçlar yuvarlatılmış olup eğenin daima kanalın merkezinde bulunmasını ve debrisi koronale doğru vererek apikalden debris çıkışını azaltmaktadır.

Taşdemir ve ark. yaptığı çalışmada;¹³ K tipi paslanmaz çelik eğeler ve Hero 642 döner alet sistemlerinin kök kanal hazırlığında etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Hero 642 döner aletlerle orta ve koronal seviyelerde paslanmaz çelik K eğelerine göre daha az transportasyon meydana geldiği (orta: P <0.05 ve koronal: P <0.001) belirtilmiştir. Hero 642 döner aletler, her üç seviyede de K tipi paslanmaz çelik eğelerden daha iyi merkezleme kabiliyetine sahip olduğu gösterilmiştir (apikal: P <0.05, orta: P <0.05 ve koronal: P <0.001).

QUANTEC (Tycom, Irvine, CA, ABD)

Quantec NiTi rotary sistemi 1990'ların sonunda, Dr. John McSpadden tarafından tanıtılmıştır. Quantec sistemi 10 farklı uzunlukta, çapta ve taperda eğeden oluşan bir sistemdir. K3 sisteminde rehber alınan Quantec'in gelişimi, o dönemdeki diğer mevcut sistemlerden önemli farklara sahiptir. Bu sistemin enine kesit tasarımında bulunan üç adet kesici yiv, pozitif rake açısı ve asimetrik radyal alanlar Quantec sistemine mükemmel kesme yeteneği sağlamıştır.¹⁴

Hülsmann ve ark yaptığı çalışmada;¹⁵ Quantec SC NiTi rotary sistemi ve LightSpeed NiTi rotary sistemlerinin kök kanal hazırlığındaki etkinlikleri karşılaştırılmıştır. İki sistemin de kanal kurvatürlerine uyumlu olduğu ve aralarında anlamlı bir farklılık olmadığı belirtilmiştir. Quantec SC ile hazırlanan kök kanallarının on ikisinde, LightSpeed ile hazırlanan kök kanallarının on birinde komplikasyon meydana geldiği görülmüştür. Kök kanal temizliği açısından iki sistemin de tek başına yeterli olmadığı belirtilmiştir.

PROFILE (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)

1994'te Dr. Johnson, ProFile .04 ve ProFile .06 NiTi döner alet sistemlerini tanıtmıştır.¹⁶ Geleneksel eğelere göre artan bir tapera, ince ve esnek bir gövde yapısına sahiptir. U kesitli oluklar kök-kanal duvarında şekillendirme yaparken ortaya çıkan debrisin çıkışı için yer sağlar.¹⁷ Kesici olmayan uç ve simetrik radyal alan tasarımı eğenin kanalın merkezinde kalmasını sağlar ve olası kanal transportasyonu ve diğer hataların önüne geçer.¹ Bununla birlikte, negatif rake açısına sahip olması nedeniyle kök kanalı şekillen-

dirmesi yaparken eğenin kök dentinine vidalanması önlenir.9 Profile sisteminin değişken uzunluktaki eğelerinin çalışma uzunluğu 16 mm'dir. Tavsiye edilen kullanım hızı 150-300 rpm olarak önerilmektedir.¹⁸

Madan ve ark yaptıkları çalışmada;¹⁹ K tipi el eğeleri ve ProFile NiTi döner sistemlerinin kök kanal hazırlığı süreleri ve temizleme verimliliklerini karşılaştırmıştır. Kök kanalının koronal üçte birinde, ProFile NiTi döner sistemi K tipi el eğelerinden daha iyi performans göstermiştir, ancak temizleme verimliliklerinde anlamlı bir fark bulunmamıştır (P = 0.56). Kök kanallarının orta üçte birinde de istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (P = 0.19). Apikal üçte bir alanda, K tipi el eğeleri ProFile NiTi döner alet sistemine göre anlamlı derecede kök kanallarını daha iyi temizlediğini belirtmiştir (P <0.001).

PROFILE GT ROTARY FILES (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)

Dr. L. Stephen Buchanan tarafından ProFile ailesine katılan ege sistemi sayesinde birçok zor ve kıvrık kök kanalları minimum apikal transportasyon riski ile rahatlıkla şekillendirilebilmektedir. Üretiminde kullanılan reamer ve K tipi ege yapısının güçlü özellikleri ile kırılmalar elimine edilmiştir. Eğenin sap kısmındaki her şerit .02 taperı simgelemektedir.¹⁷ Profile GT Rotary sistemi dar kanallarda kullanımı için System GT® 20 Series, orta genişlikte kanallarda kullanımı için System GT® 30 Series, geniş kanallarda kullanım için System GT® 40 Series eğelerinden oluşmaktadır.²⁰

Lynn J. Albrecht ve ark.²¹ yaptığı çalışmada; #20 ve #40 numaralı ProFile GT Rotary sistemini kullanarak kök kanalı hazırlığında şekillendirme yeteneği ve debris uzaklaştırabilme etkinliklerini değerlendirmişlerdir. Dişler apeksten 1 mm ve 3 mm uzaklıktan kesilmiş ve kalan debris miktarı toplam lümen alanının yüzdesi olarak hesaplanmıştır. Apikalde istenilen çapa hazırlık boyutu, taper değeri, toplam irigasyon hacmi, irigasyon iğnesi penetrasyon derinliği ve çalışma uzunluğuna ulaşmak için gereken endodontik alet değişiklik sayısı değerlendirilmiştir. 1 mm seviyesinde #20 numaralı egeyle şekillendirilen preparatlarda önemli ölçüde daha fazla debris yüzdesi gözlenmiş (p = 0,982), 3 mm'de gruplar arasında önemli bir farka rastlanmamıştır. Sonuçlara göre #40 numaralı eğenin kök kanalı debrisini .04, .06 ve .08 ProFile GT aletleri kullanılarak daha etkili bir şekilde uzaklaştırdığı belirtilmiştir.

FLEX MASTER (VDW, Munich, Almanya)

Flex master eğeleri K tipi eğeler baz alınarak üretilen kesme kenarlarına sahiptir. Eğeler radyal alana sahip değildir,²² bu özellik eğelere mükemmel şekillendirme kabiliyeti ve dayanıklılık sağlamıştır. Flex Master eğeleri, üzerinde daha az stres olduğundan firmaya göre 8 kez kullanılabilir ve şekillendirme işlemi manuel olarak kullanılan el eğelerine göre %50 daha hızlı gerçekleştirir. NiTi eğenin

pasif ucu ve dışbükey üçgen kesiti, eğenin kök kanalının merkezinde kalmasını sağlamaktadır. Eğenin shaft kısmında renkli halkalar bulunur. Bu sayede taperları kolaylıkla anlaşılabilir. VDW firması eğeleri dar, orta ve geniş çaptaki kök kanallarında kullanılmak üzere ayırıp özel bir endobox oluşturmuştur.

Hübscher ve ark. yaptığı çalışmada;²³ FlexMaster döner aletleri ile maksiller molar dişlerinde, kavslu ve dar kök kanallarını şekillendirme komplikasyonları yaşamaksızın şekillendirebilmiştir. Kanal anatomisinin, kök kanalı hazırlığı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca; FlexMaster döner aletlerinin dar hacimli kanalların yanı sıra geniş hacimli kanalları da kolayca şekillendirebildiği belirtilmiştir.

İKİNCİ JENERASYON NİTİ EĞELER

İkinci jenerasyondaki eğelere Tablo 2'de birinci jenerasyon eğelerinden ayıran bazı özellikler eklenmiştir. Elektroparatma yöntemi sayesinde eğeler üzerindeki yüzey düzensizlikleri giderilmiş, eğelere yüksek korozyon ve yorulma direnci sağlanmış ve eğelerin kesme verimliliğinde de bir artış olmuştur.¹⁶ Kesme kenarları agresif yapısı nedeniyle etkin bir kesim yapabildiği için daha az eğe kullanımı ile kök kanal şekillendirmesi sağlarken hatalı kullanımlarda özellikle dar ve kıvrık kök kanal anatomisine zarar verebilmektedir.

Tablo 2. 2. Jenerasyon eğeler.

2. Jenerasyon Eğeleri	Çapları ve Uzunlukları
PROTAPER UNİVERSAL	#18-50 / .02, .04, .05, .07, .08, .09/ 19, 21, 25 ve 31 mm
RACE AİLESİ	#10-60 / .02, .04, .06 / 17, 21, 25 ve 31 mm
K ³ SYSTEM	#15-60 / .02, .04, .06, .08, .10, .12 / 17, 21 ve 25 mm
MTWO	#10-60 / .04, .05, .06, .07 / 25 mm
PROTAPER GOLD	#18-50 / .02, .04, .05, .07, .08, .09 / 19, 21, 25 ve 31 mm
HERO SHAPERS	#18-50 / .02, .04, .05, .07, .08, .09/ 19, 21, 25 ve 31 mm

PROTAPER UNIVERSAL (Dentsply Sirona, York, PA, ABD)

2001 yılında ProTaper sistemi eğe tasarımında yeni bir konsept ile birlikte tanıtıldı. Bu sistemde kullanılan eğeler, kesme yivleri boyunca değişen ve artan taperlar içermesi, dışbükey üçgen bir enine kesitle birleştirilmiş olması sayesinde crown-down şekillendirme tekniğiyle aletlerin kanalın belirli bir alanında çalışmasına, dentin duvarlarıyla eğe temasının azaltılmasına ve dolayısıyla eğe üzerindeki stresin azalmasına olanak sağlamıştır.¹⁶

Protaper sisteminde D0/D14 çapı 0.19/1.20 mm olan SX (#19), D0/D14 çapı 0.17/1.20 mm olan S1(#17), D0/D14 çapı 0.20/1.20 mm olan S2 (#20), F1 (#20/.07), F2 (#25/.08), F3 (#30/.09) eğeleri bulunmaktadır.²⁴

2006 yılına Protaper Universal sistemi; Protaper sisteminin

özelliklerinin iyileştirilmesine ihtiyaç duyulması nedeniyle, bazı eğelerin enine kesit alanı değiştirilerek, yeni şekillendirme eğeleri olan F4 (#40/.08) ve F5(#50.05) eğelerinin eklenmesi ile geliştirilmiştir.

