

## ÖZGÜN ARAŞTIRMA

# Farklı Teknolojiler Kullanılarak Üretilmiş Güncel Nikel-Titanyum Esaslı Döner Alet Sistemlerinin Şekillendirme Etkinliklerinin İncelenmesi

## Shaping Ability of Novel Nickel-Titanium Rotary Instruments Manufactured With Different Thermal Treatments

### Dr. Öğr. Üyesi Vasfiye Işık

İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi  
Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı,  
İstanbul

ORCID ID: 0000-0003-1622-2698

### Prof. Dr. Handan Ersev

İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,  
Endodonti Anabilim Dalı, İstanbul

ORCID ID: 0000-0001-7464-0121

Geliş tarihi: 15.04.2023

Kabul tarihi: 28.04.2023

doi: 10.5505/yeditepe.2024.64507

### Yazışma adresi:

Dr. Öğr. Üyesi Vasfiye Işık  
İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi  
Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı,  
Sütlüce Mah. İmrahor Cad. No:82, 34275 Beyoğlu,  
İstanbul

Tel: 0090 542 320 9950

E-posta: vasfiye86@hotmail.com

## ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı farklı termomekanik teknolojiler kullanılarak üretilmiş 4 adet Nikel-titanyum esaslı döner alet sisteminin; ProTaper NEXT (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre), BT-RaCe (FKG, La Chaux-de-Fonds, İsviçre), K3XF (SybronEndo, West Collins, Kaliforniya, ABD) ve HyFlex CM (Coltene-Whaledent, Altstätten, İsviçre), şekillendirme etkinliklerini karşılaştırmaktır.

**Gereç ve Yöntem:** S-şekilli kanal içeren reçine bloklardan (n=20) işlem öncesi ve sonrası dijital fotoğraflar; ileri derecede eğimli kanala sahip çekilmiş dişlerden (n=20) şekillendirme öncesi ve sonrası standart yöntemle dijital radyografiler alınmıştır. Alınan fotoğraf ve radyografiler bilgisayar yazılım programı yardımı ile karşılaştırılarak ölçümler yapılmış ve transportasyon miktarı ile merkezde kalma oranları hesaplanmıştır. İstatistiksel değerlendirmede varyans analizi ve Kruskal Wallis testi ve post-hoc Tukey ve Dunn's çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Sonuçlar anlamlılık  $p<0,05$  düzeyinde değerlendirilmiştir.

**Bulgular:** Reçine bloklarda, kuronal eğimde K3XF merkezde kalma ve transportasyon miktarı açısından en başarılı sonuçları vermiştir ( $p<0,05$ ). K3XF sistemini sırasıyla HyFlex CM ve ProTaper NEXT sistemleri izlemiştir ancak bu iki sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ( $p>0,05$ ). BT-RaCe sistemi her iki eğimde de en fazla transportasyon oluşturan ( $p<0,05$ ) sistem olmuştur. Çekilmiş dişlerde, en az transportasyonu K3XF ve HyFlex CM sistemleri oluşturmuştur ( $p<0,05$ ). Çalışma uzunluğunda en fazla transportasyona BT-RaCe sistemi neden olmuştur. ProTaper NEXT sisteminin kanal düzleşmesi meydana getirdiği saptanmıştır.

**Sonuçlar:** İleri derecede eğimli ve birden fazla eğime sahip kök kanalların şekillendirilmesinde K3XF en uygun sistem gibi görünmektedir. HyFlex CM sisteminin de güvenle kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır. Esnekliği artırılmış alaşımlardan üretilen aletlerin zorlu vakaların şekillendirilmesinde daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** NiTi döner alet, ileri derecede eğimli kök kanalı, s-şekilli yapay kanal, şekillendirme etkinliği, transportasyon

## SUMMARY

**Aim:** To compare the shaping efficacy of 4 rotary instrumentation systems (ProTaper NEXT (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), BT-RaCe (FKG, La Chaux-de-Fonds, Switzerland), K3XF (SybronEndo, West Collins, CA, USA) and HyFlex CM (Coltene-Whaledent, Altstätten, Switzerland) manufactured with different processing technologies of nickel-titanium wire.

**Materials and Method:** Superimposed pre- and postoperative images of simulated S-shaped canals (n=20) and digital radiographs of severely curved root canals (n=20) were used to determine amount of transportation and centering ratio. The data were analyzed using analysis of variance and Kruskal Wallis test and post-hoc Tukey and Dunn's multiple comparison tests and significance was set at P<0.05.

**Results:** In simulated S-shaped canals, K3XF gave the best results with respect to amount of transportation and centering ratio at the coronal curvature (P<0.05) followed by HyFlex CM and ProTaper NEXT with no significant differences between them. At the apical curvature, K3XF and HyFlex CM presented significantly better centering ratio results than ProTaper NEXT (P<0.05). BT-RaCe showed significantly higher transportation values than the other systems in both curvatures (P<0.05) In extracted teeth, K3XF and HyFlex CM resulted in the least mean canal transportation (P<0.05) BT-RaCe produced the highest amount of transportation at the apical end point of instrumentation. ProTaper NEXT exhibited pronounced canal straightening.

**Conclusions:** Under the conditions of this study, K3XF appears to be more suitable to shape multi-curved and severely curved root canals. HyFlex CM showed adequate canal preparation and was also safe. Alloy types with greater flexibility seem to result in better shaping outcome in complex canals.

**Keywords:** NiTi rotary instruments, severely curved root canal, simulated S-shaped canal, shaping ability, transportation

## GİRİŞ

Kök kanallarının şekillendirilmesi, kök kanalı tedavisinin en önemli aşamalarından biridir. Kök kanallarının şekillendirilmesi ile sadece pulpa dokusu, mikroorganizmalar ve debrisin uzaklaştırılmasının yanı sıra; etkili bir yıkama ve doldurma işlemi için de yeterli boşluğun sağlanması hedeflenmektedir.<sup>1,2</sup> Şekillendirme işlemi apikal foramenin pozisyonu ve boyutunu değiştirmeden, kök kanalı transportasyonu ve iyatrojenik komplikasyonlar oluşturmadan kök kanalının orijinal şeklini koruyarak tamamlanmalıdır.<sup>2</sup> Kök kanal transportasyonunun miktarı kök kanal anatomisine bağlı olmakla beraber şekillendirmede kullanılan aletin dizaynı ve esneklik gibi mekanik özelliklerine de bağlıdır.<sup>2</sup> Nikel-titanyum (NiTi) aletlerin yüksek elastiklik özellikleri sayesinde özellikle eğimli kök kanallarında şekillendirme işleminin daha az prosedürel hatayla tamamlanması mümkün olmaktadır.<sup>3,4</sup> Şekillendirme etkinliğinin artırılması amacıyla yıllar içinde farklı geometrik dizaynlarda ve

