

Rehber yol eğelerin metalurjik - mekanik özelliklerinin ve şekillendirme hareketlerinin değerlendirilmesi

Evaluation of metallurgical-mechanical properties of Glide Path files and shaping movements

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Gürkan Güneç

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

Orcid ID: 0000-0002-7056-7876

Stj. Dt. Aleya Danacı

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0003-1419-8778

Stj. Dt. Tennur Kasimi

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0002-0084-7004

Stj. Dt. Ayşegül Özyer Yaran

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0003-4761-263X

Stj. Dt. Beril Ekinci

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0001-7643-0881

Stj. Dt. Hüseyin Hamza Onay

Beykent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0001-5076-949X

Geliş tarihi: 2 Mayıs 2020

Kabul tarihi: 24 Aralık 2020

doi: 10.5505/yeditepe.2022.94830

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

Diş hekimleri arasında endodontik tedavi çıplak gözle görülmeyen bir alanda uygulandığı için genellikle zor ve uzun süren bir tedavi seçeneği olarak kabul edilmektedir. Tedavinin içerisinde oluşabilecek çeşitli zorluklar da ağırlıklı olarak kullanılan endodontik aletlerden kaynaklanmaktadır. Nikel-titanyum (NiTi) eğeler, şekil hafızası ve süper elastiklik özellikleri sayesinde geleneksel paslanmaz çelik eğelere göre kök kanallarında komplikasyon görülme riskini düşürmektedir. NiTi eğelerin sahip olduğu bu tip mekanik özellikler sayesinde, endodontik aletler, kök kanalı içerisinde farklı hareketleri kullanarak tedaviyi rahat bir şekilde bitirebilmektedir. Tedavinin başlangıç aşamasında ise kök kanal anatomisine uygun bir rehber yol dengesi tutturmak çok önemlidir. Bundan dolayı endodontik tedavide kullanılan tüm NiTi sistemlerin içerisinde mutlaka bir glide path sistemi de yer almalıdır. Bu derlemenin amacı; endodontide sıklıkla kullanılan rehber yol eğeleri ve hareketleri değerlendirerek, NiTi alaşımların metalurjik yapısı ve mekanik özelliklerini özetlemektir.

Anahtar kelimeler: Ni-Ti eğeler, rotasyonel hareket, resiprokal hareket, rehber yol eğeleri.

SUMMARY

Endodontic treatment is not a visible area to the naked eye, generally considered as a difficult and long-term treatment option among dentists. Various difficulties, that may occur in the treatment, originate mainly from the using endodontic instruments. Nickel-titanium (NiTi) files reduce the risk of complications in root canals compared to conventional stainless steel files, under favour of their shape memory and super elasticity. By means of such mechanical features of NiTi files, endodontic instruments can comfortably finish the treatment using different movements within the root canal. In the initial part of the treatment, it is very important to ensure a guideline balance suitable for the root canal anatomy. Therefore, a glide path system should be included in all using NiTi systems in endodontic treatment. The purpose of this review is to evaluate the glide path files and motions commonly used in endodontics and to summarize the metallurgical structure and mechanical properties of NiTi alloys.

Key words: Ni-Ti files, rotary movement, reciproc movement, glide path files.

GİRİŞ

Geçmişten günümüze diş hekimliği uygulamalarında kullanılan aletlerin, tedavi sürecinde önemli yeri olduğu bilinmektedir.^{1,2} Endodontik tedavi, kök kanal şekillendirilmesi, temizliği, dezenfeksiyonu ve dolgusu gibi birbirini tamamlayan basamaklardan oluşmaktadır.³ Modern endodontinin manevi babası olarak kabul edilen Louis I. Grossman, bu tedavinin temel öğelerinden kemomekanik şekillendirme için "Pulpa odasın-

dan ve kök kanallarından kaldırdığımız şey, onun yerine koyduğumuzdan çok daha önemlidir” demiştir.⁴

Geleneksel kök kanal aletlerinin kullanımı diş hekimi ve hasta açısından kök kanal sistemindeki anatomik varyasyonlardan kaynaklı önemli zorluklar doğurabilmektedir. Üretici firmalar, tedavinin daha kısa sürede, daha konforlu olması ve kemomekanik şekillendirmenin anatomik olarak daha öngörülebilir olması için endodontideki ihtiyaçları karşılayabilecek yeni aletler geliştirmeye odaklanmıştır.^{5,6} Böylelikle Nikel-Titanyum (NiTi)’dan yapılan aletlerin kemomekanik şekillendirmede kullanımı ile endodontide yeni bir döneme geçilmiştir.⁷

Derlemenin amacı kök kanalı şekillendirmesi sırasında kullanılan materyal alaşımlarının özelliklerini göstermek, günümüzde sıklıkla kullandığımız rehber yol eğeleri ve hareketleri değerlendirmektir.

NİKEL-TİTANYUM ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Metalik ürünlerin çoğunda belirli sınırlar dahilinde meydana gelen deformasyonda uygulanan kuvvetle doğrudan orantılı elastik bir davranış sergiler. Uygulanan kuvvet, belirli bir limiti aşarsa malzemede kalıcı deformasyona neden olur (plastik deformasyon). Metal alaşımlar, elastik sınırlarının ötesinde %0,1 veya %0,2’ye kadar elastik deformasyona uğrayabilir. Elastik sınırın üzerindeki deformasyonlar kalıcı olacaktır. Bununla birlikte NiTi alaşımlar, elastik sınırlarının üzerindeki bir kuvvete karşı plastik deformasyon göstermeden kalabilmektedir.^{8,9} Süper esneklik veya pseudo esneklik ise, cisimlerin belirli bir kuvvet uygulandıktan sonra orijinal şekillerini geri kazanma kabiliyetidir.⁷

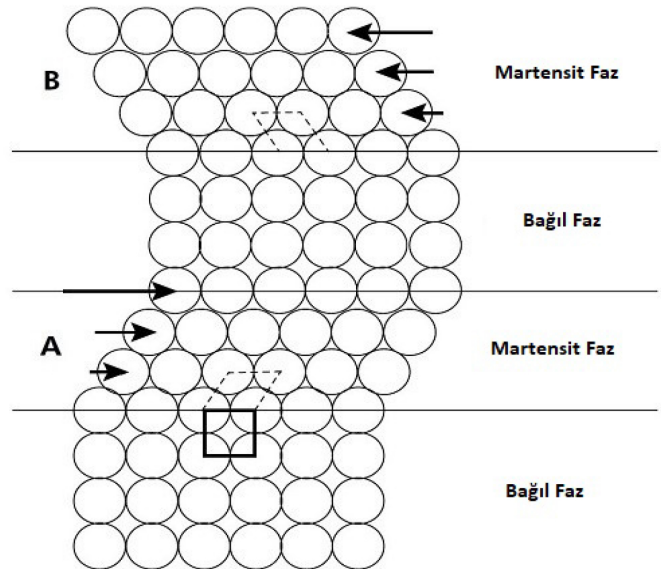
Alaşımlar atomik düzeyde değişikliklere uğradığında şekil hafızası özelliği elde etmektedir. Metaller katı halde bile bazı faz değişikliklerine sahiptir. Bu faz değişiklikleri “martensit” ve “östenit” olarak adlandırılır.¹⁰ Östenit çeliğin bir fazıdır ve demir-karbon diyagramında 912 °C ile 1394 °C arasındaki yüzey merkezli kübik yapıdaki faza verilen isimdir.¹¹ Östenit fazına kadar ısıtılan çelik, çok yüksek bir hızla oda sıcaklığına soğutulduğunda; Kübik Yüzey Merkezli (KYM) kafes yapısı, Kübik Hacim Merkezli (KHM) ya da Hacim Merkezli Tetragonal (HMT) sisteme dönüşür. Yapı içerisinde bulunan karbon, çok hızlı soğumada olduğu için difüzyon ile dışarı çıkmaya vakit bulamayarak kafesi sıkıştırır ve ortaya martensit denilen çok sert ve kırılgan bir yapı çıkar. Martensit fazı, östenit fazın hızlı soğuma sonucu oluşturduğu dengeye ulaşmamış bir fazdır.¹² Metalin bu faz değişimleri martensitik dönüşüm (MD) olarak bilinen ısı ve stres fonksiyonu şeklindedir.¹³

Isıya bağlı martensitik dönüşüm: NiTi 100 oC’ye kadar östenit fazdadır. Belirli bir dereceye kadar soğutulduğunda kristal yapıda martensitik dönüşüm meydana gelir. Bu durum alaşımın fiziksel özelliklerinde değişime sebep olur ve