RACE AİLESİ (FKG, La Chaux-de-Fonds, İsviçre)

RaCe ailesi 1999 ile 2012 yılları arasında elektroparatma işlemi kullanılarak üretilen ve rotary hareket kullanan şekillendirme eğeleridir. Eğeler üçgen şeklindeki enine kesit tasarımı ve kesici kenarların eğenin eksenine göre sıralı olarak uzunlamasına veya oblik yönde düzenlenmesi, üretilmeye göre eğenin ilerleme hızını kolaylaştırır ve kök kanalı içindeki vidalanma etkisini azaltır.²⁵ BT RaCe sistemi, Race sistemine güçlendirici uç eklenmesi ile 2014 yılında FKG tarafından piyasaya sürülmüştür. BT RaCe ve IRaCe sistemleri hızlı ve verimli bir şekillendirme yapabilmek için 3 eğe biçiminde tasarlanmıştır, fakat BIO RaCe sistemi 6 eğe biçiminde tasarlanarak güvenli ve biyolojik bir şekillendirme sağlamaktadır.

Busquim ve ark.²⁶ 30 adet mandibular dişin distal kanallarında yaptığı çalışmada; BioRace ve Reciproc sistemini karşılaştırırken, BioRace sisteminin orta ve servikal 1/3'ünde daha az miktarda dokunulmamış dentin duvarı alanı bıraktığı sonucuna varmışlardır.

K3 SİSTEMİ (Sybron Endo, West Collins, CA, ABD)

K3 sisteminde en belirgin özellik pozitif kesme açısı ve üçüncü bir radyal alana sahip olmasıdır.¹⁷ Radyal alanların ikisinin arasında sürtünmeyi azaltan rahatlatıcı bölge vardır. Asimetrik olarak yerleştirilmiş radyal alanlar eğelerin kanal boyunca rahatça ilerlemesine çevresel destek sağlarken, transportasyon riskini ve vidalanma etkisini de engeller.²⁷ "Merkezi kor çap / Dış çap" oranı apikalden koronale doğru gidildikçe artmaktadır. Bu tasarım eğenin apikaline doğru gidildikçe dayanıklılığı artırırken koronale doğru gidildikçe esnekliğin artmasını sağlar.¹²

Akhlaghi ve ark.²⁸ 45° kanal eğriliğe sahip olan 24 adet şeffaf reçine blok üzerinde K3 ve Protaper sistemlerinin etkinliklerini karşılaştırdığı çalışmada, her iki döner alet sisteminin de kanalın orjinal yapısını koruduğu ancak K3 sisteminin anlamlı derecede daha fazla madde kaldırarak daha hızlı bir şekillendirme gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir.

MTWO (VDW, Munich, Almanya)

2003'te Prof. Dr. Vito Malagnino tarafından geliştirilmiştir. Birçok döner alet sisteminden farklı bir çalışma prensibine ve S şeklinde eğe kesit tasarımına sahip olan Mtwo sistemindeki her yeni eğe çalışma uzunluğunda kullanılacak bir sonraki eğe için glide path oluşturarak gereksiz diş dokusu kaldırmadan apikalden koronale şekillendirme sağlar.²⁹ Kesici kenarlar, eğenin ucunda birbirine daha yakındır böylece apikal bölgede daha hassas, servikal üçlüde daha etkin bir şekillendirme yaparak debris çıkışını kolaylaştırırken^{30,31} vidalanma etkisini de azaltır. ^{16,32}

Ayrıca, Reciproc sistem eğeleri Mtwo sistemi baz alınarak oluşturulmuştur.

Ellemieke ve ark.³³ çekilmiş premolar dişler üzerinde Protaper, Mtwo ve SAF sistemlerinin kanal duvarlarına olan etkilerini karşılaştırdığı çalışmada; sırasıyla Protaper ve Mtwo sistemlerinin anlamlı derecede daha fazla dentin duvarı çatlağına neden olurken SAF sistemi eğeleri daha az çatlağa neden olmuştur. Bunun nedeni; Mtwo ve Protaper eğelerinin aktif kesme hareketi kullanması ve tapera sahip olmaları sonucunda dentin duvarlarını inceltirek dentin duvarı çatlağında artışa neden olmasıdır.

PROTAPER GOLD (Dentsply Sirona, York, PA, ABD)

ProTaper Gold, boyut, taper ve enine kesit dahil olmak üzere eğelerin morfolojisi bakımından ProTaper Universal sistemine benzerdir. ProTaper Gold'u, ProTaper Universal'den ayıran "Gold ısıtma işlemi" sayesinde, eğelerin esnekliği ve döngüsel yorgunluğa karşı direnci artarak, kıvrık kök-kanallarına sahip dişlerin merkezde kalarak şekillendirilmesine yardımcı olur.³⁴ Buna ek olarak, Gold eğelerin şaftının ProTaper Universal eğelerinden daha kısa olması (11mm), kök kanal sistemine girişlerini kolaylaştırmaktadır.¹⁶

Gagliardi ve ark.³⁴ iki ayrı mesial kanala sahip yirmi dört mandibular birinci molar dişi, mikro bilgisayarlı tomografi tarama kullanılarak Protaper Universal (PTU), Protaper Gold (PTG) ve Protaper Next (PTN) eğelerini değerlendirdiği çalışmada; PTG ve PTN'in PTU'dan daha az taşıma riski gösterdiği ve dentin duvarlarını daha fazla koruduğu sonucuna varmıştır. Ancak ölçülen parametrelerdeki farklılıklar az olması nedeniyle orta derecede kavisli kök kanallarını şekillendirmesi sırasında anlamlı bir farklılık oluşmamıştır.

HERO SHAPER (Micro-Mega, Besançon, Fransa)

Hero 642 sisteminden köken almış olup, Revo-S sisteminin de atasıdır. Hero 642 sisteminde olduğu gibi üçlü sarmal kesit alanına sahiptir. Eğeler değişken heliks açısı ve 'adaptive pitch' tasarımı sayesinde vidalanma etkisi azalmaktadır.³⁵ Schneider'in⁴ sınıflamasına göre kolay kanallarda iki adet, orta zorluk derecesindeki kanallarda üç adet, zor kanallarda dört adet eğe kullanımı ile şekillendirme bitirilebilir.

Cumhur ve ark.³⁶ 40 adet resin blok üzerinde Race ve Hero Shaper sistemlerinin şekillendirme kabiliyetini karşılaştırdığı çalışmada; RaCe sisteminin apikal 1/3 'te daha fazla reçine çıkarırken, Hero Shaper sisteminin orta ve koronal 1/3'te anlamlı derecede daha fazla reçine kaldırdığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca Hero Shaper sistemi daha iyi merkezleme kabiliyeti ve anlamlı derecede daha az sapma göstermiştir.

ÜÇÜNCÜ JENERASYON NİTi EĞELER

2007'de, M-Wire (Dentsply, Tulsa Dental/ Maillefer, Bal-laigues, İsviçre) olarak bilinen yeni bir NiTi alaşım geliştirilmiştir. Geleneksel SE (süper elastik) NiTi eğeler (1. ve 2. Jenerasyon) östenit fazdadırlar. Günümüzde SE NiTi alaşımların termal işlemlerle yapısal özelliklerinin iyileştirilmesi için yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Bu alandaki gelişmeler Tablo 3'de üçüncü, Tablo 4'te dördüncü ve Tablo 5'te ise beşinci jenerasyon NiTi eğeleri ortaya çıkarmıştır.

Tablo 3. 3. Jenerasyon eğeler.

3. Jenerasyon Eğeleri	Çapları ve Uzunlukları
K ³ XF	#25-40 / .04, .06, .08, .10, .12 / 17, 21 ve 25 mm
TWISTED FILE	#25-40 / .04, .06, .08, .10, .12 / 23 ve 27 mm
PROFILE GT SERIES X	#20, 30, 40 / .04, .06, .08 / 21, 25 ve 31 mm
HYFLEX CM	#15-60 / .04, .06, .08 / 19, 21, 25 ve 31 mm
XP-ENDO	#25 ve 30 / .00 ve .04 / 25 mm
ENDOART	#15-60 / .02, .04-.08 / 16, 21, 25 ve 31 mm
ROTATE	#15-60 / .04 ve .06 / 21, 25 ve 31 mm
PROFILE VORTEX	#15-50 / .04 ve .06 / 21, 25 ve 31 mm
TYPHOON	#20-45 / .04 ve .06 / 21, 25 ve 31 mm
PRODESIGN LOGIC	#25-40 / .01, .05, .06 / 21 ve 25 mm

Tablo 4. 4. Jenerasyon eğeler.