tasarımlara sahip NiTi aletler üretilmiştir.<sup>5,6</sup> Bununla beraber son yıllarda aletlerin esneklik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla farklı termomekanik işlemler uygulanması da oldukça popüler hale gelmiştir.<sup>6</sup> ProTaper NEXT (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) (PTN) döner aletleri "M-wire"dan üretilmiştir.<sup>7,8</sup> "M-wire" NiTi alaşımı, yapısında östenit fazın yanı sıra esneklik ve döngüsel yorgunluğa karşı direnci arttıran martenzitik ve 'R-faz' ini da içermektedir.<sup>6</sup> PTN döner aletler merkezde konumlanmayan dikdörtgen kesite sahiptirler ve bundan dolayı kök kanalının içinde yılankavi bir hareket yapmaktadırlar.<sup>7,8</sup> BT-RaCe (FKG, La Chaux-de-Fonds, İsviçre), östenit fazdaki geleneksel NiTi alaşımından üretilmiş bir döner alet sistemidir. Alet, "Booster Tip" adı verilen ve 6 adet kesici kenarı olan bir uç dizayna sahiptir ve üretici firma tarafından bu ucun aletin daha güvenle çalışmasını sağladığı öne sürülmektedir.<sup>8-10</sup> K3XF (SybronEndo, West Collins, Kaliforniya, ABD) döner alet sisteminde aletler üretim sonrası R-fazı ısıtılma tabi tutulurlar. Bu işlem sonrası alaşımın farklı bir kristal yapısına bürünmesi sonucu, daha esnek ve kırılmaya daha dirençli bir NiTi alaşımının ortaya çıktığı iddia edilmektedir.<sup>11</sup> HyFlex CM (Coltene-Whaledent, Altstätten, İsviçre) "controlled memory" (CM) olarak adlandırılan ısıtılma uğramış alaşımdan üretilmiş bir döner alet sistemidir. Bununla beraber CM NiTi telinin ağırlık olarak geleneksel NiTi alaşımlarından daha düşük oranda nikel (%52.1) içermektedir. HyFlex CM döner aletlerinin uygulanan ısıtılma işlemi sayesinde, geleneksel NiTi esaslı döner aletlerdeki şekil hafızası özelliğine sahip olmadıkları ve üst düzeyde esneklik özellikleri gösterdikleri bildirilmiştir.<sup>12-14</sup> Literatürde NiTi sistemlerin şekillendirme etkinliklerini kıyaslayan birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak ileri derecede eğimli ya da çift eğime sahip kanalların şekillendirme etkinliklerini kıyaslayan yeterince çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı farklı teknolojiler kullanılarak üretilmiş 4 farklı NiTi esaslı döner alet sisteminin (PTN, BT-RaCe, K3XF, HyFlex CM) zorlu ve eğimli kanallardaki şekillendirme etkinliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesidir. Sıfır hipotez karşılaştırılan NiTi döner alet sistemlerinin şekillendirme etkinlikleri arasında farklılık olmaması olarak kabul edilmiştir.

## GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı Kliniği'nde gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya başlamadan önce İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'na başvurulmuştur. Başvuru sonucunda, 08.04.2015 tarih ve 21 sayılı numarası ile onay alınmıştır.

Farklı teknolojiler kullanılarak üretilmiş NiTi döner alet sistemlerinin zorlu kanallardaki şekillendirme etkinliklerinin daha detaylı olarak kıyaslanabilmesi amacıyla çalışmamız hem S-şekilli kanala sahip reçine bloklar hem de

ileri derecede eğimli kök kanallarına sahip çekilmiş dişler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

## 1.Örneklerin Seçimi

### Reçine blok bölümü

Yapılan güç analizi değerlendirmesine göre Tip I hata değeri=0,05, %80 güç değeri ile en düşük n=16 olarak saptanmıştır (G\*Power; Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Almanya).<sup>15</sup> Bu saptamalar doğrultusunda, çalışmamızda n=20 olacak şekilde toplam 80 adet S-şekilli kanala sahip reçine blok (Endo Training-Bloc-S, 0.02 Taper; Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kullanılmıştır. Tüm kanalların apikal çaplarının ISO #15 ve koniklik açılarının .02 olduğu belirlenmiştir. Yapay kanalların tam uzunluğu 12 mm'dir ve 4,5 mm uzunluğunda ek bir konik girişleri vardır Standart reçine bloklar rastgele 4 gruba ayrılmış, numaralandırılmıştır. Şekillendirme boyunca kanalın operatör tarafından görülmesini engellemek amacıyla reçine bloklar koyu renkli bir bant ile kaplanmıştır.

### Çekilmiş diş bölümü

Çalışmamızın ikinci bölümünde, çekim endikasyonu konmuş ve çekim nedenleri bilinmeyen insan alt birinci ve ikinci büyük azı dişleri kullanılmıştır. Yapılan güç analizi değerlendirmesine göre Tip I hata değeri=0,05, %80 güç değeri ile en düşük n=18 olarak saptanmıştır (G\*Power).<sup>16</sup> Bu saptamalar doğrultusunda, çalışmamızda n=20 olacak şekilde toplam 80 adet örnek kullanılmıştır. Kök kanalı ISO #15'den geniş, önceden kök kanalı tedavisi görmüş, rezorptif defektli, kırık, çatlak, pulpa odası ve kök kanallarında kalsifikasyon olan dişler çalışmaya dâhil edilmemiştir. Giriş kaviteleri su soğutması altında yüksek hızla çalışan elmas frezler yardımıyla açılmıştır. Dişlerin kuronları çalışma uzunluğunun tespitinde kolaylık sağlaması açısından düzleştirilmiştir. #10 K tipi bir eğe kök kanalına yerleştirilerek apikal foramenden çıkıncaya kadar ilerletilmiş, çalışma uzunluğu, bu boydan 1 mm kısa olacak şekilde belirlenmiştir. #15 K tipi bir eğenin kök kanalına yerleştirilmesinden sonra özel olarak tasarlanmış bir düzenek yardımıyla dişlerin paralel teknikte standart alınan radyografileri üzerinde kök kanalının eğim açısı Schneider'e17 göre ve eğim yarıçapı Schäfer ve ark.'na18 göre tespit edilmiştir. Çalışmaya kanal eğimi açısı 25°- 40° ve eğim yarıçapı 4 mm-9 mm olan kanallar dâhil edilmiştir.