şekil hafızası özelliği kazandırır.¹⁴ Deformasyondan sonra alaşımın belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmasıyla, alaşım eski özelliklerine geri dönerek östenit yani orijinal yapısını geri kazanır. Bu fenomene şekil hafızası adı verilir. Şekil hafızası, elektronların çekim gücü ile atomların önceki konumlarına geri dönmesi olarak tanımlanır ve çok kısa sürede gerçekleşir. Endodontik NiTi aletlere 125oC üzerinde ısıtılarak eski şekilleri kazandırılabilir.^{8,15,16}

Strese bağlı martensitik dönüşüm: Kanal şekillendirilmesi gibi durumlarda stres uygulanması sonucu da östenitten martensit faza geçiş görülebilir. Birçok metalde kuvvet uygulanmasıyla kayma sonucu kalıcı deformasyon oluşurken NiTi alaşımlarda martensitik dönüşüm meydana gelir. Kuvvet uygulandığında alaşım, östenit fazdan martensit faza geçer ve kuvvet ortadan kaldırıldığı zaman deformasyon öncesindeki östenit yapısını geri kazanır. Bu durum süper elastik davranış olarak tanımlanır.⁸ NiTi alaşımların süper elastikliği %8’e kadar olan bükülmelerin tamamen düzelmesini sağlar. Bu oran paslanmaz çelik eğeler için maksimum %1’dir. Bakır-çinko, bakır-alüminyum, altın-kadmiyum ve nikel-nobium gibi alaşımların da süper elastik özelliği olmasına rağmen, NiTi alaşımları en yüksek biyouyumluluğa sahiptir ve korozyona karşı mükemmel dayanıklılık göstermektedir.¹⁷

Martensitik dönüşüme giren bir malzeme belirli bir sıcaklığın altına soğutulduğunda, dönüştürme bir kesme mekanizması ile başlatılır. Resim 1’de gösterildiği gibi A ve B’deki martensitik bölgeler aynı kristal yapıya sahiptir, ancak kristallerin uzaysal yönelimleri farklıdır.⁹



Resim 1. Martensitik Dönüşüm'e (MD) giren malzemelerin kristal yapıları ve uzaysal yönelimleri.

Bir diğer önemli nokta, alaşımın martensit-östenit dönüşüm sıcaklığının üstünde ısıtıldığında, alaşımın orijinal şeklini tamamen geri kazanma kabiliyeti olan şekil hafızası etkisidir (ŞHE). Süper elastiklik (SE) ve ŞHE sergileyen çeşitli metal alaşımları arasında NiTi, titanyum oksit yüzey tabakası nedeniyle en iyi biyouyumluluğa ve korozyon direncine sahiptir.⁹

NiTi ALAŞIMLARA UYGULANAN METALURJİK İŞLEMLER

Geleneksel olarak NiTi alaşımından üretilen ilk endodontik aletler, çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemlerle yenilenerek kök kanalı şekillendirmesinde geçmişten günümüze kadar sıklıkla kullanılmaya devam etmektedir. NiTi alaşımlara uygulanan bu işlemler:

1. Elektro Parlatma-Elektrokimyasal Yüzey İşleme: Elektropolishing (elektrokimyasal yüzey işleme), FKG Dentaire SA (La Chaux-de-Fonds, İsviçre) tarafından 1999 yılında tanıtılmıştır. Üretim sonrası elektro parlatma (EP) işleminden geçirilen eğelerde üretimden kaynaklanan hatalar azaltılırken, kesme verimliliği ve yorulma direnci artırılır.^{18,19,20} Elektro parlatma işlemi uygulanarak Scout-RaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre) rehber yol eğeleri satışa sunulmuştur.^{21,22}

2. M-Wire Alaşımı: 2007 yılında M-Wire (Dentsply Tulsa Dental, Oklahoma, ABD) olarak bilinen yeni bir NiTi alaşım geliştirilmiştir. Eğeler işlenmeden önce çeşitli sıcaklıklarda ısıtılma tabi tutulan Nitinol 508'den (ağırlıkça %55.8 Ni, %44.2 Ti) oluşur. Bu materyal, pseudo esnekliğini korurken martensit ve R fazlarını içerir. Geleneksel NiTi alaşımlarından üretilen eğelerle karşılaştırıldığında, M-Wire alaşımından yapılan eğeler daha yüksek döngüsel yorulma direncine ve gelişmiş mekanik özelliklere sahiptir.^{23,24,25,26} 2013 yılında M-Wire alaşımından ProGlider (Dentsply Tulsa Dental, York, PA, ABD) rehber yol eğeleri satışa sunulmuştur.

3. R Faz İşlemi: 2008 yılında, SybronEndo (Kerr, California, ABD) mekanik üretim sürecinin tamamlanmasından sonra eğeye özel bir ısıtılma işlemi uygulayarak yeni bir NiTi ürün piyasaya çıkarmıştır. Bu işlem, mekanik üretimden kaynaklanan gerilmeleri önlemek amacıyla, alaşımın kristal yapısında esnekliğini ve mukavemetini artırarak üründe ilave bir faz değişikliği yaratmıştır.²⁷ Martensitik dönüşüm esnasında görülen ve R faz adını alan bu faz martensit ve östenit arasında görülen bir ara fazdır.²⁸ K3XF ve Twisted File (TF) (Kerr, California, ABD) sistemleri, SybronEndo tarafından R Faz işlemiyle üretilerek, geleneksel işlemlerle üretilen K3 sistemlerine kıyasla daha iyi mekanik özellikler göstermektedir.^{29,30,31}

4. CM-Wire Alaşımı: 2010 yılında, CM (controlled memory)-Wire ısıtılma işlem teknolojisi ile üretilen eğeler DS Dental (Johnson City, TN, ABD) tarafından tasarlanmıştır. Nitinol SE508'in işlenmesinden sonra, ısıtılma ve soğutma işlemi, SHE üzerinde alaşım kontrolü sağlayarak, önceden bükülmüş olan eğelere daha fazla yorulma direnci ve esneklik vererek,^{32,33} eğelerin kök kanalının merkezinde daha fazla kalmasını ve kök kanalının şekillendirilmesi sırasında daha az transportasyon görülmesini sağlamaktadır.^{34,35}

5. CM Blue-Gold Isıl İşlemler: Isıl işlem, bir malzemenin SE ve SHE özelliklerini elde etmek amacıyla; belirli bir sıcaklığa ısıtılması ve bir süre sonra kontrollü koşullar

altında soğutulması işlemlerinden oluşur. Bundan dolayı; SE ve SHE özellikleri sıcaklık, ısıtılma süresi ve soğutma oranından etkilenmektedir. 2012 yılında Dentsply Sirona, NiTi CM alaşımları için yeni bir ısıtılma işlem aşaması kullanmıştır. Eğeler art arda ısıtılma işlemi görüp soğutulmuş, bunun sonucunda titanyum oksit tabakasının kalınlığına karşılık gelen bir yüzey renklenmesi meydana gelmiştir.³⁶ CM Blue alaşımına sahip NiTi eğelerde, titanyum oksit tabakasının kalınlığı 60-80 nm iken, CM Gold alaşımına sahip NiTi eğeler de bu kalınlık 100-140 nm'dir.³⁷ Vortex Blue (Dentsply Sirona, York, PA, ABD) ve ProTaper Gold (Dentsply Sirona, York, PA, ABD) NiTi eğeleri bu teknoloji ile üretilmiştir.

ENDODONTİK REHBER YOL

Anatomik açıdan farklılıklar gösteren kök kanal sistemlerinin şekillendirmesi sırasında, hekimler bazı zorluklarla karşılaşabilmektedir. Bu nedenle kök kanalını şekillendirmeye başlarken, kanal sisteminde özellikle apikal bölgede güvenli ve etkili ilerleme sağlamak amacıyla başlangıç eğelerinin esnek ve küçük uç çapa sahip olması gerekmektedir.³⁸ John West'e göre; "Eğenin kök kanalı girişinden apikale kadar kesintisiz bir şekilde ilerletilmesi sağlandığında rehber yol başarıyla oluşturulur." Böylelikle eğeler, rehber yol ile kök kanalını pasif bir şekilde takip edebilir.³⁹

Rehber yolun oluşturulması; kök kanalı içerisinde görülebilecek transportasyon riskini, basamak oluşumunu, strip perforasyon sıklığını ve NiTi eğelerin kırılma insidansını anlamlı derecede azaltır.⁴⁰ Ayrıca eğenin bir ucu kök kanalında sıkıştığında, diğer ucunun rotasyon hareketine devam etmesi sonucu oluşan torsiyonel stresi azaltarak eğelerin ömrünü uzatmaktadır. Hekimin fiziksel olarak daha az güç sarf etmesini ve zamandan tasarruf etmesini de sağlamaktadır.⁴¹

Kök kanallarında rehber yol oluşturma sırasında el eğeleri veya NiTi eğeler kullanılabilir (Tablo 1).