4. Jenerasyon Eğeleri	Çapları ve Uzunlukları
RECIPROC	#25, #40, #50 / 21, 25 ve 31mm
RECIPROC BLUE	#25, #40, #50 / 21, 25 ve 31mm
WAVEONE	Small #21/.06, Primary #25/.08, Large #40/.08 / 21, 25, 31 mm
WAVEONE GOLD	Small #20/.07, Primary #25/.07 Medium #35/.06, Large #45/.05 / 21, 25, 31 mm
X1 BLUE	#20, #25, #40 / .06 / 25 mm
SAF (Self-Adjusting File)	Çap 1.5 mm ve 2.0 mm. SAF 1.5 mm = #20-35 SAF 2.0 mm = #35-60 21 mm, 25 mm ve 31 mm

Tablo 5: 5. Jenerasyon eğeler.

5. Jenerasyon Eğeleri	Çapları ve Uzunlukları
REVO S	#25, 30, 35, 40 / .04, .06 / 21, 25 ve 29 mm
ONE SHAPE	#25 / .06 / 21, 25 ve 31 mm
PROTAPER NEXT	X1 (#17/.04), X2 (#25/.06), X3 (#30/.07), X4 (#40/.06), X5 (#50/.06) / 21, 25 ve 31 mm
HYFLEX EDM	Şekillendirme Seti Basit #10/.05, #25/~, #25/.12 / 15 mm, 21 mm ve 25 mm Şekillendirme Seti Orta #10/.05, #20/.05, #25/~ / 21 mm ve 25 mm Şekillendirme Seti #40/.04, #50/.03, #60/.02 / 21 mm ve 25 mm

Termal işlem uygulanan NiTi eğeler; östenit ve martensit fazların özelliklerine sahiptir. Martensitik faz evresini gerçekleştirmiş alaşım, ikili faz içeren yapısı sayesinde çok fazla enerji absorbe etme özelliğine sahip olmuştur.³⁷ Geleneksel NiTi alaşımlarından üretilen eğelerle karşılaştırıldığında, M-Wire alaşımından yapılan eğeler daha yüksek döngüsel yorulma direncine ve gelişmiş mekanik özelliklere sahiptir.^{38,39} Eğeler üretilirken bitim aşamasından önce çeşitli sıcaklıklarda ısıtılma tabii tutulan Nitinol 508 alaşımından (ağırlıkça %55.8 Ni, %44.2 Ti) yapılmaktadır.^{38,39} 2008 yılında, Sybron Endo (Glendora, CA, ABD), özel bir ısıtılma işlemi uygulayarak yeni bir NiTi ürün piyasaya çıkarmıştır. Bu üründe, mekanik üretimden kaynaklanan gerilmeleri önlemek için alaşımın kristal yapısında esnekliği ve mukavemeti artırarak ilave bir faz değişikliği yaratmıştır. NiTi alaşımının bu fazı (R fazı) martensit ve östenit fazları arasında bir ara fazdır ve martensitik dönüşüm (MD) esnasında görülmektedir (R fazından martensite).^{40,41}

K3XF (Glendora, CA, ABD)

SybronEndo firması tarafından özel bir ısıtılma işlemi olan R-Faz işlemi ile üretilen K3XF NiTi eğe sistemi, geleneksel işlemle üretilen K3 sistemine kıyasla daha iyi mekanik özellik ve üretimindeki R-Faz teknolojisi sayesinde, esneklik ve kırılma dayanımı göstermiştir.^{42,43} Eğe yüzeyindeki pozitif eğim açısı, K3XF'e aktif kesme hareketi sağlar. Geniş bıçak desteği ile azaltılan radyal alan ise eğe üzerinde oluşan bükülme ve dönme stresine karşı periferik kuvvet uygular. Radyal alanda oluşan bu boşluk ile kök kanal duvarlarına sürtünme azalır ve üçüncü radyal alan ise eğeyi kök kanalı içerisinde merkezde sabit tutar ve aşırı yükü azaltır.¹⁶ Pérez-Higuera ve ark.⁴⁴ K3, K3XF ve TF eğelerinin rotasyon ve resiprokal hareket altında döngüsel yorulma direncini karşılaştırmak için yaptıkları bir çalışmada tüm eğelerin resiprokal hareket altında daha uzun ömürlü olduğu (K3 için %100, K3XF için %87 ve TF için %99); rotasyonel hareket altında ise K3XF, K3 ve TF'den daha dirençli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmadan yola çıkarak resiprokal hareket ve R-faz işleminin eğelerin döngüsel yorulma direncini artırdığı düşünülebilir.

TWISTED FILE (TF) (Glendora, CA, ABD)

Twisted File, nikel titanyumdan oluşan telin eksenine etrafında döndürülüp burulmasıyla Sybron Endo tarafından R-Faz işlemi ile üretilmiş bir sistemdir ve geleneksel yöntemlerle üretilmiş NiTi eğelere göre kırılmaya karşı daha dayanıklı olduğu düşünülmektedir.^{16,45} R-faz işlemi gören TF sistemi, endodontik plastik deformasyonla üretilen ilk NiTi egedir. Metal bir telin bükülmesini ve ısıtılma işlemi görmesini içeren bu imalat yöntemi (yeniden kristalizasyon) ile TF sistemi, geleneksel ve süper elastik (SE) yapıdaki nikel titanyumdan yapılan eğelere kıyasla daha fazla elastikiyet ve döngüsel yorulma direnci göstermektedir.¹⁶ Aynı-

ca, TF eğelerinin esnekliğini değiştirmeden, eğenin sertliğini artırmak için eğelere oksidasyon banyosu ile özel bir elektrokimyasal yüzey işlemi de uygulanmaktadır.⁴⁶ Anterior ve posterior dişlerin kök kanallarında kullanılmak üzere üretici firmanın iki farklı seti mevcuttur. Anterior dişlerin kök kanalları genellikle daha geniş hacimde olduğu için daha büyük çaptaki eğeler tercih edilirken posterior kök kanalları için daha küçük çaplarda eğeler tercih edilebilmektedir.¹⁶

PROFILE GT SERIES X (Maillefer, Ballaigues, İsviçre)

GT Series X (GTX) sistemi Dentsply Sirona tarafından M-Wire teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Daha hızlı kesim için kanal duvarına teması azaltan sarmal bir açığı ve değişken radyal alanı mevcuttur. Geniş yivleri sayesinde yüksek kesme verimliliğine sahiptir. Geniş yivler eğenin dönüş sayısını azaltarak eğeye düşük döngüsel yorulma sağlamaktadır.⁴⁴

Peixoto ve ark.⁴⁶ ProFile GT ve GT Series X aletlerinin yapısal ve boyutsal özelliklerini dikkate alarak döngüsel yorulmasını ve burkulma direncini karşılaştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada döngüsel yorulma karşı GT Series X eğeleri, ProFile GT eğelerinden daha dirençli olduğu, ancak daha düşük burkulma direncine sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonuca ulaşılmasında ProFile GT ve GT Series X eğelerinin farklı yapısal ve boyutsal özellikleri olduğu düşünülmektedir.

HYFLEX CM (Cuyahoga Falls, OH, ABD)

2011'de, Coltene / Whaledent, Hyflex adında CM-Wire'dan (Johnson City, TN, ABD) yapılan eğeleri piyasaya sürmüştür.^{47,48} HyFlex™ CM (controlled memory) NiTi eğeleri, materyalleri kontrol eden ve eğeleri son derece esnekleştiren bir işlemle üretilmektedir. Böylece bu eğe, kök kanal anatomisine çok uyum sağlayarak taşıma ve perforasyon riskini azaltmaktadır. HyFlex™ CM NiTi eğeleri, aşırı dirence karşı spirallerinin düzleştirilmesi ile cevap verir ve böylece kırılma direnci artmaktadır. Bu adaptasyon durumu eğeye ısı uygulandığında hızlıca geri çevrilebilir ve böylece aynı eğe otoklavlama sırasında orijinal şekline geri döndürüle bilmektedir. Üretici firmanın iddiası ise; bu işlemin eğeleri güçlendirerek döngüsel yorulma karşı daha dirençli olmalarını da sağlamasıdır. Bununla birlikte Hyflex CM eğeleri, geleneksel SE yapıdaki NiTi sistemlerine kıyasla, daha fazla döngüsel yorulma direncine sahiptir.^{47,48} Hyflex CM yapısındaki örnek bir NiTi eğe sisteminde; #25.08: Koronal şekillendirme: kesme potansiyelini artıran üçgen bir enine kesite sahiptir. #.04: Eğeler kök kanalının daha dar bölgesinde çalışma direncini arttıran dörtgen bir enine kesite sahiptir. #.04 ve .06: Son şekillendirme işlemi, üçgen kesitli ve daha farklı büyüklükte uç çapına sahip eğeler kullanılarak gerçekleştirilir.¹⁶