## 2.Örneklerin Şekillendirilmesi

Öncelikle örneklerin tamamında, #15/02 K tipi bir el eğesiyle rehber yol oluşturulmuştur. S-şekilli kanala sahip reçine blok örnekleri rastgele; çekilmiş diş örnekleri kanal eğim açısı ve yarıçapı, kök kanalı girişi-apikal sonlanma arasındaki mesafeye göre aralarında istatistiksel olarak fark bulunmayan gruplara (n=20) ayrılmıştır. Böylece aletlerin kıyaslanması sırasında çekilmiş dişlerin farklılık-

larından doğabilecek hata payı en aza indirilmiştir. Her bölümde gruplara ayrılan örneklerdeki kanallar 4 farklı NiTi döner alet sistemi [ProTaper NEXT (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), BT-RaCe (FKG, La Chaux-de-Fonds, Switzerland, K3XF (SybronEndo, Orange, CA), HyFlex CM (Coltene/Whaledent, Allstatten, Switzerland)] kullanılarak şekillendirilmiştir. Sistemlerdeki aletler üretici firmalarının önerdiği hız ve tork değerlerinde, X-smart™ Plus (Dentsply, Maillefer, Tulsa, OK) endodontik motora takılarak kullanılmıştır. Her aletin kullanım sonrası yivleri temizlenmiştir. Her aletin kullanımından sonra 30 G yandan delikli bir yıkama iğnesi kullanılarak, reçine bloklarda 2 mm distile su; çekilmiş dişlerde 2 ml %2,5 sodyum hipoklorit ile kanallar yıkanmıştır. Her alet kullanımından sonra #15 K-tipi bir eğe ile kanalın apikal sonlanmaya kadar olan açıklığı kontrol edilmiştir. Her bir kanal aleti seti, 4 adet kanalda kullanılmıştır. Her alet kullanımından sonra incelenmiş, deformasyona uğrayan aletler çalışmadan çıkarılmıştır. Meydana gelen alet deformasyonu ve kırıkları kayıt altına alınmıştır. Her bölüm için gruplardaki şekillendirmeler aşağıdaki gibi tamamlanmıştır;

### Grup 1: ProTaper NEXT

Hem reçine bloklarda hem de çekilmiş dişlerde aşağıdaki protokol uygulanmıştır;

- ProTaper Universal SX (#19/04) kanalın kuronal 2-3 mm'sinde kullanılmıştır.
- ProTaper NEXT X1 (#17/04) çalışma uzunluğunda kullanılmıştır.
- ProTaper NEXT X2 (#25/06) çalışma uzunluğunda kullanılmıştır.

### Grup 2: BT-RaCe

Hem reçine bloklarda hem de çekilmiş dişlerde aşağıdaki protokol uygulanmıştır;

- BT1 (#10/06) - çalışma uzunluğunda kullanılmıştır.
- BT2 (#35/00) - çalışma uzunluğunda kullanılmıştır.
- BT3 (#35/04) - çalışma uzunluğunda kullanılmıştır.

### Grup 3: K3XF

Çekilmiş dişlerde aşağıdaki protokol uygulanmıştır;

- Sırasıyla; #25/08, #40/04, #35/04, #30/04 aletler dirençle karşılaşıncaya kadar sonrasında #25/04, #30/04 ve #35/04 aletler çalışma uzunluğunda kullanılmıştır. Reçine bloklarda aşağıdaki protokol uygulanmıştır;
- Sırasıyla; #25/08 kanalın kuronal 2 mm'sinde, #40/04 kanalın kuronal 3 mm'sinde, #35/04 kanalın kuronal 6 mm'sinde, #30/04 kanalın kuronal 8 mm'sinde kullanılmıştır. Sonrasında yine sırasıyla #25/04, #30/04 ve #35/04 çalışma uzunluğunda kullanılmışlardır.

### Grup 4: HyFlex CM

Hem reçine bloklarda hem de çekilmiş dişlerde aşağıdaki

protokol uygulanmıştır;

- Sırasıyla; #25/08 aletler dirençle karşılaşınca kadar (reçine bloklarda farklı olarak kanalın kural 2 mm'sinde), #20/04, #25/04, #20/06 #30/04 ve #35/04 aletler çalışma uzunluğunda kullanılmıştır.

### 3. Örneklerin değerlendirilmesi

#### Reçine blok bölümü

Şekillendirme öncesi ve sonrasında, standart bir teknikle görüntü alınmasını sağlayan bir düzenek yardımıyla, reçine blokların dijital fotoğrafları alınmıştır. Fotoğraflarda kanal sınırlarının daha kolay belirlenebilmesi için kanal içine 30 G yandan delikli bir iğne ile şekillendirme öncesi siyah, şekillendirme sonrası kırmızı mürekkep zerk edilmiştir. Şekillendirme öncesi alınan dijital fotoğrafların üzerine Ersev ve ark.'nın 19 çalışmasında gösterilen çizim örnek alınarak bilgisayar yazılım programı (Adobe Photoshop Elements 7.0; Adobe Systems Incorporated, San Jose, Kaliforniya, ABD) kullanılarak ölçüm noktalarının işaretlenmiş olduğu cetvel oluşturulmuştur. Üzerinde cetvel oluşturulmuş şekillendirme öncesi ve şekillendirme sonrasına ait görüntüler, aynı bilgisayar yazılım programı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Kanal duvarlarından şekillendirmeye bağlı olarak uzaklaştırılan reçinenin genişliği, ImageJ 1.38x (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, ABD) bilgisayar programıyla 12 noktada 0,01 mm doğruluk seviyesinde ölçülmüştür (Foto 1a).

#### Çekilmiş diş bölümü

Şekillendirme öncesi ve sonrasında örneklerden özel olarak tasarlanmış düzenek ile standart dijital radyografler alınmıştır. Şekillendirme öncesi radyografler #15 K tipi bir eğe ile, şekillendirme sonrası radyografler şekillendirmede son kullanılan alet ile alınmıştır. Alınan dijital radyografler üzerindeki ölçümler ImageJ 1.38x yazılım programı kullanılarak yapılmıştır. Şekillendirme öncesi ve sonrası eğim açıları arasındaki farkın saptanması ile kök kanalının düzleşme miktarı tespit edilmiştir. Şekillendirme öncesi radyograflerde aletlerin merkezi aksları siyah, şekillendirme sonrası ise kırmızı renk yardımıyla bilgisayar yazılım programı (Adobe Photoshop Elements 7.0) kullanılarak işaretlenmiştir. Şekillendirme öncesi işaretlenen merkezi aks üzerinde çalışma uzunluğunda, çalışma uzunluğundan 0.5 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm ve 5 mm kısa, eğimin tepe noktası ve kanal ağzı olmak üzere toplam 9 ölçüm noktası belirlenmiş ve işaretlenmiştir. Daha sonra işlem öncesi ve sonrasına ait radyografler karşılaştırılmıştır. Şekillendirme öncesi ve sonrası merkezi akslar arasında oluşan en kısa mesafe belirlenen ölçüm noktaları seviyesinde ölçülmüştür (Foto 1b).