Tablo 1. Glide path eğeleri.

Manuel Rehber Yol Eğeleri	Rotasyonel Hareket Kullanan Rehber Yol Eğeleri	Resiprokal Hareket Kullanan Rehber Yol Eğeleri
Paslanmaz Çelik K- Tipi Eğeler;	PathFiles (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)	R-pilot (VDW, Münih, Almanya)
C Eğe (Dentsply/Maillefer, Johnson City, TN)	ProGlider (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)	WaveOne Gold Glider (Dentsply Sirona, York, PA, ABD)
C Pilot Eğe (VDW, Münih, Almanya)	Hyflex GPF (Coltene/Whaledent Inc, Cuyahoga Falls, OH, ABD)	
Resiprokal Hareket Yapan Başlıklarla Kullanılan Eğeler;	Scout-RaCe files (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre)	
M4 Safety Anguldurvası (SybronEndo, Coppel, Texas)	RaCe ISO 10 (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre)	
SafeSiders (Essential Dental Systems, South Hackensack, NJ, ABD)	G-Files (MicroMega, Besançon, Fransa)	
	One G (Micro-Mega, Besançon, Fransa)	
	Pre-SAF instruments (ReDent Nova GmbH & Co, Almanya)	

El eğeleri, kök kanal anatomisi hakkında hissiyat sağlarken, NiTi eğeler, üstün esnekliği ve mekanik gücü sayesinde kök kanalı şekillendirmesi sırasında oluşabilecek iatrojenik komplikasyonları azaltmayı amaçlamaktadır (Tablo 2).^{42,43}

Tablo 2. Farklı tipteki hareketleri kullanan eğelerin avantaj ve dezavantajları.

Resiprokal Hareket Yapan Başlıklarla Kullanılan K-Tipi Eğeler		Paslanmaz Çelik K-Tipi Eğeler		Rotasyonel ve Resiprokal Hareket Kullanan NiTi Eğeler	
Avantaj	Dezavantaj	Avantaj	Dezavantaj	Avantaj	Dezavantaj
Şekillendirme zamanı kısadır.	Angulduruya takılması gerekir.	Parmak hassasiyeti fazladır.	Klinisyenin el yorgunluğu fazladır.	Zamandan tasarruf sağlar.	Maliyeti yüksektir.
Klinisyenin el yorgunluğu daha azdır.	Büyük numaralı eğelerde apikal tranportasyon riski fazladır.	Kullanım sonrası deformasyonlar gözle görülebilir.	Büyük numaralı eğede komplikasyon riski yüksektir.	Daha az postoperatif ağrıya neden olur.	Alet kırılma riski fazladır.
Alet kırılma riski azalır.	Apikalden debris taşınma riski yüksektir.	Maliyet düşüktür.	Orijinal kanal yapısının bozulma riski vardır.	Apikalden debris çıkışı daha azdır.	Parmak hassasiyeti daha azdır.
	Parmak hassasiyeti azdır.	Kırılma riski azdır.	Fazla zaman alır.	Daha az el yorgunluğu	
		Kullanımı sırasında başlığa gerek yoktur.		Orijinal anatomi korunabilir.	
				Daha az komplikasyon	

Rehber yol oluşturulmasında NiTi döner eğelerin kullanılması, paslanmaz çelik el eğelere göre kök kanalı yapısının korunmasında daha anlamlı sonuçlar vermektedir.

ENDODONTİK REHBER YOL EĞELERİ VE KULLANILAN HAREKETLER

Rehber yol eğeleri, üretiminde kullanılan metalin yapısına, apikal uca doğru olan konikleşme miktarına, yatay kesitlerinin tasarımı, kullandığı hareket sistemlerine göre farklılıklar göstermektedir. Üreticiler, bu kriterleri baz alarak farklı ürünleri piyasaya sürmektedir. Bu amaçla, bugüne kadar farklı NiTi alaşımlarından eğeler geliştirilmiş, farklı jenerasyondaki bu eğeler rotasyonel veya resiprokal hareketleri kullanarak klinisyenlerin endodontik tedavideki mevcut ihtiyaçlarını karşılamıştır. Ayrıca yeni hareketler ile geleneksel NiTi alaşımlarının nitelikleri optimize edilerek daha fazla güvenlik ve verimlilik sağlanmıştır.³⁷

A.EL DESTEKLİ ENDODONTİK HAREKETLER VE REHBER YOL EĞE SİSTEMLERİ

Kök kanalı şekillendirmesine başlamadan önce, kullanılacak uygun yöntemin ve aletlerin doğru seçimi kadar, bu aletlerin kök kanalı içerisinde hangi hareketlerle kullanılması gerektiğinin bilinmesi de çok önemlidir (Resim 2).

İtme-Çekme Hareketi: Eğe ile, kök kanalı içerisinde kordanalden apikale doğru aşağı-yukarı hareket edecek şekilde itme-çekme manevrası yapılır.

Reaming: Bir çeyrek ya da bir buçuk turluk rotasyon ile eğe dentine bağlanır ve kanaldan çekilir. Düz kanallarda

kullanılması önerilir.

Saat Kurma Hareketi: Saat kurar gibi, ileri ve geri çeyrek tur rotasyon hareketidir. K tipi eğe ile çalışma boyuna gidilirken bu şekilde ilerlemesi önerilir.

Dengeli Kuvvet Hareketi: Eğe hareketi; aşağı yukarı yönde hareketle birlikte, saat yönünde ve saat yönünün tersine doğrudur. Bu eylem Newton'un üçüncü yasasına dayanır. Eğe kök kanalına yerleştirilir ve önce 90° saat yönünde, daha sonra 270° saat yönünün tersine döndürülür.⁴⁴ Bu hareketlerle çalışan endodontik aletler aşağıdaki gibidir: C-Pilot (VDW, Münih, Almanya)

Paslanmaz çelik yapıdaki C-Pilot eğeleri, CC + sapı bulunan, 19, 21 ve 25 mm uzunluğa sahip, .06, .08, .10, .12,5 ve .15 taperda ve inaktif uca sahip eğe sistemidir. Eğe, kavisli veya dar çaptaki kök kanallarında kullanılmak üzere üretilmiştir.⁴⁵

Lopes ve ark.,⁴⁶ kırılmaya karşı maksimum tork analizi sonucunda C+ eğe (Maillefer/Dentsply, Ballaigues, İsviçre) sisteminin daha iyi sonuçlar gösterdiğini ortaya koymuştur. (C+ eğe > K tipi eğe > C-Pilot). Ayrıca, kırılmaya karşı açılma sapma testinde; K tipi eğeler en iyi sonucu verirken, C-Pilot'un, C+ eğe sistemine göre anlamlı derecede daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. (K tipi eğe > C-Pilot > C+ eğe). Lopes ve ark.⁴⁷ yaptıkları diğer çalışmada, C-Pilot eğelerinin burkulmaya karşı artan direnç gösterdiğini, ancak NiTi rehber yol eğelerine kıyasla daha düşük esneklik ve döngüsel yorgunluk direnci gösterdiğini ortaya koymuştur. Çalışmalardan çıkarttığımız sonuç; özellikle dar kök kanalı yapısına sahip dişlerin rehber yol hazırlığında, C-Pilot eğelerin K tipi eğelere göre tercih edilebileceği, ayrıca paslanmaz çelik el eğeleri ve NiTi sistemlerin beraber kullanımının daha avantajlı olabileceği yönündedir.