Hero Shapers, Hyflex CM, One Shape, Profile Vortex ve Protaper Next rotary NiTi eğelerinin döngüsel yorgunluk direncinin değerlendirildiği in vitro çalışmada, döngüsel yorgunluk direnci en yüksek Hyflex CM; en düşük Hero Shapers olarak bulundu. Bu sonuca göre, Hyflex CM NiTi eğeleri, klinik olarak eğe kırığının nedenlerinden biri olan döngüsel yorgunluğun ortadan kaldırılmasına yardımcı olacak üstün direnç ve uzun sağkalım süresine sahip oldukları için keskin kıvrımlı veya kavisli kök kanallarda kullanılabilir.⁴⁹

XP-ENDO AİLESİ (Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre)

Son yıllarda FKG firması, XP-endo eğelerin üretimi için Max Wire (Martensite-Austenite Electropolishing-Flex) olarak bilinen özel bir NiTi alaşımı geliştirmiştir.¹⁶ Bu alaşım 35°C'de ya da daha yüksek sıcaklıklarda martensit fazdan östenit faza geçmektedir. Bu durumda NiTi eğeler çalışırken kök kanal duvarlarına temas etmesini sağlayan yarı dairesel bir şekil almakta ve eksentrik döner hareket sergilemektedir. Böylelikle XP endo eğeleri kök-kanal morfolojisine adapte olabilmekte ve genişleyerek veya daralarak çalışma uzunluğunda apikale doğru ilerlemektedir.¹⁶ Aynı firma bu özel alaşım sayesinde XP-endo Finisher (XP-F), XP-endo Finisher Retreatment (XP-R) ve XP-endo Shaper (XP-S) sistemlerini geliştirmiştir.⁴⁵ XP endo Finisher'in temel amacı, dentini ve kök kanal anatomisini korurken kök kanal duvarlarının ulaşılması zor alanlarına dokunarak kimyasal ve mekanik şekillendirmenin sonunda kök kanalının tamamlayıcı temizliğini sağlamaktır.¹⁶ XP-F, mekanik hareketi sırasında yıkama solüsyonunu ajite ederek kök kanalı ve dentin tübüllerinde bakteri ve biyofilm uzaklaştırılmasında başarılı olduğu görülmektedir.^{50,51}

Uslu ve ark.⁵² tarafından Reciproc Blue , HyFlex EDM ve XP-endo Shaper eğelerinin kök kanal şekillendirmesi sırasında çıkardıkları debris miktarını kıyaslamak amacıyla yaptıkları çalışmada test edilen eğelerin çıkardıkları debris miktarı sırasıyla Resiproc Blue>HyFlex EDM >XP-endo Shaper olduğunu gözlemlenmiştir. Bu çalışma doğrultusunda Resiproc Blue NiTi eğesinin kullandığı hareket (resiprokal) ve gördüğü ısıl işlem (blue ısıl işlemi) sayesinde diğer eğelere kıyasla daha etkili olduğu düşünülmektedir.

ENDOART (İnci Dental, İstanbul, Türkiye)

EndoArt NiTi eğeleri, özel ısıl işlem teknolojisi ile üretilmiştir. Üçgen şeklinde bir kesitte resiprokal ve rotary kök kanal eğeleri mevcuttur. Blue ve Gold ısıl işlemi sayesinde yüksek esneklik kazanan bu eğeler döngüsel yorulmaya karşı daha dirençlidir, eğeler güvenli ve hızlı bir şekillendirme yaparak kök kanal anatomisinin şeklini alır kırılmaya karşı dayanıklılığı artar.⁵³

ROTATE (VDW, Münih, Almanya)

VDW firmasının yeni bir ısıl işlem uygulayarak Mtwo güncellemesi olarak piyasaya sürdüğü bu eğeler: Kesme verimliliğinden ödün vermeden esnekliği artırmak için uygulanan yeni ısıl işlem sayesinde eğenin döngüsel yorulma direnci artmakta ve eğenin kırılma riski azalmaktadır.⁵⁴ Daha yüksek kesme verimliliği için S şeklinde enine kesiti debrisin etkili şekilde kaldırılmasını sağlamaktadır. Kanal anatomisine daha iyi uyum için artan esneklik sayesinde eğenin transportasyon riski de azalmaktadır.⁵⁴ ROTATE sistemi, farklı kök kanal anatomilerinde etkili bir şekillendirme yapabilmek için çeşitli NiTi eğe seçenekleri sunmaktadır.

PROFILE VORTEX & VORTEX BLUE (Dentsply, York, PA, ABD)

Dentsply Sirona tarafından üretilen M-Wire alaşımından yapılan bir diğer sistem ise, yüksek yorulma direncine sahip olan geleneksel ProFile serisinin modifikasyonu olan ProFile Vortex sistemidir.⁵⁵ Bu sistem ve avantajları ise şunlardır; Önceki ProFile ISO NiTi eğelerinden daha etkili olduğu düşünülmektedir, üretiminde kullanılan M-Wire teknolojisi sayesinde, standart nikel titanyuma göre döngüsel yorgunluğa karşı daha dirençlidir, M-Wire teknolojisi bu eğelerin esnekliğini ve direncini de arttırmaktadır.

2012'de aynı üretici firma, NiTi CM alaşımları için yeni bir ısıl işlem aşamasını kullanmıştır. Bu konseptte, eğeler art arda ısıl işlem görüp soğutulmuş, bunun sonucunda titanyum oksit tabakasının kalınlığına karşılık gelen bir yüzey renklenmesi (Blue oksit tabakası) meydana gelmiştir. Vortex Blue adını verdikleri NiTi eğe bu teknoloji kullanılarak üretilmiştir. Vortex Blue artan tork mukavemeti sayesinde döngüsel yorgunluğa karşı daha iyi bir direnç göstere bilmekte ve 500 rpm hıza kadar çalıştırılabilir. Bu artan çalışma hızı, eğenin geometrisi ile beraber kesim verimliliğini de arttırmaktadır.⁵⁶

ProFile Vortex ve Vortex Blue NiTi eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençlerini karşılaştırmak için yapılan bir çalışmada Vortex Blue NiTi eğelerinin aynı boyuttaki ProFile Vortex NiTi eğelerinden daha dirençli olduğu gözlemlenmiştir.⁵⁶ Bu çalışmadan hareketle Vortex Blue NiTi eğelerinin üretim aşamasında kullanılan blue ısıl işlemi eğeleri döngüsel yorgunluğa karşı daha dirençli hale getirdiği düşünülmektedir.

TYPHOON INFINITE FLEX (New Milford, CT, ABD)

Clinician's Choice Dental Products tarafından üretilen Typhoon Infinite Flex eğeleri neredeyse hiç şekil hafızası göstermeyen CM-Wire teknolojisi ile üretilmiştir. Typhoon sistemi debrisin hassas ve konservatif olarak uzaklaştırılması için kök kanal anatomisine çok iyi uyum sağlar.⁵⁷ Ayrıca, NiTi CM-Wire ile üretilen Typhoon Infinite Flex eğelerinin döngüsel yorgunluk direnci, geleneksel NiTi

eğelerine göre %390, NiTi M-Wire ile üretilen eğelere göre % 150'ye varan oranlarda daha dayanıklı olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı; artmış döngüsel yorulma direnci neticesinde kırılma riski de daha azdır. Geleneksel NiTi eğelerden farklı olarak Typhoon eğeleri CM teknolojisi sayesinde daha kolay kök kanalı takibi sağlamak için önceden kavisli hale de getirilip kullanılabilir. ^{57,58}

EDGE ENDO FILES (Albuquerque, NM, ABD)

Edge Endo firmasının FireWire™ teknolojisini kullanarak ürettiği eğeler patentli ısıtma işlem teknolojisi sayesinde yüksek esnekliğe sahiptir. Edge Endo ailesi altı farklı eğe sisteminden oluşmaktadır. Bu eğeler: Edgefile, Edgetaper Platinum, Edgeone Fire, Edgesequel Sapphire, Edge Glide Path ve Edgetaper Encore NiTi eğeleridir.

Üretici firma, EdgeFile NiTi eğelerinin döngüsel yorgunluk direncini, diğer NiTi kanal eğeleri ile karşılaştırdığında 2 ile 8 kat daha fazla olduğunu iddia etmektedir. Özel ısıtma işlem teknolojisi ile esneklik ve hafıza kontrolü kazandırılan EdgeFile geriye sıçrama (bounce back) etkisi azaltılarak kök kanalının anatomik şeklini korur. Hafıza kontrolü sayesinde özellikle kavisli ve kıvrık kök kanallarında basamak oluşturmadan ve perfore etmeden apikale doğru ilerleyebilmektedir. Parabolik kesim yüzeyi özelliği sayesinde kök kanal şekillendirmesini çok daha kısa sürede tamamlayıp kanal tedavisinde pratiklik sağlamaktadır. ⁵⁹

Edgefile X1 ve Edgefile X3 NiTi eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençlerini kıyaslamak için yapılan bir çalışmada X1 eğeler resiprokal hareket ile test edilirken X3 eğeler rotasyon hareketi ile test edilmiştir. Resiprokal hareket yapan X1 eğeleri döngüsel yorgunluğa karşı daha dirençli olduğu gözlemlenmiştir. ⁶⁰ Buradaki NiTi eğelerin döngüsel yorgunluğa karşı daha dirençli olmasının nedeni; resiprokal hareket ile kullanılması olduğunu düşünmekteyiz

PRODESIGN LOGIC (Easy Dental Equipments, Belo Horizonte, MG, Brezilya)

CM-Wire'dan yapılan ProDesign R ve ProDesign Logic sistemleri S şeklinde enine kesite, pasif uca ve değişken heliks açılı iki kesme kenarına sahiptir. Üreticiye göre, her iki sistem yalnızca kenarların kesme yönünde farklılık gösterir. ProDesign Logic, vidalanma etkisini azaltan merkezi döner hareketi kullanırken, ProDesign R, WaveOne NiTi eğe sistemine benzer açılarla resiprokal hareket için tasarlanmıştır. ¹⁶ ProDesign Logic sistemi "Tek eğe sistemi" konseptini benimsemektedir.