#### İstatistiksel Değerlendirme

Bu çalışmada istatistiksel analizler Number Cruncher Sta-

tistical System 2007 (Utah, USA) paket programı ile yapılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistiksel metotların (ortalama, standart sapma) yanı sıra normal dağılım gösteren değişkenlerin reçine bloklarda gruplar arası karşılaştırmalarında tek yönlü varyans analizi ve post-hoc Tukey çoklu karşılaştırma testi, ölçüm noktalarından elde edilen değerlerin karşılaştırmalarında eşlendirilmiş tek yönlü varyans analizi ve post-hoc Newman Keuls çoklu karşılaştırma testi, çekilmiş dişlerde şekillendirme öncesi ve sonrasındaki değerlerin ve şekillendirme sürelerinin gruplar arası karşılaştırmalarında tek yönlü varyans analizi ve post-hoc Tukey çoklu karşılaştırma testi, şekillendirme öncesi ve sonrasındaki değerlerin grup içi karşılaştırmalarında eşlendirilmiş t testi, normal dağılım göstermeyen değişkenlerin şekillendirme öncesi ve sonrası merkezi aksların arasındaki mesafenin ve ölçüm değerleri arasındaki farkların gruplar arası karşılaştırmalarında Kruskal Wallis testi ve post-hoc Dunn's çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Sonuçlar, anlamlılık  $P < 0,05$  düzeyinde değerlendirilmiştir.

#### BULGULAR

S-şekilli kanala sahip reçine bloklarda kanal boyunca meydana gelen transportasyon miktarları (Tablo 1) incelendiğinde, kural eğiminde (5.-9. ölçüm noktaları arası) K3XF en az transportasyon oluşturan döner alet sistemi olmuştur ( $p < 0,05$ ). K3XF sistemini sırasıyla HyFlex CM ve ProTaper NEXT sistemleri izlemiştir. Ancak bu iki sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır. 1. ölçüm noktasına denk gelen apikal sonlanma noktasında döner alet sistemleri arasında meydana gelen transportasyon miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ( $p = 0,186$ ). Apikal eğimin tepe noktasına denk gelen 3. ölçüm noktasında K3XF döner alet sistemi en az transportasyona yol açan sistem olmuştur. Bu sistemi sırasıyla HyFlex CM ve ProTaper NEXT sistemleri izlemiştir. Kural eğiminin tepe noktasına denk gelen 7. ölçüm noktasında istatistiksel olarak anlamlı şekilde en az transportasyona K3XF sistemi yol açmıştır ( $p < 0,05$ ). Bu sistemi sırasıyla ProTaper NEXT ve HyFlex CM ve sistemleri izlemiştir. BT-RaCe sistemi her iki eğimde de en fazla transportasyon oluşturan sistem olmuştur ( $p < 0,05$ ). S-şekilli kanala sahip reçine bloklarda merkezde kalma oranları (Tablo 2) incelendiğinde; 1. ölçüm noktasına denk gelen apikal sonlanma noktasında döner alet sistemleri arasında merkezde kalma açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ( $p = 0,254$ ). Apikal eğimin tepe noktasına denk gelen 3. ölçüm noktasında sırasıyla K3XF ve HyFlex CM sistemleri diğer sistemlerden istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha fazla merkezde kalan bir şekillendirme gerçekleştirmişlerdir ( $p < 0,05$ ). Kural eğiminin tepe noktasına denk gelen 7. ölçüm noktasında istatistiksel olarak anlamlı şekilde en fazla merkezde kalan

sistem K3XF olmuştur ( $P<0,05$ ).

**Tablo 1:** Kanal boyunca 12 adet ölçüm noktasında meydana gelen transportasyon miktarı (mm)

Ölçüm noktaları	ProTaper NEXT	BT-RaCe	K3XF	HyFlex CM	P (Tek yönlü varyans analizi)
1 (0 mm)	0,101±0,049	0,125±0,076	0,133±0,061	0,144±0,067	0,186
2 (1 mm)	0,032±0,023 <sup>a</sup>	0,232±0,064 <sup>b</sup>	0,084±0,04 <sup>c</sup>	0,055±0,043 <sup>ac</sup>	<b>0,0001</b>
3 (1,5 mm)	0,069±0,04 <sup>a</sup>	0,295±0,064 <sup>b</sup>	0,031±0,026 <sup>c</sup>	0,054±0,04 <sup>ac</sup>	<b>0,0001</b>
4 (2 mm)	0,118±0,034 <sup>a</sup>	0,293±0,071 <sup>b</sup>	0,082±0,043 <sup>a</sup>	0,122±0,047 <sup>a</sup>	<b>0,0001</b>
5 (3 mm)	0,115±0,045	0,134±0,06	0,117±0,038	0,14±0,032	0,208
6 (4 mm)	0,058±0,038 <sup>a</sup>	0,124±0,067 <sup>b</sup>	0,074±0,052 <sup>a</sup>	0,038±0,025 <sup>a</sup>	<b>0,0001</b>
7 (5 mm)	0,19±0,032 <sup>a</sup>	0,245±0,054 <sup>b</sup>	0,058±0,052 <sup>a</sup>	0,158±0,04 <sup>a</sup>	<b>0,0001</b>
8 (6mm)	0,198±0,064 <sup>a</sup>	0,25±0,067 <sup>b</sup>	0,112±0,056 <sup>c</sup>	0,174±0,057 <sup>a</sup>	<b>0,0001</b>
9 (7 mm)	0,080±0,081 <sup>a</sup>	0,145±0,083 <sup>b</sup>	0,052±0,052 <sup>a</sup>	0,072±0,048 <sup>a</sup>	<b>0,0001</b>
10 (8 mm)	0,059±0,037	0,056±0,029	0,047±0,032	0,049±0,052	0,721
11 (9 mm)	0,084±0,053	0,076±0,045	0,05±0,042	0,062±0,059	0,138
12 (10 mm)	0,104±0,061 <sup>ab</sup>	0,113±0,049 <sup>b</sup>	0,052±0,04 <sup>c</sup>	0,067±0,054 <sup>ac</sup>	<b>0,001</b>

Satırlardaki üst simgelerdeki farklı harfler istatistiksel farkı belirtmektedir ( $p<0,05$ ) (Tukey çoklu karşılaştırma testi).