M4 Safety Anguldurva (Sybron Endo, Glendora, CA, ABD) M4 Safety Anguldurvası, 30° saat yönüne / 30° saat yönünün tersine resiprokal hareket kullanarak, el aletlerinin kök kanallarını mekanik şekillendirme yapabilmesi için geliştirilmiştir. Elektronik endodontik cihazlarla veya doğrudan diş ünitesine bağlanarak kullanılabilen M4 anguldurvası, 4:1 oranında redüksiyon özelliğine sahiptir. Piyasada bulunan çoğu paslanmaz çelik veya NiTi el aletleriyle, yalnızca ön şekillendirme işlemi için değil, aynı zamanda irrigasyon solüsyonunun etkinliğinin artırılmasında veya güta-perka sökümü için de kullanılabilir.⁴⁸ Gambarini ve ark.⁴⁹ yaptığı bir çalışmada, M4 anguldurvası ile kullanılan #15 K tipi paslanmaz çelik aletler ile PathFiles NiTi döner alet sisteminin döngüsel yorgunluk dirençlerini karşılaştırdıklarında; K tipi eğelerin anlamlı derecede daha yüksek döngüsel yorgunluk direncine sahip olduklarını göstermişlerdir. Ayrıca, M4 anguldurvasının resiprokal hareket kullanması nedeniyle, el destekli hareketlere göre anlamlı ölçüde daha az apikalden debris çıkışına neden olmaktadır.⁵⁰

Paslanmaz çelik alaşımına sahip eğeler, NiTi alaşımına

göre daha rijit olması nedeniyle daha yüksek kesme verimliliği⁵¹ ve burkulma direnci göstermektedir. Bu nedenle, dar ve kavisl kök kanallarında çalışırken hem resiprokal hareketin hem de paslanmaz çelik alaşımın avantajlarından yararlanabilmek için M4 Safety angulduruvası ve K tipi eğelerin (#20'ye kadar) birlikte kullanılabileceği sonucuna varmaktayız. Ayrıca; K tipi eğelerin uç çapı arttıkça, artan sertlikleri nedeniyle kanal içerisinde transportasyon ve perforasyon riskini de arttıracak için özellikle eğimli kök kanalına sahip dişlerde NiTi aletlerin kullanılabileceğini düşünmekteyiz.

SafeSiders (Essential Dental Systems, South Hackensack, NJ, ABD)

Eğeler, geleneksel paslanmaz çelik K-reamer eğesinin yüzeyinin tüm çalışma boyu boyunca düzleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Endo-Express isimli özel bir anguldurva ile birlikte kullanılan SafeSiders sisteminde bulunan eğeler şu şekildedir;

1.Pleezer: .03 konikliğe 0,75 mm uç çapına sahip modifiye # 2 Peeso reamer.

2.#08-40/02 paslanmaz çelik reamer ve #30/04 ve #25/06-.08 konikliğe sahip NiTi aletler bulunmaktadır.⁵²

Eğeler, yüzeyinde bulunan tüm çalışma uzunluğu boyunca kesintisiz şekilde devam eden yivsiz alan sayesinde çalışırken daha az dirençle karşılaşmakta ve eğenin bu yüzeyiyle kanal duvarı arasında oluşan boşluktan kaynaklı debrisin korondan çıkması kolaylaşmaktadır.⁵³ Ancak Delgoshayi ve ark.⁵⁴ SafeSider sisteminin apikal bölgede daha fazla kanal taşınmasına neden olduğunu ve ProTaper sisteminde merkezi dönme hareketinin daha üstün olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Rhodes ve ark.⁵⁵ da, SafeSider sisteminin Vortex #06 eğesine kıyasla kök kanal duvarında daha fazla sapmaya neden olduğunu bildirmişlerdir.

Her ne kadar üretici firma, NiTi eğe sistemlerinin ana dezavantajı olan eğe kırılmasının üstesinden geldiğini iddaa etse de, SafeSider eğeleri ile daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

B.CİHAZ DESTEKLİ ENDODONTİK HAREKETLER VE REHBER YOL EĞE SİSTEMLERİ

NiTi eğelerin piyasaya sürülmesi ile klinisyenler, kök kanalını geçmişe nazaran daha az stres altında ve anlamlı derecede daha kısa sürede şekillendirebilir hale gelmişlerdir. Ayrıca, geleneksel endodontik aletlerin kırılma riskini en aza indirmek amacıyla yeni hareket sistemleri de geliştirilmiştir.³⁷

1) Rotasyonel Hareket: 1980'lerin sonlarında ortaya çıkan rotasyonel hareket, günümüzde hala birçok sistem tarafından kullanılmaktadır. Bu sistemde NiTi eğeler, endomotora takılarak tam dönüşlü (360°) hareketle kök kanallarında çalışırlar.⁵⁶

PathFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)

PathFile eğeleri, mekanik şekillendirme ön hazırlığına yardımcı olmak ve rehber yol oluşturmak amacıyla üretilmiştir. 0.13, 0.16 ve 0.19 mm uç çaplarında, 21, 25 ve 31 mm olmak üzere 3 farklı uzunlukta eğeleri mevcuttur. Kare kesite sahiptir. Kare kesit, küçük çap ve küçük taper değerine rağmen döngüsel kuvvetlere karşı mukavemeti artırır. 300 rpm ve 2 N/cm'lik torkla çalışır.^{57,58} Bu eğeler ProTaper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) eğeleriyle kombine kullanılabildiği gibi, diğer NiTi eğeleriyle kullanıldığında da mekanik rehber yol hazırlamada büyük kolaylık sağlamaktadır.

Berutti ve ark.,⁵⁹ PathFile ve paslanmaz K tipi çelik eğelerle yaptıkları mekanik ön şekillendirme işlemi çalışmasında; PathFile eğelerin, kök kanalının koronalinde ve apikal eğiminde daha az deformasyona ve kanal içerisinde de daha az apikal transportasyona neden olduğunu belirtmişlerdir. Bundan dolayı, bu eğelerin orijinal kanal anatomisine daha iyi uyum sağladığı düşünülmektedir.

Benzer şekilde Elnaghy ve Elsaka,⁶⁰ PathFile ve ProGlider (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) NiTi eğelerin mekanik özelliklerini karşılaştırdıkları bir çalışmada; ProGlider'in döngüsel yorgunluk direncinin anlamlı derecede daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. ProGlider'in artan koniklik değerine (%2-8) rağmen, üretiminde kullanılan M-Wire alaşımının bu eğeye, daha fazla esneklik ve yüksek döngüsel yorgunluk direnci sağladığını düşünmekteyiz.

ProGlider (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)

ProGlider NiTi eğesi, Dentsply firmasının PathFile NiTi eğelerden sonra tek eğe ile rehber yol oluşturmak için piyasaya sürdüğü diğer bir egedir. Üretim aşamasında M-Wire alaşımı kullanılarak bu eğenin, esnekliği ve döngüsel yorulma direnci artırmak amaçlanmıştır. ProGlider tek eğe sistemi, #16/02 uç çap ve konikliğe sahip bir PathFile eğesi örnek alınarak geliştirilmiş ve 21, 25 ve 31 mm uzunluklarda üretilmiştir. Ayrıca, 300 rpm hızla ve 2 N/cm'lik torkta çalışan ProGlider eğesi; kare bir enine kesite ve çalışan uçtan şafta doğru artan konikliği sayesinde (%2-8) daha rahat bir koronal şekillendirmeye olanak sağlayan tasarıma sahiptir.

2016 yılında Uslu ve ark.'nın⁶¹ One G (#14/03) ve ProGlider (#16/02) eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençlerini kıyaslamak amacıyla yaptıkları bir çalışmada; M-Wire alaşımı ile üretilen ProGlider eğesinin döngüsel yorulma direncinin, geleneksel NiTi alaşımdan üretilen One G eğesine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bu çalışmalardan çıkardığımız sonuca göre; küçük apikal uç çapına sahip olmasına rağmen geleneksel yöntemlerle üretilen NiTi rehber yol eğeler, büyük apikal uç çapına sahip M-Wire alaşımıyla üretilen NiTi rehber yol eğelere kıyasla döngüsel yorgunluğa karşı daha az dirençli oldu-

ğu düşünülebilir.

HyFlex Glide Path Files (GPF) (Coltene/Whaledent Inc, Cuyahoga Falls, OH, ABD) Hyflex GPF eğeleri, #15/01, #15/02 ve #20/02 uç çap, konikliğe ve 21, 25, 31 mm uzunluğa sahip üç farklı NiTi eğeden oluşmaktadır. Hyflex GPF NiTi eğeleri, ağırlıklı olarak Hyflex CM NiTi eğe sisteminin rehber yol eğeleri olarak tercih edilmektedir. Hyflex GPF kontrollü bellek teknolojisi ile üretilmiştir ve bu işlem eğeyi daha esnek hale getirir.⁶² Eğelerin merkezde kalma kabiliyetleri ölçen bir çalışmaya göre Hyflex GPF ve G-Files, Path File'dan daha iyi sonuç vermiştir. Çapar ve ark.⁶³ tarafından yapılan çalışmaya göre Hyflex GPF döngüsel yorulmaya karşı en yüksek direnci gösterirken diğer aletlerin döngüsel yorulma direnci en düşüğe doğru şu şekilde sıralanmıştır: G-File> ProGlider> PathFile> Scout Race.