WaveOne Gold, ProDesign R ve ProDesign Logic NiTi eğelerinin şekillendirme sürelerini ve döngüsel yorgunluk dirençlerini değerlendirmek amacıyla yapılan bir çalışmada ProDesign Logic NiTi eğesinin şekillendirme süresi, diğer eğelerle kıyasla önemli ölçüde daha kısa; ProDesign Logic ve ProDesign R NiTi eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençleri WaveOne Gold grubu NiTi eğelere kıyasla daha

fazla olduğu görülmüştür. ⁶¹ Eğelerin üretim aşamasında gördüğü ısıtma işlemi ve kesiti döngüsel yorgunluk direncini etkilediği düşünülmektedir.

DÖRDÜNCÜ JENERASYON NİTi EĞELER

Dördüncü jenerasyon NiTi eğe sistemleri farklı hareketleri yapan tek eğe konseptini kullanır. Kök kanalı boyunca eşit olmayan çift yönlü dönme hareketi yaparak dentin duvarlarında homojen basınç uygular. Böylece kök kanallarında kolay, hızlı, etkin şekillendirme ve rahat bir debris çıkışı sağlanır. Çalışmalar, resiprokal hareketin, eğelerin esnediği bölgede daha düşük çekme ve baskı gerginliği yarattığı, bundan dolayı geleneksel döner harekete kıyasla daha fazla yorulma direnci sağladığını göstermiştir. ^{62,63}

Yared ⁶⁴ 2007'de, sadece tek bir Protaper F2 eğesini saat yönünde ve tersinde resiprokal hareketle kullanarak eğenin apikale az bir basınçla ulaşmasını sağlamıştır. Bu önemli çalışma, endodontik eğe hareketleri açısından bir değişimi temsil ederek art arda gelen eğelerin kullanımı yerine kök kanal sisteminin konik bir şekilde şekillendirilmesinde tek eğe kullanımının önünü açmıştır.

Böylece, M-Wire alaşımından yapılmış, tek eğe olan Reciproc (VDW) ve WaveOne (Dentsply Sirona) resiprokal sistemleri geliştirilmiştir. Bu iki eğe sistemi, dentin dokusunu kesmek için başlangıçta saat yönünün tersine (Reciproc 150°, Wave One 170°) ve dentin dokusunu uzaklaştırmak için de saat yönünde (Reciproc 30°, WaveOne 50°) hareketle çalışarak, merkezi rotasyonel hareketi kullanan standart NiTi eğelerdeki vidalanma riskini önlemektedir. ⁶⁶ Eğelerin dentine sıkışması durumunda, dönme açıları eğenin kırılma riski olan derecenin altında hesaplanarak güvenli bir teknik oluşturulmaktadır. ⁶⁶

RECIPROC (VDW, Almanya)

Resiprok sistemi, endodontide hala en popüler sistemlerden biridir. Yapılan araştırmalar, resiprok sisteminin mekanik özellikleri, ^{63,67,68,69} kök kanallarının dezenfeksiyonu, ⁷⁰ kök kanalı şekillendirmesi ^{26,71} ve tedavi sonrası ağrı ^{72,73,74} da olmak üzere birçok konuda mükemmel in vitro ve in vivo sonuçlar verdiğini öne sürmektedir. Bu sistem eğeleri kök kanalı içerisindeki 360° tam bir turu, birden fazla resiprokal hareketle tamamlamaktadır. Eğenin kesme yönünde kullandığı açı geri yönde kullandığı açıya göre daha büyük olduğundan apekse ulaşmasını kolaylaştırılmaktadır.

Mikro-bilgisayarlı tomografi ile ProTaper Next, Reciproc ve SAF eğe sistemlerinin kök kanal şekillendirmesi sırasında oluşturduğu mikroçatlakların oranlarının karşılaştırıldığı çalışmada; Reciproc ve SAF sistemlerinin, ProTaper Next sistemine göre daha fazla yeni mikroçatlağa neden olduğu görülmüştür. ⁷⁴ Sonuç olarak; çalışmada kullanılan eğelerin boyutları, uç tasarımları, kesitleri, meydana gelen dönme kuvvetleri gibi özellikleri ve değerlendirme

yöntemleri arasındaki farkların bu sonucu ortaya çıkarabileceği görüşündeyiz.

Retreatment sırasında oval ve düz kök kanallarındaki dolgu materyalinin etkili bir şekilde uzaklaştırılmasında kullanılan Reciproc Blue, Reciproc ve ProTaper Universal Retreatment sistemleri karşılaştırıldığında; Reciproc sisteminin, Reciproc Blue ve ProTaper Universal Retreatment sistemlerinden daha etkili olduğu, ancak hiçbir sistemin kök kanalı dolgu malzemesini tamamen uzaklaştıramadığı görülmüştür.⁷⁶ Bu çalışmada, kök kanal sisteminin anatomisi (düz, kavisli, oval), kök kanal dolgu malzemesinin tipi, kalitesi ve dolgu tekniğinin de sonucu etkilediğini düşünmekteyiz.

RECIPROC BLUE (VDW, Almanya)

Resiprok sisteminin ısı işlem görmesiyle geliştirilen Reciproc Blue CM, döngüsel yorgunluğa karşı daha fazla dirence ve esnekliğe sahiptir.^{77,78,79,80} Reciproc sisteminin yüzey özellikleri korunurken Reciproc Blue'nun, mikro sertliği azaltılmıştır.⁷⁹ VDW, Reciproc Blue kullanmadan önce bir glide path oluşturulmasını ve çalışma uzunluğuna ulaşmak için dikkatli bir ilerleme hareketi ile kullanılmasını önermektedir.

WAVEONE (Dentsply Sirona, Ballaigues, İsviçre)

WaveOne sistemi, aktif kısım boyunca farklı kesitlere sahip eğelerden oluşur. Bu kesitler tüm yüzey boyunca dışbükey üçgen şeklinde ilerler. Yalnızca DO'dan (eğenin ucu) D8'e (sekizinci milimetre) kadar saat yönünün tersinde hareket eden modifiye edilmiş üç kesici kenara sahiptir ve taper ilk üç milimetrede sabitken daha sonra azalmaktadır.⁸¹

WAVEONE GOLD (Dentsply Sirona, Ballaigues, İsviçre)

WaveOne sistemi, Gold ısı işleminden geçirilerek WaveOne Gold üretilmiştir. Güçlülük ve esneklik kazandırılan yeni sistem,⁶⁹ Reciproc ve TF Adaptive eğelere kıyasla bükülme stresine daha dirençli ve esnek hale getirilmiştir.⁸² WaveOne Gold'un yüzey tasarımı, 85° rake açısına sahip dört kesme kenarına sahiptir ancak sadece iki kenarı her 200 mikronda bir kanal duvarları ile kalıcı temas halinde, bu da eğeyi kök kanalının uzun eksenini boyunca merkezde tutar. Kök kanal duvarına yalnızca bir kesici kenarın temas ettiği kesit, eğe ve kök kanal duvarına yalnızca bir kesici kenarın temas ettiği yüzey kesiti sayesinde eğe ve kök kanal duvarı arasındaki temas alanı azaltılmış ve böylece kök kanalı içerisinde vidalanma riski azalmıştır.⁸³

One Shape, F6 SkyTaper, HyFlex EDM, WaveOne, Reciproc ve WaveOne Gold tek eğe sistemlerini kanal hazırlığından sonra mikroçatlakların oluşumunu karşılaştırmak amacıyla yapılan çalışmada; şekillendirme yapılmayan kontrol grubunda çatlak görülmezken, test edilen tüm

sistemlerin, özellikle apikal kesitte (3 mm) çatlaklara neden olduğu, HyFlex EDM (%33.3) ve WaveOne Gold'un (%58.3) diğer deney gruplarına göre daha az mikroçatlak gösterdiği (P < .01); ancak çatlak oluşumunda aralarında anlamlı bir fark bulunmadığı görülmüştür (P > 0,05).⁸⁴

X1 BLUE (MK Life, Brezilya)

Resiprokal hareket sistemini kullanan X1 Blue eğelerinin üretiminde "Blue" ısı işlem uygulanmaktadır. Sistem; üçgen bir enine kesite, .06 sabit taper açısına, #20, #25 ve #40 uç çaplarına sahip üç eğeden oluşur.⁸⁵ Üretici, X1 Blue eğelerinin, WaveOne sisteminin resiprokal hareketindeki gibi kullanılmasını önermektedir.