**Tablo 2:** NiTi döner alet sistemlerinin merkezde kalma oranı tablosu ("1" değerine yaklaşıldıkça merkezde kalma oranı artmaktadır)

Ölçüm noktaları	ProTaper Next	BT-RaCe	K3XF	HyFlex CM	P (Tek yönlü varyans analizi)
1 (0 mm)	0,230±0,241	0,117±0,139	0,205±0,184	0,159±0,188	0,254
2 (1 mm)	0,695±0,191 <sup>a</sup>	0,185±0,089 <sup>b</sup>	0,532±0,172 <sup>c</sup>	0,649±0,252 <sup>ac</sup>	<b>0,0001</b>
3 (1,5 mm)	0,506±0,246 <sup>a</sup>	0,121±0,057 <sup>b</sup>	0,796±0,144 <sup>c</sup>	0,667±0,202 <sup>c</sup>	<b>0,0001</b>
4 (2 mm)	0,303±0,149 <sup>a</sup>	0,139±0,075 <sup>b</sup>	0,555±0,198 <sup>c</sup>	0,396±0,158 <sup>a</sup>	<b>0,0001</b>
5 (3 mm)	0,387±0,196	0,451±0,179	0,410±0,119	0,327±0,095	0,083
6 (4 mm)	0,689±0,171 <sup>ac</sup>	0,493±0,192 <sup>b</sup>	0,631±0,205 <sup>a</sup>	0,783±0,129 <sup>c</sup>	<b>0,0001</b>
7 (5 mm)	0,322±0,071 <sup>ac</sup>	0,273±0,086 <sup>a</sup>	0,733±0,223 <sup>b</sup>	0,403±0,106 <sup>c</sup>	<b>0,0001</b>
8 (6mm)	0,375±0,134 <sup>a</sup>	0,291±0,116 <sup>a</sup>	0,537±0,170 <sup>b</sup>	0,399±0,138 <sup>a</sup>	<b>0,0001</b>
9 (7 mm)	0,741±0,222 <sup>ab</sup>	0,538±0,222 <sup>a</sup>	0,780±0,181 <sup>b</sup>	0,712±0,172 <sup>ab</sup>	<b>0,001</b>
10 (8 mm)	0,798±0,120	0,780±0,105	0,798±0,125	0,815±0,177	0,881
11 (9 mm)	0,730±0,150	0,716±0,150	0,791±0,159	0,778±0,194	0,398
12 (10 mm)	0,659±0,16 <sup>ab</sup>	0,596±0,158 <sup>b</sup>	0,762±0,160 <sup>a</sup>	0,731±0,196 <sup>a</sup>	<b>0,012</b>

Satırlardaki üst simgelerdeki farklı harfler istatistiksel farkı belirtmektedir ( $p<0,05$ ) (Tukey çoklu karşılaştırma testi).

Çekilmiş dişlerde, işlem öncesi ve sonrası eğim açıları karşılaştırıldığında tüm sistemlerin istatistiksel olarak anlamlı şekilde eğim açısını değiştirdiği saptanmıştır (Tablo 3). Bununla beraber eğim açısında en az düzleşme meydana getiren sistem K3XF sistemi olmuştur. Bu sistemi sırasıyla ProTaper NEXT, Hyflex CM ve BT-Race sistemleri takip etmiştir. Çekilmiş dişlerde, kök kanal eğiminin tepe noktasında en az transportasyonu K3XF ve HyFlex CM sistemleri oluşturmuştur ( $p<0,05$ ) (Tablo 4).

**Tablo 3:** Şekillendirme öncesi ve sonrası eğim açıları ve meydana gelen değişim ortalamaları (°)

	ProTaper NEXT	BT-RaCe	K3XF	HyFlex CM	P (Tek yönlü varyans analizi)
Şekillendirme öncesi eğim açısı ortalaması	33,56±6,47	33,22±5,41	32,22±4,14	32,44±5,22	0,842
Şekillendirme sonrası eğim açısı ortalaması	30,81±6,47	27,41±5,18	30,54±4,72	28,37±5,05	0,142
P (Eşlendirilmiş t testi)	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	
Eğim açısı değişim ortalaması	-2,74±2,64 <sup>ac</sup>	-5,81±3,88 <sup>b</sup>	-1,72±1,78 <sup>c</sup>	-4,07±3,63 <sup>ab</sup>	<b>P=0,001</b> (Kruskal Wallis testi)

Satırlardaki üst simgelerdeki farklı harfler istatistiksel farkı belirtmektedir ( $p<0,05$ ) (Dunn's çoklu karşılaştırma testi).

**Tablo 4:** Şekillendirme öncesi ve sonrası merkezi akslar arasında meydana gelen mesafe (mm)

Ölçüm noktaları	ProTaper NEXT	BT-RaCe	K3XF	HyFlex CM	P (Kruskal Wallis testi)
1 (Çalışma uzunluğu (ÇU))	-0,021±0,243	0,176±0,215	0,03±0,279	0,038±0,232	0,103
2 (ÇU-0,5 mm)	-0,029±0,079	0,012±0,083	-0,02±0,086	-0,009±0,086	0,600
3 (ÇU-1 mm)	-0,028±0,076	-0,029±0,058	-0,022±0,074	-0,005±0,059	0,582
4 (ÇU-2 mm)	-0,026±0,105	-0,043±0,067	-0,014±0,075	-0,029±0,122	0,552
5 (ÇU-3 mm)	-0,015±0,116	-0,021±0,074	0,005±0,065	0±0,063	0,819
6 (ÇU-4 mm)	-0,01±0,079	-0,003±0,072	0,024±0,057	0,009±0,06	0,431
7 (ÇU-5 mm)	-0,006±0,074	-0,005±0,082	0,04±0,076	0,005±0,053	0,416
Eğimin tepe noktası	-0,126±0,112 <sup>a</sup>	-0,088±0,126 <sup>a</sup>	0,03±0,105 <sup>b</sup>	-0,021±0,087 <sup>b</sup>	<b>0,0001</b>
Kanal Ağzı noktası	0,254±0,264 <sup>a</sup>	0,294±0,243 <sup>a</sup>	0,083±0,171 <sup>b</sup>	0,246±0,233 <sup>a</sup>	<b>0,018</b>

Satırlardaki üst simgelerdeki farklı harfler istatistiksel farkı belirtmektedir ( $p<0,05$ ) (Dunn's çoklu karşılaştırma testi).