ScoutRace ve RaCe ISO 10 (FKG Dentaire, La Chaux-deFonds, İsviçre)

Race sisteminde rehber yol oluşturmak için tasarlanan ScoutRace eğeleri sabit koniklik ve farklı uç çaplarına sahipken, RaCe ISO 10 eğeleri sabit uç çap ve farklı koniklik değerlerine sahiptir. Elektroparlatma (EP) işlemi gören ScoutRace eğeleri; Quadrangular bir enine kesite, .02 sabit konikliğe, #10, #15 ve #20 uç çapa ve 21, 25 ve 31 mm uzunluğa sahipken, 800-600 rpm hızla ve 1 N/cm tork ile çalışmaktadır.²⁹ Aynı şekilde üretiminde EP işlemi gören Race ISO 10 sistemi eğeleri ise, 21, 25 ve 31 mm uzunluğa, #10/02, #10/04 ve #10/06 uç çap ve koniklik değerine sahiptir.⁶⁰ Topçuoğlu ve ark.⁶⁴ tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada; Path File, ProGlider ve ScoutRace sistemlerinin S-şekilli yapay kanallarda döngüsel yorulma dirençleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucuna göre ProGlider eğeleri, PathFile ve Scout Race eğelerine göre daha fazla döngüsel yorulma direnci göstermiştir.

G-File (MicroMega, Besançon, Fransa)

G-File sistemi, MicroMega firması tarafından üretilen Revo S NiTi eğelerinin rehber yol eğeleridir. G-File sistemi, karmaşık anatomiye sahip, dar ve kalsifiye kanallarda, bütün NiTi döner sistemlerle kombine kullanılabilir. Elektro Parlatma işlemi görmüş, üç farklı çapta üç kesici kenarı bulunan, aktif olmayan uç ve farklı çapraz kesitlere sahiptir. Bu sistemdeki 21, 25 ve 31 mm uzunluktaki #12/03 ve #17/03 eğeler ile 400 rpm hız ve 1.2 N/cm tork değerinde çalışılmalıdır.^{41,59}

Ha ve ark.'nın⁶⁵ G file eğe sistemindeki G1 ve G2 eğelerinin J şekline sahip yapay kanallarda çalışma uzunluğunda apikal boyutu koruyup korumadığını ve rehber yolu hazırlığında yeterli olup olmadığını değerlendirdikleri çalışmada; D0 seviyesindeki çapta önemli bir artış görülmezken, D1'de önemli ölçüde daha büyük kanal çapı ölçülmüştür (p <0.05). Bu çalışma bize; apikal transportasyon göstermeden, #20 numaralı bir eğeden daha büyük döner eğe sistemleri ile apikal şekillendirme yapılırken yeterli rehber

yolu hazırlığının elde edilebileceğini göstermektedir.⁶⁵

Paleker ve ark.'nın⁶⁶ K tipi paslanmaz çelik, G-File ve ProGlider NiTi eğelerinin, 90 mandibular molar dişin mesial kavisli kök kanallarında (25° ile 35° arasında) rehber yol ortalama hazırlık süresini karşılaştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada; ProGlider (27.9±8.6 saniye) ve G-File eğe grubu (41.9±20.1 saniye) ile rehber yolu hazırlığının K tipi eğe grubuna (74.9 ±24.1 saniye) göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha hızlı olduğunu bulmuşlardır (P<.05). ProGlider ve G File gruplarının ortalama hazırlık süreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (P<.05). Bu çalışma bize, rehber yolu hazırlık sürelerinin döner alet sistemleri ile paslanmaz çelik K tipi eğelerine göre önemli ölçüde daha hızlı olduğunu göstermektedir.⁶⁶

Sung ve ark.'nın⁶⁷ yaptıkları çalışmada; D2 ve D3 çalışma uzunluğunda, G-File #2 (#17/03) eğesi, PathFile #3 (#19/02) eğesinden daha düşük bir burkulma direnci göstermesine rağmen (p<0,05), D4, D5 ve D6 seviyelerinde benzer sonuçlar göstermiştir (p>0,05). PathFile #1 ve #2 eğesi ise, G-File eğesinden daha yüksek yorgunluk direncine sahipken, G-File #1, PathFile #3 eğesi ile benzer yorgunluk direnci göstermiştir (p <0.05). Çalışmadan çıkarttığımız sonuca göre küçük çaptaki eğeler, büyük çaptaki eğelere göre önemli ölçüde daha yüksek döngüsel yorgunluk direncine sahip olduğudur.⁶⁷

One G (MicroMega, Besançon, Fransa)

G-File eğesinden yola çıkarak geliştirilen One G, One Shape NiTi eğelerinin rehber yol eğesi olup, 21, 25 ve 29 mm uzunluğa sahip, #14/03 tek kullanımlık tek eğe sistemidir. Ayrıca bu eğe, asimetrik çapraz kesitli farklı çapta üç kesici kenara ve aktif olmayan uç yapısına sahiptir 73. Kırıcı ve ark.'nın⁶⁸ NiTi rotasyonel rehber yolu eğelerinin döngüsel yorgunluk direncini karşılaştırdıkları çalışmada; ProGlider eğelerinin, PathGlider ve One G eğelerinden daha iyi döngüsel yorgunluk direncine sahip olduğunu bulmuştur.

Lee ve ark.'nın⁶⁹, farklı tip alaşımlardan yapılmış rehber yol hazırlayıcı sistemlerin mekanik özelliklerini karşılaştırdıkları çalışmada; One G eğelerinin, Edge Glide Path ve ProGlider eğelerine göre daha yüksek burkulma kuvveti ve sertlik derecesine sahip olduğu (P<.05); Edge Glide Path eğelerinin ise, ProGlider ve One G eğelerine göre daha yüksek döngüsel yorgunluk direnci gösterdiğini bulmuşlardır. Bu sonuca göre, ısı işlem görmüş eğeler döngüsel yorgunlukta geleneksel yolla üretilen eğelere göre daha başarılı olurken; One G gibi geleneksel yolla üretilen eğelerin, M-Wire ve ısı işlem görmüş NiTi eğelere göre daha yüksek burkulma ve sertlik değerine sahip olduğudur.⁶⁹ Güneş ve ark.⁷⁰ tarafından yapılan in vitro çalışmada, kök kanal şekillendirmesi işleminde resiprokal hareket kullanan tek eğe konseptindeki Wave One Gold eğesi ile rotasyonel hareket kullanan rehber yol eğe sistemleri karşılaştı-

rlmıştır. One G eğeleri, K tipi çelik eğelere göre apikalden daha az debris çıkışı sağladığı; K tipi ege ile ProGlider, G-File, PathFile ve WaveOne Gold eğeleri (rehber yol bulucu olmadan) arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı bulunmuştur.⁷⁰

Pre-SAF Rehber Yol Eğesi (ReDent Nova GmbH & Co, Almanya)

Üretici firma tarafından Self-Adjusting File (SAF) sistemine ait rehber yol eğeleri olarak piyasaya sunulmuştur. Pre-SAF OS; kökün koronalinde (#40/10), Pre-SAF 1; dar çapa sahip kanallarda (#15/02), Pre-SAF 2; 1.5 mm uç çapına sahip SAF eğesi için rehber yol oluşturmada kullanılmaktadır (#20/04)^{77,78}.

2) Resiprokal Hareket: Resiprokal hareket eğenin kök kanallarında saat yönünde ve saat yönünün tersinde ¼ tur rotasyon hareketi yapması ile gerçekleşir. Üretici firmalar bu hareketi kullanırken tur miktarlarını kendi ürettikleri NiTi eğelere göre uyarlamıştır. Hareketin temeli dengeleyici kuvvet hareketine dayanmaktadır. Dengeleyici kuvvet hareketinden farkı ise dentinin uzaklaştırılmasını, saat yönünün tersine hareket kullanarak gerçekleştirmesidir. Harekette kesme yönündeki hareketin (saat yönünün tersi) geri dönüş hareketinden daha büyük olması sayesinde her hareket döngüsünde aletin apikal yönde ilerlemesi kolaylaşırken eğenin kanal içerisinde sıkışmasının önüne geçilmektedir.⁷¹ Fakat çalışmalar, resiprokal hareket kullanan eğelerin esnediği bölgede daha düşük çekme ve baskı gerginliği yarattığı, bundan dolayı rotasyonel harekete kıyasla daha fazla yorulma direnci sağladığını göstermiştir.^{37,72,73}

Yared⁷⁴ yaptığı bir çalışmada; endodontik ege hareketleri açısından bir değişim gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, kök-kanalı şekillendirme işlemi tek bir F2 ProTaper eğesi ile saat yönünün tersine ve saat yönünde farklı dönme açılarıyla, eğenin resiprokal hareket kullanarak apikale az bir basınçla ulaşmasını sağlayan bir teknik anlatmıştır. Bu teknik ile birlikte, kök kanal sisteminin konik bir şekilde şekillendirilmesi için art arda gelen eğelerin kullanımına gerek kalmamıştır. Böylece, M-Wire alaşımından yapılmış, tek ege olan Reciproc ve WaveOne Gold Glider sistemleri geliştirilmiştir.