SAF (Self-Adjusting File) (ReDent-Nova, Ra'anana, İsrail)

Mevcut sistemlerden tamamen farklı bir tasarım ve hareket ile çalışan SAF ince bir NiTi yapısında, aşındırıcı ve silindirik bir yüzeye sahip, kök kanalının duvarlarına uyum sağlayabilen bir sistemdir. Eğe, kök kanalı şekillendirilmesi sırasında sürekli bir yıkama solüsyonu akışı sağlayan silikon uçlu cihaza (VATEA, ReDent-Nova) bağlı olarak çalışmaktadır. Başlık kök kanalı içinde dakikada 3000-5000 defa titreşimle, ileri geri hareketle çalıştırılmaktadır. Her bir kök kanalı için 2 dakikalık iki periyot halinde toplamda 4 dakikalık şekillendirme süresiyle kök kanallarının çevresinden yaklaşık 60 ila 75 mm kalınlığındaki dentin tabakasının uzaklaştırılması sağlanmakta; kök kanal duvarlarıyla eğenin çevresel temasının kombinasyonu ile ileri geri titreşim hareketiyle oluşan abrazyon, dentin dokusunun uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.⁸⁶

BEŞİNCİ JENERASYON NİTİ EĞELER

Son nesil şekillendirme eğeleridir; kütle merkezi veya dönme merkezi ya da her ikisi de dengelenecek şekilde tasarlanmıştır bu sayede minimum eğe-dentin etkileşimi gerçekleşmektedir. Çalışırken, eğenin aktif uzunluğu boyunca mekanik bir hareket dalgası üretilmekte ve aktif kısmı boyunca esnekliği artırılan eğe kök kanal sisteminden daha fazla debris uzaklaştırmaktadır.

REVO STM (MicroMega/Mediadenta, Besançon, Fransa) Revo S, inaktif uç ve sabit tapera sahip olmakla birlikte, asimetric kesiti sayesinde, cihaz üzerinde daha az stres sağlamaktadır. Yüzey eksenini, 3 farklı yarıçapta yerleştirilmiş 3 kesme kenarına sahiptir: R1, R2 ve R3. Küçük kesici bölüm daha fazla esneklik sağlarken asimetric kesit, kök kanalından debris çıkışını artırmaktadır.⁸²

E. faecalis ile enfekte kök kanallarının MTwo, REVO-S, Reciproc ve OneShape NiTi eğeler ile kök kanallarının şekillendirilmesi yapılan in vitro çalışmada; önemli ölçüde daha düşük CFU/ml değerleri elde edilmiş ve aralarında anlamlı bir fark saptanmamıştır (p>0.05).⁸⁷

ONE SHAPE (MicroMega/Mediadenta, Besançon, Fransa)

2011'de üretilen One Shape sistemi, merkezi rotasyonel hareketle beraber güvenli uca sahip tek bir eğe ile kök kanal şekillendirmesi kavramını ortaya koymuştur. Asimetrik enine kesit ile eğeyi kırılmalara karşı daha dayanıklı hale getirmeyi amaçlamaktadır. Eğenin çalışma ucundan 2 mm'ye kadar üç kesme açısı ve eğenin ortasından şafta en yakın bölgeye kadar uzanan iki kesme açısı vardır. 2014'te eğe, şafta yakın daha dikdörtgen ya da "S" şeklini alan ve ucunda daha üçgen hale gelen değişken çapraz kesitler yaparak güncellenmiştir. Ayrıca taper ilk 5 mm'de .06'dır, ardından eğenin şaftı boyunca da taper değeri sabittir.⁸⁸ 40 adet endodontik yapay kanalda Twisted File ve One Shape eğelerinin kanal şekillendirme kabiliyeti karşılaştırılan çalışmada; Twisted File eğelerinin kanalları One Shape eğesine göre daha iyi şekillendirdiği sonucu bulunmuştur.⁸⁹

PROTAPER NEXT (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)

2013'te ProTaper Universal sistemine M-Wire alaşımı eklenerek ProTaper NEXT sistemi üretilmiştir. ProTaper Universal sisteminden farklı olarak eğenin üçgensel kesit tasarımında birtakım değişikliklere gidilmiştir. Bu tasarım, eğeler apikale ilerlerken kök kanal duvarına yalnızca iki kesici kenarının temas etmesini ve eğelere, merkezden uzak, benzersiz bir asimetrik dönme kabiliyetini sunmaktadır. Ayrıca, bu eğeler modifiye uç, değişken taper, üstün esneklik ve yorulma direncine sahiptir.⁹⁰ ProTaper Universal sistemine kıyasla daha kısa çalışma süresi sağlarken,⁹⁰ eğenin kırılma riski önemli oranda azalmış ve orijinal kök kanal anatomisine uyum oldukça geliştirilmiştir.

Manuel K-Flex eğeler, ProTaper Next eğeleri ve SAF sistemi ile kök kanal şekillendirmesinden sonra, kök kanal dentininde çatlak oluşumunun değerlendirildiği in vitro çalışmada; şekillendirme yapılmamış dişlerde ve manuel K-Flex eğeleriyle şekillendirilmiş dişlerde dentin çatlağı görülmezken, SAF eğelerinde ProTaper Next eğelerine göre daha az dentin çatlağı görülmüştür.⁹¹

HYFLEX EDM (Coltene/Whaledent, Cuyahoga Falls, Ohio, ABD)

2016'da, Coltene şirketi NiTi CM 495 alaşımından üretilen Hyflex EDM sistemini, kıvılcım erozyon teknolojisini (electrical discharge machining) kullanarak piyasaya sürdü. EDM, elektrik akımı varlığında kontrollü elektrik boşalmaları kullanan elektriksel olarak iletken malzemelerin üretiminde uygulanan termal bir erozyon işlemidir. Bu işlem, NiTi alaşımın yüzeyini eritir, kısmen metalin küçük kısımlarını buharlaştırır ve geride aşınmış bir yüzey kalır.⁹² Eğeler daha sonra, ultrasonik temizlik ve asit banyosundan önce veya sonra 10 dakika ila 5 saat boyunca 300 ila 600° ara-

sındaki sıcaklıklarda ısı işleme tabi tutulur.⁹³ EDM üretim yöntemi, eğelerin oda veya vücut sıcaklığında döngüsel yorulma direncini %700'den fazla artırarak, eğelerin kırılma mukavemetini optimize edebilir.^{94,95,96,97} Sıcaklık ve çevre koşullarındaki değişikliklerin Reciproc Blue, HyFlex EDM, WaveOne Gold ve Twisted File Adaptive'in döngüsel yorulma direnci üzerindeki etkileri incelenen araştırmada; HyFlex EDM'nin en yüksek döngüsel yorulma direncine sahip olduğu, bunu 20° C'de hem havada hem de suda Reciproc Blue, WaveOne Gold ve Twisted File Adaptive'in izlediği görülmüştür (P < 0.05). HyFlex EDM, 35° C'de suda en yüksek döngüsel yorulma direncini sergilerken, diğer gruplar arasında önemli bir fark bulunmamıştır (P > 0.05).⁹⁸

SONUÇ

Endodontik aletler, geçmişten bugüne kadar hekimlerin kullanımına sunularak endodontik tedavi uygulamalarında önemli bir yer tutmaktadır. 1988 yılından günümüze kadar farklı jenerasyonlarda birçok tipte eğe sistemi geliştirilmiştir. Birçok endodontik aleti derlediğimiz bu makalede, diş hekimleri ve diş hekimliği öğrencilerinin de faydalanabileceğini düşünmekteyiz. Bu derlemenin ışığında ve sınırları dahilinde, ortaya koyduğumuz farklı tipteki endodontik aletlerin in vivo ve in vitro çalışmalarına daha fazla yoğunlaşılması gerektiğini düşünmekteyiz.

KAYNAKLAR

1. Esposito PT, Cunningham CJ. A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. J Endod. 1995; 21: 173-176.
2. Cleary P. Five steps for success in endodontics. J Ir Dent Assoc. 2017; 63: 30-37.
3. Valavanis D, Spyropoulos, G Kerezoudis N. The significance of endodontic therapy before an endodontic surgery. Odontostomatol Prood. 1990; 44: 387-394.
4. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol. 1971; 32: 271-275.
5. Tabassum S, Zafar K, Umer F. Nickel-Titanium Rotary Systems: What's New. Eur Endod J. 2019; 4: 111-117.
6. 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.
7. Deari S, Zehnder M, Al-Jadaa A. Effect of dentine cutting efficiency on the lateral force created by torque controlled rotary instruments. Int Endod J. May 2020;iej.13319.
8. Shantiaee Y, Dianat O, Mosayebi G, Namdari M, Tordik P. Effect of Root Canal Preparation Techniques on Crack Formation in Root Dentin. J Endod. 2019; 45: 447-452.
9. Üstün Y. Dört farklı döner sistemlerle yapılan kök kanal preparasyonunun epoks rezin içerikli bir patin dentin tübüllerine penetrasyonuna olan etkisinin SEM kullanılarak incelenmesi. 2011.