## TARTIŞMA

Çalışmamız güncel teknolojiler kullanılarak üretilmiş döner alet sistemlerinin şekillendirme etkinliklerinin kıyaslanması amaçlanmıştır. Sıfır hipotez kabul görmemiştir. Farklı teknolojiler kullanılarak üretilmiş NiTi döner alet sistemlerinin şekillendirme etkinliklerini incelediğimiz çalışmamızın ilk bölümünde S-şekilli kanala sahip reçine bloklar kullanılmıştır. Şekillendirme etkinliğinin incelendiği pek çok çalışmada kanalın boyutlarının ve şeklinin, koniklik açısının ve eğiminin 3 boyutlu olarak standardize edilebilmesi nedeniyle reçine bloklar tercih edilmiştir.<sup>19-22</sup> Dentinin sertliği diştten dişe farklılık gösterirken, reçine bloklardaki doku sertliği standarttır.<sup>4,23</sup> Reçine bloklar aynı zamanda şeffaf olmaları nedeniyle şekillendirme sonrasında kanalda meydana gelen değişimlerin direkt olarak gözlemlenmesine olanak sağlamaktadırlar.<sup>24</sup> Ancak reçine ve dentinin doku ve sertlik derecelerinin farklı olması nedeniyle reçine blok kullanımının klinik koşulları tam olarak yansıtmadığı bildirilmiştir.<sup>24,25</sup> Reçine bloklarda döner aletlerin kullanımını sırasında reçineyi eritebilecek kadar ısı açığa çıkabildiği, reçine talaşlarının dentinden farklı özellikte olması sebebiyle kanal blokajları ve buna bağlı olarak alet kırıklarının daha sık gözlemlenebileceği rapor edilmiştir.<sup>4,26,27</sup> Klinik koşulların daha iyi taklit edilebilmesi amacıyla çalışmamızın ikinci kısmında çekilmiş insan dişleri kullanılmıştır. Doğal dişlerin morfolojik çeşitliliğini en aza indirmek amacıyla çalışmamızda sadece alt birinci ve ikinci büyük azı dişlerinin mezial kökleri kullanılmıştır. Her bir döner alet sistemi üretici firmanın zorlu ve eğimli kanallar için bildirdiği tavsiyeler doğrultusunda kullanılmıştır. Üretici firmaların birçoğu döner aletlerin tek bir vakada kullanılmasını önermektedirler. Bir büyük azı dişinin genellikle 4 kanala sahip olduğu düşünülerek ve literatürle uyumlu olarak, her 4 örnekte bir yeni alet seti kullanılmıştır.<sup>28,29</sup> S-şekilli kanala sahip reçine bloklarda sodyum hipoklorit solüsyonun reçine üzerinde olumsuz

etki yaratabileceği düşünüldüğünden, bu örneklerde yıkama solüsyonu olarak distile su kullanılmıştır.<sup>30</sup>

S-şekilli kanal sahip reçine bloklarda şekillendirme etkinliğinin değerlendirilmesi için kullanılan transportasyon miktarı ve merkezde kalma oranı sonuçlarının karşılaştırılmasında apikal sonlanma noktası (1. nokta), apikal eğimin tepe noktası (3. nokta) ve kuronal eğimin tepe noktası (7. nokta) en önemli ölçüm noktalarıdır. Bu parametreler açısından araştırmamızda genel olarak K3XF sistemi en başarılı sonuçları vermiştir. K3XF sistemi, 1. noktada ProTaper NEXT sisteminin ardından en başarılı ikinci sistem olurken, 3. ve 5. noktalarda da en başarılı sistem olarak bulunmuştur. Çalışmamızın çekilmiş dişler üzerinde gerçekleştirilen bölümünde elde edilen sonuçlara göre tüm sistemlerin kök kanalı eğimini belirli oranlarda düzleştirdikleri belirlenmiştir. BT-RaCe sistemi eğim açısını en fazla değiştiren sistem olarak bulunmuştur. Eğim açısını en az değiştiren sistem ise K3XF olmuştur. K3XF sistemini sırasıyla ProTaper NEXT ve HyFlex CM sistemleri takip etmiştir. BT-RaCe sisteminin, ProTaper NEXT ve K3XF sistemlerine göre kanal eğimlerini anlamlı düzeyde daha fazla düzleştirdiği tespit edilmiştir. Wei ve ark.<sup>31</sup> da çalışmamızla benzer şekilde K3XF sisteminin merkezde kalma oranlarının daha başarılı olduğunu gösterilmiştir. K3XF sisteminin başarılı sonuçlar vermesinin, aletin radyal alana sahip geometrik dizaynı sayesinde olduğu düşünülmektedir. McSpadeen<sup>32</sup> radyal alan varlığının aletlerin vidalanma eğilimini ve kanal transportasyonunu azaltarak daha merkezde konumlanan şekillendirme işlemlerinin yapılmasına olanak sağladığını bildirmiştir. Ayrıca K3XF sistemi çalışmamızda crown-down tekniğinin kullanıldığı tek sistemdir. Şekillendirme sırasında başlangıçta kuronal bölgede daha büyük eğlerin kullanılmış ve sonrasında apikal bölgeye kademeli olarak daha küçük çaplı aletler ulaşmıştır. Bu nedenle kanal duvarlarında şekillendirmeye bağlı oluşan streslerin azaltılmasının da şekillendirme etkinliğinin artmasında etkili olabileceği bildirilmiştir.<sup>2,33</sup> Bununla beraber merkezde kalma ve kanal transportasyon değerlerinin aletlerin üretiliği NiTi alaşımının özelliklerinden de etkilenebileceği iddia edilmektedir.<sup>34,35</sup> R-fazı (K3XF) ısıtılmış M-Wire ve geleneksel NiTi alaşımına göre daha esnek oldukları gösterilmiştir.<sup>6</sup> Bununla beraber M-wire alaşımının da geleneksel NiTi alaşımından daha esnek olduğu saptanmıştır.<sup>6</sup> Daha esnek alaşımlardan üretilen aletlerin kullanılması eğimli kanalların şekillendirmesi esnasında kanal transportasyonu oluşumunu azaltmaktadır.