R-Pilot (VDW, Münih, Almanya)

Resiprokal hareketle çalışan ve M-Wire alaşım teknolojisiyle üretilen, S şeklinde enine kesite sahip tek ege konseptidir. #12,5/04 uç çap ve konikliğe sahip bu ege, 21, 25 ve 31 mm uzunluğa ve pasif bir uç tasarımına sahiptir.⁷⁵ M-Wire alaşımı sayesinde geleneksel NiTi alaşımlara göre daha fazla esneklik ve kırılmaya karşı yüksek yorgunluk direnci göstermektedir.^{76,77}

R-Pilot (RP) eğelerinin One G eğeleri ile karşılaştırıldığı çalışmalarda, RP eğeleri anlamlı derecede daha yüksek burkulma direnci ve kırılmaya karşı yüksek döngüsel direnç

göstermiştir.^{78,79} WaveOne Gold Glider sistemi ile karşılaştırıldığı bir çalışmada,⁸⁰ 60° eğim açısına sahip yapay kanallarda daha az yorgunluk direnci gösterirken, 45° eğim açısına sahip yapay kanallarda çalışıldığında ise iki aletin döngüsel yorgunluk dirençleri benzer sonuçlar vermiştir. Genel olarak R-Pilot eğelerinin M-Wire alaşımı sayesinde, rotasyonel hareket kullanan diğer eğelere göre üstün özellikler gösterdiği ancak benzer hareketi kullanan WaveOne Gold Glider eğelerinin ise eğimli kök kanallarında daha iyi bir tercih olacağı sonucuna varılmaktadır.

WaveOne Gold Glider (Dentsply Sirona, York, PA, ABD)

Resiprokal hareketle çalışan tek kullanıma uygun ege sistemi, ısı işlem teknolojisiyle üretilerek steril halde paketlenip piyasaya sürülmüştür. Gold ısı işlem ile eğenin esnekliği ve döngüsel yorgunluğa karşı direnci ısı işlem görmemiş eğelere göre artmaktadır. #15 no'lu ege, 21, 25 ve 31 mm uzunluğa ve değişken artan tapera (.02-.06) sahiptir.⁷⁶

Keskin ve ark.'nın⁴⁰ yaptığı çalışmada R-Pilot ile ProGlider ve WaveOne Gold Glider rehber yol hazırlayıcı eğelerin döngüsel yorgunluk dirençleri karşılaştırılmıştır. Weibull analizine göre en olumlu sonuçları WaveOne Gold Glider'in verdiği belirtildi. WaveOne Gold Glider ve R-Pilot arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı, ProGlider ile karşılaştırıldığında anlamlı bir fark olduğu resiprokal hareketin rotasyonel harekete göre döngüsel yorgunluk direncinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.⁴⁰

Kırıcı ve Kuştarıcı,⁸¹ WaveOne Gold Glider, ProGlider ve One G rehber yolu eğelerinin döngüsel yorgunluk direncini çift kavisli (S şeklinde) yapay kanallarda karşılaştırdıkları çalışmada; WaveOne Gold Glider eğesinin döngüsel yorgunluk direncinin, ProGlider ve One G NiTi eğelerine göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Bu çalışmalardan çıkarttığımız sonuca göre, M-Wire alaşıma sahip veya resiprokal hareket kullanan rehber yol eğelerinin kırılmaya karşı döngüsel yorgunluk direncinin daha yüksek olduğunu düşünmekteyiz.⁸¹

Santos ve ark.'nın⁸² yaptığı çalışmada R-Pilot ve WaveOne Gold Glider rehber yol hazırlayıcı eğelerin burkulma özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda R-Pilot ege sisteminin maksimum burkulma kuvvetine sahipken, WaveOne Gold Glider ege sisteminin yüksek kırılma açısına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.⁸²

Vorster ve ark.'nın⁸³ yaptığı çalışmada; paslanmaz çelik el eğeleri, PathFiles ve WaveOne Gold Glider ege sistemleri için rehber yolu hazırlama süreleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda rehber yolu oluşturan eğeler arasında; WaveOne Gold Glider grubu (19.7 ± 5.6 saniye) istatistiksel olarak anlamlı derecede daha başarılı bulunurken bu sonucu sırasıyla PathFile grubu (41.0 ± 6.8 saniye) ve K tipi ege grubu (81.2 ± 26.3 saniye) izlemiştir.⁸³

3) Kombine Hareketler (merkezi rotasyonel hareket + re-

siprokal hareket): Bazı sistemler, rotasyonel ve resiprokal hareketleri birleştirerek her birinden faydalanmak üzere tasarlanmıştır. Bu durum; kök kanalından dentin uzaklaştırılmasında daha yüksek verim ve debrisin apikalden daha az çıkmasını sağlamaktadır.³⁷

Optimum Glide Path (OGP) ve Optimum Tork Reverse (OTR) Hareketi

Bu hareket ve rehber yol sistemi, J Morita firması (J Morita MFG CORP Kyoto, Japonya) tarafından geliştirilmiş olup istenilen çalışma uzunluğuna ve apikal foramene ulaşmak için kullanılabilir. Küçük uç çapına sahip olan Optimum Glide Path (OGP) eğeleri (#10, #15 ve #20), kök kanalının kısmi olarak şekillendirmesini yaparak ve anatomisini taklit ederek simetrik ve asimetrik sıralı döner hareketleri kullanmaktadır. Optimum Tork Reverse (OTR) hareketiyle çalışan ege, rehber yol performansı sergileyen simetrik bir titreşim hareketi kullanır, bunu takiben ege saat yönünde 180° döner ve bu hareket kombinasyonu tekrar ederek devam eder.⁸⁴ OTR hareketi, simetrik resiprokal hareketin avantajlarını optimize etmek ve dezavantajlarını en aza indirmek amacıyla geliştirilmiştir. Saat yönünde rotasyonel hareket sırasında otomatik olarak ölçülen tork daha önce tanımlanmış belirli bir değerden büyükse, OGP eğesi saat yönünün tersine ve saat yönünde 90°'lik bir resiprokal hareket gerçekleştirir. Bu işlem, tanımlanan tork değerinden daha düşük olana ve rotasyonel hareket sağlanana kadar sürekli tekrarlanmaktadır.³⁷

Htun ve ark.'nın⁸⁵ 30 adet düz ve dar kök yapısına sahip alt çene kesici dişlerde yaptıkları çalışmada; manuel paslanmaz K-tipi çelik ege, HyFlex EDM Glide Path ve Optimum Glide Path (OGP) eğelerinin kullandığı hareketler sonucu mevcut dişler üç gruba ayrılmış ve rehber yol hazırlığında eğelerin uyguladığı kuvvet/tork değeri, kanal çapındaki değişiklik ve apikaldeki transportasyon miktarları değerlendirilmiştir. Devamlı rotasyon hareketini kullanan Hyflex EDM rehber yol eğeleri ve OGP eğeleri, K tipi eğelere göre vidalanma etkisi ve apikale ulaşmak için uygulanan kuvvette istatistiksel olarak daha düşük değerlerde bulunmuştur. Hyflex EDM rehber yol eğelerinin olduğu grup, şekillendirme ön hazırlığında kanal çapını hacmen en çok değiştirirken, bunu OGP ve K tipi eğeler takip etmektedir. Apikaldeki kanal transportasyonu konusunda gruplar arasında anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Yapılan çalışmanın sınırları dahilinde çıkan sonuca göre; şekillendirme ön hazırlığında vidalanma etkisi küçükten büyüğe doğru Hyflex EDM rehber yol eğeri, OGP hareketi yapan eğeler ve K tipi eğeler şeklindedir. Tork değerlerini karşılaştırdığımızda büyüktan küçüğe doğru Hyflex EDM rehber yol eğesi, OGP hareketi yapan eğeler ve K tipi eğeler şeklindedir. kanal hacmi değişikliklerini karşılaştırdığımızda ise; Hyflex EDM rehber yol eğeleri daha fazla tork ve kanal çapında hacmen daha fazla değişiklikler gösterirken, OGP ege hareketi ise daha düşük tork ve kanal çapı hacminde