- 10.** Ya S, Haapasalo M. Three-dimensional Analysis of Cutting Behavior of Nickel-Titanium Rotary Instruments by Microcomputed Tomography. *J Endod.* 2008; 34: 606-610.
- 11.** Tharuni SL, Parameswaran A, Sukumaran VG. A comparison of canal preparation using the K-file and lightspeed in resin blocks. *Journal of Endodontics* 1996; 22(9): 474-476.
- 12.** Cai HX, Cheng HL, Song JW, Chen SY. Comparison of Hero 642 and K3 rotary nickel-titanium files in curved canals of molars and a systematic review of the literature. *Exp Ther Med.* 2014; 8: 1047-1054.
- 13.** Taşdemir T, Aydemir H, Inan U, Unal O. Canal preparation with Hero 642 rotary Ni-Ti instruments compared with stainless steel hand K-file assessed using computed tomography. *Int Endod J.* 2005; 38: 402-408.
- 14.** Guppy DR, Curtis RV, Ford TR. Dentine chips produced by nickel-titanium rotary instruments. *Dent Traumatol.* 2000; 16: 258-264.
- 15.** Hülsmann M, Herbst U, Schäfers F. Comparative study of root-canal preparation using Lightspeed and Quantec SC rotary NiTi instruments. *Int Endod J.* 2003; 36: 748-756.
- 16.** Gavini G, dos Santos M, Caldeira CL, Machado M, Freire L et al. Nickel-titanium instruments in endodontics: A concise review of the state of the art. *Braz Oral Res.* 2018; 32: 44-65.
- 17.** Cohen S BR. Cohen's Pathways of the Pulp Expert Consult. 8th Edition. 2002. p.306,308,311,312,317.318,336,534,535.
- 18.** Miserendino LJ, Moser JB, Heuer MA, Osetek EM. Cutting efficiency of endodontic instruments. Part II: Analysis of tip design. *J Endod.* 1986; 12: 8-12.
- 19.** Madan N, Rathnam A, Shigly AL, Indushekar KR. K-file vs ProFiles in cleaning capacity and instrumentation time in primary molar root canals: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2011;2 9: 2-6.
- 20.** Guilford WL, Lemons JE, Eleazer PD. A Comparison of Torque Required to Fracture Rotary Files With Tips Bound in Simulated Curved Canal, *Journal of Endodontics* 2005; 31: 468-470.
- 21.** Albrecht LJ, Baumgartner JC, Marshall JG. Evaluation of apical debris removal using various sizes and tapers of ProFile GT files. *J Endod.* 2004; 30: 425-428.
- 22.** Adiguzel M, Isken I, Pamukcu II. Comparison of cyclic fatigue resistance of XP-endo Shaper, HyFlex CM, FlexMaster and Race instruments. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2018; 12: 208-212.
- 23.** Hübscher W, Barbakow F, Peters OA. Root-canal preparation with FlexMaster: canal shapes analysed by micro-computed tomography. *Int Endod J.* 2003; 36(11): 740-7.
- 24.** Gambarini G, Grande NM, Plotino G, Somma F, Garala M, De Luca M, et al. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *J Endod.* 2008; 34: 1003-5.
- 25.** Schäfer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2004; 37: 239-48.
- 26.** Busquim S, Cunha RS, Freire L, Gavini G, Machado ME, Santos M. A micro-computed tomography evaluation of long-oval canal preparation using reciprocating or rotary systems. *Int Endod J.* 2015; 48: 1001-1006.
- 27.** Gianluca G. The K3 rotary nickel titanium instrument system. *Endod Top.* 2005; 10: 179-182.
- 28.** Mohammadzade Akhlaghi N, Khalilak Z, Baradaran Mohajeri L, Sheikholeslami M, Saedi S. Comparison of Canal Preparation Pattern of K3 and ProTaper Rotary Files in Curved Resin Blocks. *Iran Endod J.* 2008; 3: 11-16.
- 29.** Plotino G, Grande NM, Falanga A, Di Giuseppe IL, Larmorgese V, et al. Dentine removal in the coronal portion of root canals following two preparation techniques. *Int Endod J.* 2007; 40: 852-858.
- 30.** Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, et al. A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J.* 2005; 38: 610-616.
- 31.** Bürklein S, Schäfer E. Apically extruded debris with reciprocating single-file and full-sequence rotary instrumentation systems. *J Endod.* 2012; 38: 850-852.
- 32.** Ha J-H, Kwak SW, Kim S-K, Kim H-C. Screw-in forces during instrumentation by various file systems. *Restor Dent Endod.* 2016; 41: 304.
- 33.** Ellemieke SH, Wu MK, Wesselink PR, Shemesh H. Effects of Self-Adjusting File, Mtwo, and ProTaper on the Root Canal Wall. *JOE* 2013; 39(2); 262-264.
- 34.** Gagliardi J, Versiani MA, De Sousa-Neto MD, Plasas-Garzon A, Basrani B. Evaluation of the shaping characteristics of ProTaper Gold, ProTaper NEXT, and ProTaper Universal in curved canals. *J Endod.* 2015; 41: 1718-1724.
- 35.** Pentelescu C, Colceriu L, Pastrav O, Culic C, Chisnoiu R. In vitro evaluation of root canal preparation with two rotary instrument systems - pro taper and hero shaper. *Clujul Med.* 2015; 88: 395-402.
- 36.** Aydin C, Inan U, Yasar S, Bulucu B, & Tunca, Y. M. Comparison of shaping ability of RaCe and Hero Shaper instruments in simulated curved canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology,* (2008). 105(3), e92-e97.
- 37.** Kesim B. Farklı özellikteki nikel-titanyum kök kanal eğelerinin kök kanalında mikro çatlak oluşturma etkisinin in vitro incelenmesi (uzmanlık tezi). 2015.
- 38.** Gambarini G, Plotino G, Grande NM, Al-Sudani D, De Luca M, et al. Mechanical properties of nickel-titanium

rotary instruments produced with a new manufacturing technique. *Int Endod J.* 2011; 44: 337-341.

39. Johnson E, Lloyd A, Kuttler S, Namerow K. Comparison between a Novel Nickel-Titanium Alloy and 508 Nitinol on the Cyclic Fatigue Life of ProFile 25/04 Rotary Instruments. *J Endod.* 2008; 34: 1406-1409.

40. Gambarini G, Testarelli L, Galli M. The effect of a new finishing process on the torsional resistance of twisted nickel-titanium rotary instruments. *Minerva Stomatol.* 2010; 59(7-8): 401-6.

41. Xia M, Sun Q. Rotation and temperature jumps in non-linear torsional vibration of NiTi wire. *Int J Solids Struct.* 2015; 56-57: 220-234.

42. Rodrigues RCV, Lopes HP, Elias CN, Amaral G, Vieira VTL, et al. Influence of different manufacturing methods on the cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod.* 2011; 37: 1553-1557.

43. Huang X, Shen Y, Wei X, Haapasalo M. Fatigue Resistance of Nickel-titanium Instruments Exposed to High-concentration Hypochlorite. *J Endod.* 2017; 43: 1847-1851.

44. 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(12): 1585-8.

45. Üstün Y, Aslan T, Sagsen B, Kesim B. The effects of different nickel-titanium instruments on dentinal microcrack formations during root canal preparation. *Eur J Dent.* 2015; 9: 41-46.

46. Da Cunha Peixoto IF, Pereira ES, da Silva JG, Viana AC, Buono VT, Bahia MG. Flexural fatigue and torsional resistance of ProFile GT and ProFile GT series X instruments. *J Endod.* 2010; 36(4): 741-4.

47. Shen Y, Zhou HM, Wang Z, Campbell L, Zheng YF, et al. Phase transformation behavior and mechanical properties of thermomechanically treated K3XF nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2013; 39: 919-923.

48. De Arruda Santos L, De Azevedo Bahia MG, De Las Casas EB, Buono VTL. Comparison of the mechanical behavior between controlled memory and superelastic nickel-titanium files via finite element analysis. *J Endod.* 2013; 39: 1444-1447.

49. Bhatt A, Rajkumar B. A comparative evaluation of cyclic fatigue resistance for different endodontic NiTi rotary files: An in-vitro study. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2019; 9: 119-121.

50. Azim AA, Aksel H, Zhuang T, Mashtare T, Babu JP, et al. Efficacy of 4 Irrigation Protocols in Killing Bacteria Colonized in Dentinal Tubules Examined by a Novel Confocal Laser Scanning Microscope Analysis. *J Endod.* 2016; 42: 928-934.

51. Bao P, Shen Y, Lin J, Haapasalo M. In Vitro Efficacy of XP-endo Finisher with 2 Different Protocols on Biofilm

Removal from Apical Root Canals. *J Endod.* 2017; 43: 321-325.

52. Uslu G, Özyürek T, Yılmaz K, Gündoğar M, Plotino G. Apically Extruded Debris during Root Canal Instrumentation with Reciproc Blue, HyFlex EDM, and XP-endo Shaper Nickel-titanium Files. *J Endod.* 2018; 44: 856-859.

53. Dental I. Ürünler, duyurular: EndoArt. *Türk Diş Hekimleri Birliği Dergisi.* 2020; 175: 50.

54. Pit AB, Borcean IA, Vărgatu IA, Mai A, Shyblak M, et al. Evaluation of the time and efficiency of trunatomy, VDW. Rotate, Protaper Gold and Reciproc Blue in shaping root canals - an in vitro study. *Romanian Journal of Oral Rehabilitation* 2020; 12; 250-258.