HyFlex CM sistemi, çalışmamızın reçine blok bölümünde apikal ve kuronal eğimlerin tepe noktalarından elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde en başarılı ikinci sistem olmuştur. Bürklein ve ark.<sup>36</sup> da çalışmamızla uyumlu şekilde HyFlex CM sistemi ile kök

kanallarının güvenle şekillendirilebileceğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda HyFlex CM sistemi K3XF sistemiyle kıyaslandığında daha fazla transportasyon meydana getiren ve daha az merkezde kalan bir şekillendirme oluşturmuştur. Apikal eğimin tepe noktasında iki sistem arasında saptanan farklar istatistiksel açıdan anlamlı değilken, kuronal eğimin tepe noktasındaki farkların anlamlı olduğu bulunmuştur. Aradaki farkların, kuronal ön şekillendirmenin ardından HyFlex CM sistemindeki aletlerin çalışma uzunluğunda, "single-length" yaklaşımı ile kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı yaklaşımla kullanılan ProTaper NEXT sisteminden daha iyi sonuçlar vermesinin ise HyFlex CM sisteminde kullanılan alet sayısının göreceli fazla olması ve üretildiği CM NiTi telinin özelliklerine bağlı olduğu düşünülmektedir. CM NiTi telinin esnekliğinin M-wire alaşımı ve geleneksel NiTi alaşımına göre daha fazla olduğu saptanmıştır.<sup>6,12</sup> Bunun yanında HyFlex CM sisteminde kullanılan aletlerin koniklik açıları ProTaper NEXT sistemdekilerden daha küçüktür. Koniklik açıları küçüldükçe aletlerin daha az transportasyona neden olduğu bildirilmiştir.<sup>36</sup> Transportasyon miktarı ve merkezde kalma oranı açısından 1. ve 2. ölçüm noktalarında (0 mm ve 1 mm) ProTaper NEXT sistemi en iyi sonuçları sergilemiştir. ProTaper NEXT sisteminin 1. ve 2. ölçüm noktalarındaki başarısının bu bölgede kullanılan son aletin çalışan kısmının incelenen sistemler arasında en küçük boyuta sahip olmasına bağlı olarak daha esnek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.<sup>37</sup> Çalışmamızın S-şekilli kanala sahip reçine bloklarda gerçekleştirilen bölümünde transportasyon miktarı ve merkezde kalma oranı açısından apikal ve kuronal eğimlerin tepe noktalarında en olumsuz sonuçları BT-RaCe sistemi vermiştir. BT-RaCe sisteminin hem apikal hem de kuronal eğimlerin iç tarafından diğer sistemlere göre daha fazla, eğimlerin dış taraflarından da diğer sistemlere göre daha az madde kaldırdığı saptanmıştır. Bu bulgulara dayanarak bu sistemin kök kanalı eğimlerini belirgin ölçüde düzleştirdiği sonucuna varılmıştır. Bununla beraber çalışmamızın çekilmiş diş bölümünde şekillendirme öncesi ve sonrasında merkezi akslar arasındaki mesafe, çalışma uzunluğunda ve çalışma uzunluğundan 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm ve 5 mm kısa olacak şekilde ölçülmüştür. Ölçüm yapılan bu 7 noktada sistemler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Ancak çalışma uzunluğunda yani apikal sonlanma noktasında yapılan incelemede, merkezi aksın BT-RaCe grubunda diğer gruplara göre eğimin dış yüzeyine doğru daha fazla kaydığı tespit edilmiştir. BT-RaCe gibi üçgen kesite sahip aletlerin kesme etkinliğinin fazla olmasına bağlı olarak daha agresif şekillendirme yaptıkları ve korçaplarının büyük olmasına bağlı olarak esnekliklerinin daha az olduğu bildirilmiştir.<sup>38</sup> BT-RaCe sisteminin ikinci aleti olan BT2 de özel bir tasarıma sahiptir. #35 uç çapı-

na sahip koniklik açısı olmayan bu alet sadece apikal bölgenin şekillendirilmesi için dizayn edilmiştir. . Kural bölgede çalışması için tasarlanan ve uç çap ve koniklik açısı #10/06 olan BT1 aleti ile gerçekleştirilen şekillendirme sonrası oluşan kanal formunun iç çapı göz önüne alındığında, uç çapı oldukça büyük olan BT2 aletinin özellikle apikaldeki son 3 mm'lik kısımda şekillendirme sırasında kanal duvarlarına çok fazla temas ettiği varsayılabilir. Lopes ve ark.<sup>39</sup> eğilme direncinin ("buckling resistance") düşük olmasının aletlerin elastik ve plastik deformasyona uğrayarak apikal yöndeki ilerlemelerini olumsuz yönde etkileyebileceğini bildirmişlerdir. Bürklein ve ark.<sup>8</sup> da BT-RaCe sisteminde kullanılan sabit yiv aralıklarına sahip ve silindirik formdaki BT2 aletinin farklı tasarımı nedeniyle eğilme direncinin aynı uç çapta fakat koniklik açısına sahip aletlerden daha düşük olabileceğini ve kanal içinde ilerlerken deformasyona uğrayıp apikal bölgede şekillendirme hatalarına sebep olabileceğini, hatta kırılabilceğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda elde edilen verilere göre BT-RaCe sisteminin en fazla transportasyon oluşturan sistem olmasının BT2 aletinin kanalda çalışma esnasındaki elastik lateral deformasyonundan ve/veya BT2 aletinin apikal 3 mm'de duvarlardan olması gerekenden fazla madde kaldırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

## SONUÇLAR

İleri derecede eğimli ve birden fazla eğime sahip kök kanalların şekillendirilmesinde K3XF en uygun sistem gibi görünmektedir. HyFlex CM sisteminin de güvenle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Esnekliği artırılmış alaşımlardan üretilen aletlerin zorlu vakaların şekillendirilmesinde daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

## KURUMSAL VE FİNANSAL DESTEK BEYANI

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 53178

## KAYNAKLAR

1. Schilder H. Cleaning and Shaping the Root Canal. *Dent Clin North Am* 1974; 18: 269-296.
2. Peters OA. Current Challenges and Concepts in the Preparation of Root Canal Systems: a Review. *J Endod* 2004; 30: 559-567.
3. Schäfer E, Bürklein S. Impact of Nickel-Titanium Instrumentation of the Root Canal on Clinical Outcomes: a Focused Review. *Odontology* 2012; 100: 130-136.
4. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical Preparation of Root Canals: Shaping Goals, Techniques and Means. *Endod Topics* 2005; 10: 30-76.
5. Haapasalo M, Shen Y. Evolution of Nickel-Titanium Instruments: From Past to Future. *Endod Topics* 2013; 29: 3-17.
6. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New Thermo-

mechanically Treated NiTi Alloy – a Review. *Int Endod J* 2018; 51: 1088-1103.