daha az değişiklik göstermiştir.⁸⁵

Gambarini ve ark.'nın⁸⁶ TriAuto ZX2 endomotoruyla farklı tipteki hareketlerin endodontik aletlerin döngüsel yorgunluğu üzerindeki etkisini değerlendirdikleri çalışmada; Vortex Blue 35.06 NiTi eğelerini dört farklı gruba ayırmışlar ve bu gruplarda aşağıdaki hareketleri yapay kanallarda (90° ve 2 mm yarıçaplı) kullanarak eğenin yorgunluk direncini karşılaştırmışlardır. Devamlı Rotasyonel Hareket (CR), Optimum Tork Reverse (OTR) (180°) ve Optimum Glide Path (OGP) 90° ve 240°'de ayarlanarak TriAuto ZX2 motoruyla test edilmiştir. Araştırmacılar gruplar arası kırılma zamanını istatistiksel olarak anlamlı ve sırasıyla; OGP 90° (213.39 ± 27.45), OTR 180° (121.24 ± 17.03), OGP 240° (45.24 ± 5.61) ve CR (8.43 ± 1.27) ise en kısa kırılma süresi olarak bulmuşlardır. Buradan çıkarttığımız sonuca göre, kullanılan hareket türünün ve dönme açısının eğelerin yorgunluk direncini etkilediği yönünde olduğudur.⁸⁶

KAYNAKLAR

1. Logsdon J, Dunlap C, Arias A, Scott R, Peters OA. Current Trends in Use and Reuse of Nickel-Titanium Engine-driven Instruments: A Survey of Endodontists in the United States. J Endod 2020; 46: 391-396.
2. Grzech-Leśniak K, Bencharit S, Dalal N, Mroczka K, Deeb JG. In Vitro Examination of the Use of Er:YAG Laser to Retrieve Lithium Disilicate Crowns from Titanium Implant Abutments. J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont 2019; 28: 672-676.
3. Ramugade MM, Sagale AA. A Review of Medicolegal Considerations of Endodontic Practice for General Dental Practitioners. J Int Soc Prev Community Dent 2018; 8: 283-288.
4. Chandra BS, Gopikrishna V, Grossman LI. Grossman's endodontic practice. 13nd ed. 2014. p. 287-323.
5. Acharya N, Hasan MR, Kafle D, Chakradhar A, Saito T. Effect of Hand and Rotary Instruments on the Fracture Resistance of Teeth: An In Vitro Study. Dent J 2020; 8: 38.
6. Divya S, Jeevanandan G, Sujatha S, Subramanian EMG, Ravindran V. Comparison of quality of obturation and post-operative pain using manual vs rotary files in primary teeth - A randomised clinical trial. Indian J Dent Res Off Publ Indian Soc Dent Res 2019; 30: 904-908.
7. Tabassum S, Zafar K, Umer F. Nickel-Titanium Rotary Systems: What's New. Eur Endod J 2019; 4: 111-117.
8. Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. Int Endod J 2000; 33: 297-310.
9. Otsuka K, Wayman C. Shape Memory Materials. Cambridge: Cambridge Univ. Press. Vol Cap 1.; 1998.
10. Çakıcı EB. Üç farklı Ni-Ti döner alet sisteminin metal yorgunluğu ve korozyona karşı dirençlerinin karşılaştırılması olarak değerlendirilmesi (Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, 2011) p. 6.
11. Abbaschian R, Abbaschian L, Reed-Hill RE. Physical

Metallurgy Principles. 4nd ed. Cengage Learning; 2009.

12. Aydoğan H. Malzeme bilimi eğitimi çoklu ortamın kullanılması (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2003) p. 82

13. Küçükay S, Küçükay I, Yılmaz B. Kök Kanalı Şekillendirme Yöntemleri. İstanbul: Promat AŞ; 2004.

14. Wang FE, Pickart SJ, Alperin HA. Mechanism of the TiNi martensitic transformation and the crystal structures of TiNi-II and TiNi-III phases. J Appl Phys 1972; 43: 97-112.

15. Serene T, Adams JD, Saxena A. Nickel-titanium instruments: applications in endodontics. Ishiyaku Euro Am Inc. 1995.

16. Otsuka K, Ren X. Physical metallurgy of Ti-Ni-based shape memory alloys Prog Mater Sci. 2005; 50: 511-678.

17. Buehler WJ, Wang FE. A summary of recent research on the nitinol alloys and their potential application in ocean engineering. Ocean Eng. 1968; 1: 105-120.

18. Anderson ME, Price JWH, Parashos P. Fracture Resistance of Electropolished Rotary Nickel-Titanium Endodontic Instruments. J Endod 2007; 33: 1212-1216.

19. 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.

20. Koch K, Brave D. Real World Endo: Can metal treatment affect cyclic fatigue of rotary files?. Dentistry iQ 2006.

21. 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: 239-248.

22. Saber SEDM, Nagy MM, Schäfer E. Comparative evaluation of the shaping ability of ProTaper Next, iRaCe and Hyflex CM rotary NiTi files in severely curved root canals. Int Endod J 2015; 48: 131-136.

23. Gambarini G, Grande NM, Plotino G, et al. Fatigue Resistance of Engine-driven Rotary Nickel-Titanium Instruments Produced by New Manufacturing Methods. J Endod. 2008; 34: 1003-1005.

24. Gambarini G, Plotino G, Grande NM, Al-Sudani D, De Luca M, Testarelli L. Mechanical properties of nickel-titanium rotary instruments produced with a new manufacturing technique. Int Endod J. 2011; 44: 337-341.

25. Gambarini G, Gerosa R, De Luca M, Garala M, Testarelli L. Mechanical properties of a new and improved nickel-titanium alloy for endodontic use: an evaluation of file flexibility. Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology 2008; 105: 798-800.

26. 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.

27. Gambarini G, Testarelli L, Galli M, Tucci E, Luca M De. The effect of a new finishing process on the torsional resistance of twisted nickel-titanium rotary instruments. Minerva Stomatol 2010; 59: 401-406.

28. Bouska J, Justman B, Williamson A, Delong C, Qian F. Resistance to cyclic fatigue failure of a new endodontic rotary file. J Endod 2012; 38: 667-669.

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

30. Shen Y, Zhou H, Campbell L, et al. Fatigue and nanomechanical properties of K3XF nickel-titanium instruments. Int Endod J 2014; 47: 1160-1167.

31. 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.

32. Testarelli L, Plotino G, Al-Sudani D, et al. Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel. J Endod. 2011; 37: 1293-1295.

33. Zinelis S, Eliades T, Eliades G. A metallurgical characterization of ten endodontic Ni-Ti instruments: Assessing the clinical relevance of shape memory and superelastic properties of Ni-Ti endodontic instruments. Int Endod J 2010; 43: 125-134.

34. Kishore A, Gurtu A, Bansal R, Singhal A, Mohan S, Mehrotra A. Comparison of canal transportation and centering ability of Twisted Files, HyFlex controlled memory, and Wave One using computed tomography scan: An in vitro study. J Conserv Dent 2017; 20: 161-165.

35. Pinheiro SR, Alcalde MP, Vivacqua-Gomes N, et al. Evaluation of apical transportation and centring ability of five thermally treated NiTi rotary systems. Int Endod J 2018; 51: 705-713.

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

37. Gavini G, dos Santos M, Caldeira CL, et al. Nickel-titanium instruments in endodontics: A concise review of the state of the art. Braz Oral Res 2018; 32: 44-65.

38. Miyazaki S, Suizu K, Otsuka K, Takashima T. Effect of various factors on fatigue crack propagation rate in Ti-Ni alloys. MRS Int Meet Adv Mater 1989; 9: 263-268.

39. West J. Endodontic Update 2006 Education. J Esth Rest Dent 2006; 18: 280-300.

40. Keskin C, İnan U, Demiral M, Keleş A. Cyclic fatigue resistance of R-Pilot, WaveOne Gold Glider, and ProGlider glide path instruments. Clin Oral Investig 2018; 22: 3007-3012.

41. Özsu Kırıcı D, Çolak KM. Kök kanal şekillendirilmesinde rehber yol oluşturma'nın önemi. Atatürk Üni Diş Hek

Fak Derg 2018; 28: 620-624.

42. Bürklein S, Benten S, Schäfer E. Shaping ability of different single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 2013; 46: 590-597.

43. Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: Effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *Int Endod J* 2003; 36: 86-92.

44. Taşdemir T, Aydemir H. Kök kanal preparasyonunda kullanılan kanal aletlerinin gelişim süreci. *GÜ Dişhekimliği Fakültesi Dergisi* 2006; 23: 47-53

45. Adiguzel M, Tufenkci P. Comparison of the ability of Reciproc and Reciproc Blue instruments to reach the full working length with or without glide path preparation. *Restor Dent Endod* 2018;43.

46. Lopes HP, Elias CN, Amaral G, et al. Torsional properties of pathfinding instruments. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2011; 112: 667-670.

47. Lopes HP, Elias CN, Siqueira JF, et al. Mechanical behavior of pathfinding endodontic instruments. *J Endod*. 2012; 38: 1417-1421.

48. Piasecki L, Al-Sudani D, Rubini AG, et al. Mechanical resistance of carbon and stainless steel hand instruments used in a reciprocating handpiece. *Ann Stomatol (Roma)*. 2013; 4: 259-262.

49. Gambarini G, Plotino G, Sannino GP, et al. Cyclic fatigue of instruments for endodontic glide path. *Odontology*. 2015; 103: 56-60.

50. Labbaf H, Shakeri L, Orduie R, Bastami F. Apical extrusion of debris after canal preparation with handfiles used manually or installed on reciprocating air-driven handpiece in straight and curved canals. *Iran Endod J* 2015; 10: 165-168.

51. Tepel J, Schäfer E, Hoppe W. Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 1. Cutting efficiency. *J Endod* 1995; 21: 418-421.

52. Kfir A, Tsesis I, Yakirevich E, Matalon S, Abramovitz I. The efficacy of five techniques for removing root filling material: Microscopic versus radiographic evaluation. *Int Endod J* 2012; 45: 35-41.

53. Valiyapalathingal A, Mallandhur S, Meena N, Prabhakar V, Kumar NN. Glide path establishing instruments -An overview. *Int J Contemp Dent Med Rev* 2019.

54. Delgoshayi N, Abbasi M, Bakhtiar H, Sakhdari S, Ghannad S, Ellini MR. Canal transportation and centering ability of protaper and safesider in preparation of curved root canals: A CBCT evaluation. *Iran Endod J* 2018; 13: 240-245.

55. Rhodes SC, Hlsmann M, McNeal SF, Beck P, Eleazer PD. Comparison of root canal preparation using reciprocating Safesiders stainless steel and Vortex nickel-titanium instruments. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral*

Radiol Endodontology. 2011; 111: 659-667.

56. Ferreira F, Adeodato C, Barbosa I, Aboud L, Scelza P, Zaccaro Scelza M. Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. *Int Endod J* 2017;50:143-152.

57. Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R. The Self-adjusting File (SAF). Part 1: Respecting the Root Canal Anatomy-A New Concept of Endodontic Files and Its Implementation. *J Endod* 2010; 36: 679-690.

58. Kim Y, Love R, George R. Surface Changes of PathFile after Glide Path Preparation: An Ex Vivo and In Vivo Study. *J Endod* 2017; 43: 1674-1678.

59. Berutti E, Cantatore G, Castellucci A, et al. Use of Nickel-Titanium Rotary PathFile to Create the Glide Path: Comparison With Manual Preflaring in Simulated Root Canals. *Basic Res Tech* 2009; 35.

60. 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.

61. Uslu G, Özyürek T, İnan U. Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of ProGlider and One G Glide Path Files. *J Endod* 2016; 42: 1555-1558.

62. Shi L, Wagle S. Comparing the Centering Ability of Different Pathfinding Systems and Their Effect on Final Instrumentation by Hyflex CM. *J Endod* 2017; 43: 1868-1871.

63. Capar ID, Kaval ME, Ertas H, Sen BH. Comparison of the cyclic fatigue resistance of 5 different rotary pathfinding instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire, and controlled memory wire. *J Endod* 2015; 41: 535-538.

64. Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Düzgün S. Resistance to cyclic fatigue of PathFile, ScoutRaCe and ProGlider glide path files in an S-shaped canal. *Int Endod J* 2018; 51: 509-514.

65. Ha J-H, Jeon H-J, Abed R El, Chang S-W, Kim S-K, Kim H-C. Effect of repetitive pecking at working length for glide path preparation using G-file. *Restor Dent Endod* 2015; 40: 123.

66. Paleker F, van der Vyver PJ. Glide Path Enlargement of Mandibular Molar Canals by Using K-files, the ProGlider File, and G-Files: A Comparative Study of the Preparation Times. *J Endod* 2017; 43: 609-612.

67. Sung SY, Ha J-H, Kwak S-W, Abed R El, Byeon K, Kim H-C. Torsional and cyclic fatigue resistances of glide path preparation instruments: G-file and PathFile. *Scanning*. 2014; 36: 500-506.

68. Kırıcı DÖ, Karataş E, Uygun AD, Doğanay Yıldız E, Çolak KM, Arslan H. Comparison of the cyclic fatigue resistance of ProGlider, PathGlider and One G path-finding instruments. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2019; 13: 57-60.

- 69.** Lee JY, Kwak SW, Ha JH, Abu-Tahun IH, Kim HC. Mechanical Properties of Various Glide Path Preparation Nickel-titanium Rotary Instruments. *J Endod* 2019; 45: 199-204.
- 70.** Gunes B, Yesildal Yeter K. Effects of Different Glide Path Files on Apical Debris Extrusion in Curved Root Canals. *J Endod* 2018; 44: 1191-1194.
- 71.** Schafer E, Vahdat-Pajouh N. Glide path and root canal preparation in reciprocating motion: root canal treatment of a mandibular premolar with complex root canal morphology using R-Pilot and Reciproc Blue. *Dtsch Zahnärztlische Zeitschrift Int* 2019; 1: 1-15.
- 72.** 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.
- 73.** 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.
- 74.** Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 2008; 41: 339-344.
- 75.** Adıgüzel M, Yılmaz K, Tüfenkçi P. Comparison of postoperative pain intensity after using reciprocating and continuous rotary glide path systems: a randomized clinical trial. *Restor Dent Endod*. 2019; 44.
- 76.** Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Fatigue testing of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2011; 37(7): 997-1001.
- 77.** Ye J, Gao Y. Metallurgical characterization of M-Wire nickel-titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue. *J Endod* 2012; 38: 105-107.
- 78.** Yılmaz K, Uslu G, Özyürek T. In vitro comparison of the cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM, One G, and ProGlider nickel titanium glide path instruments in single and double curvature canals. *Restor Dent Endod* 2017; 42: 282.
- 79.** Vivan RR, Alcalde MP, Candeiro G, Gavini G, Caldeira CL, Duarte MAH. Torsional fatigue strength of reciprocating and rotary pathfinding instruments manufactured from different NiTi alloys. *Braz. Oral Res* 2019; 33: 1-7
- 80.** Topçuoğlu H, Topçuoğlu G, Arslan H, Kafdağ Ö. Cyclic fatigue resistance of new reciprocating glide path files in 45- and 60-degree curved canals. *Int Endod J* 2018; 51:1053-1058.
- 81.** Kırıcı D, Kuştarıcı A. Cyclic fatigue resistance of the WaveOne Gold Glider, ProGlider, and the One G glide path instruments in double-curvature canals. *Restor Dent Endod* 2019; 44.
- 82.** Santos CB, Simões-Carvalho M, Perez R, et al. Torsional fatigue resistance of R-Pilot and WaveOne Gold Glider NiTi glide path reciprocating systems. *Int Endod J* 2019; 52: 874-879.
- 83.** Vorster M, van der Vyver PJ, Paleker F. Influence of Glide Path Preparation on the Canal Shaping Times of WaveOne Gold in Curved Mandibular Molar Canals. *J Endod* 2018; 44: 853-855.
- 84.** Gambarini G, Gerosa R, De Luca M, Garala M, Testarelli L. Mechanical properties of a new and improved nickel-titanium alloy for endodontic use: an evaluation of file flexibility. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 2008; 105: 798-800.
- 85.** Htun PH, Ebihara A, Maki K, et al. Comparison of torque, force generation and canal shaping ability between manual and nickel-titanium glide path instruments in rotary and optimum glide path motion. *Odontology* 2020; 108: 188-193.
- 86.** Gambarini G, Piasecki L, Miccoli G, et al. Classification and cyclic fatigue evaluation of new kinematics for endodontic instruments. *Aust Endod J* 2019; 45: 154-162.