55. Shen Y, Hieawy A, Huang X, Wang ZJ, Maezono H, et al. Fatigue Resistance of a 3-dimensional Conforming Nickel-Titanium Rotary Instrument in Double Curvatures. *J Endod.* 2016; 42: 961-964.

56. 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: 1451-1453.

57. Gao Y, Shotton V, Wilkinson K, Phillips G, Ben Johnson W. Effects of raw material and rotational speed on the cyclic fatigue of profile vortex rotary instruments. *J Endod.* 2010; 36: 1205-1209.

58. 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: 1027-1034.

59. Lee JY, Kwak SW, Ha JH, Abu-Tahun I, Kim HC, et al. Mechanical Properties of Various Glide Path Preparation Nickel-titanium Rotary Instruments. *J Endod* 2019; 45: 199-204

60. Mathew PA, Nair RS, Christaine Angelo JM, Mathai V, Vineet RV, Christopher SR. A comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of FlexiCON (Edge Endo) files in rotary versus reciprocating motion at various curvatures - An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2019; 22: 554-558.

61. 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: 468-473.

62. Bürklein S, Börjes L, Schäfer E. Comparison of preparation of curved root canals with Hyflex CM and Revo-S rotary nickel-titanium instruments. *Int Endod J.* 2014; 47: 470-476.

63. Gavini G, Caldeira CL, Akisue E, Candeiro GTDM, Kawakami DAS. Resistance to flexural fatigue of reciproc R25 files under continuous rotation and reciprocating movement. *J Endod.* 2012; 38: 684-687.

64. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J.* 2008; 41: 339-344.

- 65.** Yılmaz K, Özyürek T. Cyclic fatigue life of Tango-Endo, WaveOne GOLD, and Reciproc NiTi instruments. *Restor Dent Endod.* 2017; 42: 134-139.
- 66.** 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: 122-127.
- 67.** Scelza P, Harry D, Silva LE, Barbosa IB, Scelza MZ. A comparison of two reciprocating instruments using bending stress and cyclic fatigue tests. *Braz Oral Res.* 2015; 29: 1-7.
- 68.** Ahn SY, Kim HC, Kim E. Kinematic effects of nickel-titanium instruments with reciprocating or continuous rotation motion: A systematic review of in vitro studies. *J Endod.* 2016; 42: 1009-1017.
- 69.** Arslan H, Alsancak M, Doğanay E, Karataş E, Çapar İD, et al. Cyclic fatigue analysis of Reciproc R25 instruments with different kinematics. *Aust Endod J.* 2016; 42: 22-24.
- 70.** Nakamura VC, Candeiro GT de M, Cai S, Gavini G. Ex vivo evaluation of three instrumentation techniques on *E. faecalis* biofilm within oval shaped root canals. *Braz Oral Res.* 2015; 29: 1-7.
- 71.** Espir CG, Nascimento-Mendes CA, Guerreiro-Tanomaru JM, Freire LG, Gavini G, et al. Counterclockwise or clockwise reciprocating motion for oval root canal preparation: a micro-CT analysis. *Int Endod J.* 2018; 51: 541-548.
- 72.** Cruz Junior JA, Coelho MS, Kato AS, Vivacqua-Gomes N, Fontana CE, et al. The Effect of Foraminal Enlargement of Necrotic Teeth with the Reciproc System on Postoperative Pain: A Prospective and Randomized Clinical Trial. *J Endod.* 2016; 42: 8-11.
- 73.** Bueno CSP, Oliveira DP de, Pelegrine RA, Fontana CE, Rocha DGP, et al. Fracture Incidence of WaveOne and Reciproc Files during Root Canal Preparation of up to 3 Posterior Teeth: A Prospective Clinical Study. *J Endod.* 2017; 43: 705-708.
- 74.** Kherlakian D, Cunha RS, Ehrhardt IC, Zuolo ML, Kishen A, et al. Comparison of the Incidence of Postoperative Pain after Using 2 Reciprocating Systems and a Continuous Rotary System: A Prospective Randomized Clinical Trial. *J Endod.* 2016; 42: 171-176.
- 75.** Cakici F, Cakici EB, Sadik B, Keles A, Fundaoglu Kucukkekenci F. Comparison of newly formed microcracks after instrumentation using protaper next, reciproc and self-adjusting file systems. *Eur Oral Res.* 2019; 53: 21-24.
- 76.** Bago I, Suk M, Katić M, Gabrić D, Anić I. Comparison of the effectiveness of various rotary and reciprocating systems with different surface treatments to remove gutta-percha and an epoxy resin-based sealer from straight root canals. *Int Endod J.* 2019; 52: 105-113.
- 77.** Keskin C, Sariyilmaz E, Sariyilmaz Ö. Efficacy of XP-endo Finisher File in Removing Calcium Hydroxide from Simulated Internal Resorption Cavity. *J Endod.* 2017; 43: 126-130.
- 78.** Adigüzel M, Capar ID. Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of WaveOne and WaveOne Gold Small, Primary, and Large Instruments. *J Endod.* 2017; 43: 623-627.
- 79.** De-Deus G, Silva EJNL, Vieira VTL, Belladonna FG, Elias CN et al. Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. *J Endod.* 2017; 43: 462-466.
- 80.** 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.
- 81.** Dagna A, Poggio C, Beltrami R, Colombo M, Chiesa M, Bianchi S. Cyclic fatigue resistance of OneShape, Reciproc, and WaveOne: An in vitro comparative study. *J Conserv Dent.* 2014; 17: 250-254.
- 82.** Elsaka SE, Elnaghy AM, Badr AE. Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and Twisted File Adaptive instruments. *Int Endod J.* 2017; 50: 1077-1083.
- 83.** Webber J. Shaping canals with confidence: WaveOne GOLD single-file reciprocating system. *International Dentistry - African edition* 2015; 6: 6-17
- 84.** Pedullà E, Genovesi F, Rapisarda S, La Rosa GR, Grande NM, Plotino G, Adorno CG. Effects of 6 Single-File Systems on Dentinal Crack Formation. *J Endod.* 2017; 43: 456-461.
- 85.** Calefi PHS, Osaki RB, Evedove NFD, Cruz VM, Andrade FB, et al. Resistência à fadiga cíclica e torcional dos instrumentos reciprocantes W File e X1 Blue File. *Dental Press Endod.* 2020; 10: 60-66.
- 86.** Peters OA, Boessler C, Paqué F. Root canal preparation with a novel nickel-titanium instrument evaluated with micro-computed tomography: Canal surface preparation over time. *J Endod.* 2010; 36: 1068-1072.
- 87.** Dagna A, Arciola CR, Visai L, Selan L, Colombo M, Bianchi S, Poggio C. Antibacterial efficacy of conventional and single-use Ni-Ti endodontic instruments: an in vitro microbiological evaluation. *Int J Artif Organs.* 2012; 35: 826-31.
- 88.** Cyclic fatigue resistance of OneShape and WaveOne instruments using different angles of curvature. *Dent Mater J.* 2015; 34: 358-363.
- 89.** Reddy PJ, Kumar VS, Aravind K, Kumar HT, Vishal M B, Vizaikumar VN, Das R, Vamsilatha K. Canal shaping with one shape file and twisted files: a comparative study. *J Clin Diagn Res.* 2014; 8: ZF01-3. -
- 90.** Elnaghy AM, Elsaka SE. Assessment of the mechanical properties of ProTaper next nickel-titanium rotary files. *J Endod.* 2014; 40: 1830-1834.
- 91.** Jacob J, Paul M, Sara B, Steaphen P, Philip N, Mathew J. Comparative Analysis of Dentinal Crack Formation

Following Root Canal Instrumentation with Hand K-Flex Files, ProTaper Next, and Self-adjusting Files. *J Contemp Dent Pract.* 2019; 20: 935-939.

92. Theisen W, Schuermann A. Electro discharge machining of nickel-titanium shape memory alloys. *Mater Sci Eng A.* 2004; 378: 200-204.

93. Pernot J, Xavier R, Euvrard H. Endodontic instrument with rough surfaces, and method for manufacturing such an instrument. *JOE* 2013; 37:1553-1557.

94. Pirani C, Iacono F, Generali L, Sassatelli P, Nucci C, et al. HyFlex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2016; 49: 483-493.

95. Pedullà E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande NM, et al. Torsional and Cyclic Fatigue Resistance of a New Nickel-Titanium Instrument Manufactured by Electrical Discharge Machining. *J Endod.* 2016; 42: 156-159.

96. Iacono F, Pirani C, Generali L, Bolelli G, Sassatelli P, et al. Structural analysis of HyFlex EDM instruments. *Int Endod J.* 2017; 50: 303-313.

97. Arias A, Macorra JC, Govindjee S, Peters OA. Correlation between Temperature-dependent Fatigue Resistance and Differential Scanning Calorimetry Analysis for 2 Contemporary Rotary Instruments. *J Endod.* 2018; 44: 630-634.

98. Gündoğar M, Özyürek T, Yılmaz K, Uslu G. Cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM, Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Twisted File Adaptive rotary files under different temperatures and ambient conditions. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2019; 13: 166-171.