7. Ruddle CJ, Machtou P, West JD. The Shaping Movement: Fifth Generation Technology. *Dent Today* 2013; 32: 94-99.
8. Bürklein S, Mathey D, Schäfer E. Shaping Ability of Pro-Taper NEXT and BT-RaCe Nickel-Titanium Instruments in Severely Curved Root Canals. *Int Endod J* 2015; 48: 774-781.
9. Lopes HP, Elias CN, Vieira VT, Moreira EJ, Marques RV, et. al. Effects of Electropolishing Surface Treatment on the Cyclic Fatigue Resistance of BioRace Nickel-Titanium Rotary Instruments. *J Endod* 2010; 36: 1653-1657.
10. Debelian G, Trope M. BT-Race: Biological and Conservative Root Canal Instrumentation with the Final Restoration in Mind. *Roots* 2014; 10: 20-23.
11. Shen Y, Riyahi AM, Campbell L, Zhou H, Du T, et. al. Effect of a Combination of Torsional and Cyclic Fatigue Preloading on the Fracture Behavior of K3 and K3XF Instruments. *J Endod* 2015; 41: 526-530.
12. Zinelis S, Eliades T, Eliades GA. 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.
13. Gutmann JL, Gao Y. Alteration in the Inherent Metallic and Surface Properties of Nickel-Titanium Root Canal Instruments to Enhance Performance, Durability and Safety: a Focused Review. *Int Endod J* 2012; 45: 113-128.
14. Peters OA, Gluskin AK, Weiss RA, Han JT. An in vitro Assessment of the Physical Properties of Novel Hyflex Nickel-Titanium Instruments. *Int Endod J* 2012; 45: 1027-1034.
15. Ba-Hattab R, Pröhl AK, Lang H, Pahncke D. Comparison of the Shaping Ability of GT® Series X, Twisted Files and AlphaKite Rotary Nickel-Titanium Systems in Simulated Canals. *BMC Oral Health* 2013; 13: 72.
16. 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.
17. Schneider SW. A Comparison of Canal Preparations in Straight and Curved Root Canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971; 32: 271-275.
18. Schäfer E, Diez C, Hoppe W, Tepe J. Roentgenographic Investigation of Frequency and Degree of Canal Curvatures in Human Permanent Teeth. *J Endod* 2002; 28: 211-216.
19. Ersev H, Yilmaz B, Ciftçioğlu E, Ozkarli SF. A Comparison of the Shaping Effects of 5 Nickel-Titanium Rotary Instruments in Simulated S-shaped Canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010; 109: 86-93.
20. Bürklein S, Schäfer E. The Influence of Various Au-

tomated Devices on the Shaping Ability of Mtwo Rotary Nickel-Titanium Instruments. *Int Endod J* 2006; 39: 945-951.

**21.** Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative Study on the Shaping Ability and Cleaning Efficiency of Rotary Mtwo Instruments. Part 1. Shaping Ability in Simulated Curved Canals. *Int Endod J* 2006; 39: 196-202.

**22.** Bonaccorso A, Cantatore G, Condorelli GG, Schäfer E, Tripi TR. Shaping Ability of Four Nickel-Titanium Rotary Instruments in Simulated S-shaped Canals. *J Endod* 2009; 35: 883-886.

**23.** Hülsmann M, Gambal A, Bahr R. An Improved Technique for the Evaluation of Root Canal Preparation. *J Endod* 1999; 25: 599-602.

**24.** Schäfer E, Tepel J, Hoppe W. Properties of Endodontic Hand Instruments Used in Rotary Motion. Part 2. Instrumentation of Curved Canals. *J Endod* 1995; 21: 493-497.

**25.** Peters OA, Barbakow F, Peters CI. An Analysis of Endodontic Treatment with Three Nickel-Titanium Rotary Root Canal Preparation Techniques. *Int Endod J* 2004; 37: 849-859.

**26.** Jodway B, Hülsmann M. A Comparative Study of Root Canal Preparation with NiTi-TEE and K3 Rotary Ni-Ti Instruments. *Int Endod J* 2006; 39: 71-80.

**27.** González Sánchez JA, Duran-Sindreu F, de Noé S, Mercadé M, Roig M. Centring Ability and Apical Transportation After Overinstrumentation with ProTaper Universal and ProFile Vortex Instruments. *Int Endod J* 2012; 45: 542-551.

**28.** 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.

**29.** Saber SE, Nagy MM, Schäfer E. Comparative Evaluation of the Shaping Ability of WaveOne, Reciproc and OneShape Single-File Systems in Severely Curved Root Canals of Extracted Teeth. *Int Endod J* 2015; 48: 109-114.

**30.** Burroughs JR, Bergeron BE, Roberts MD, Hagan JL, Himmel VT. Shaping Ability of Three Nickel-Titanium Endodontic File Systems in Simulated S-shaped Root Canals. *J Endod* 2012; 38: 1618-1621.

**31.** Wei Z, Cui Z, Yan P, Jiang H. A Comparison of the Shaping Ability of Three Nickel-Titanium Rotary Instruments: a Micro-Computed Tomography Study via a Contrast Radiopaque Technique in vitro. *BMC Oral Health*, 2017; 17: 39.

**32.** McSpadden JT. *Mastering Endodontic Instrumentation*. Chattanooga, TN:Cloudland Institute; 2007

**33.** Luiten DJ, Morgan LA, Baumgartner JC, Marshall JG. A Comparison of Four Instrumentation Techniques on Apical Canal Transportation. *J Endod* 1995; 26: 26-32.

**34.** Peters OA, Paque F. Root Canal Preparation of Maxillary Molars with the Self Adjusting File: a Micro-Computed Tomography Study. *J Endod* 2011; 37: 53-57.

**35.** Olivieri JG, Stober E, Garcia FM, González JA, Bragado P, et. al. In Vitro Comparison in a Manikin Model: Increasing Apical Enlargement with K3 and K3XF Rotary Instruments. *J Endod* 2014; 40: 1463-1467.

**36.** Bürklein S, Poschmann T, Schäfer E. Shaping Ability of Different Nickel-Titanium Systems in Simulated S-Shaped Canals with and without Glide Path. *J Endod* 2014; 40: 1231-1234.

**37.** Gagliardi J, Versiani MA, de Sousa-Neto MD, Plazas-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.

**38.** Schäfer, E. Relationship Between Design Features of Endodontic Instruments and Their Properties Part 1 Cutting Efficiency. *J Endod* 1999; 25: 52-55.

**39.** Lopes HP, Elias CN, Mangelli M, Lopes WS, Amaral G, et. al. Buckling Resistance of Pathfinding Endodontic Instruments. *J Endod* 2012; 38: 402-404.