

Eğri Kök Kanallarında Şekillendirme Sırasında Oluşan Streslerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Değerlendirilmesi

Dilek Erbay Türkaydın¹, Mahir Günday¹, Bülent Ekici²

¹Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD, İstanbul - Türkiye
²Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul - Türkiye

Yazışma Adresi / Address reprint requests to: Dilek Erbay Türkaydın,
Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD, Güzelbahçe Büyükciftlik Sok. No: 6 34365 Nişantaşı, İstanbul - Türkiye
Elektronik posta adresi / E-mail address: erbaydilek@yahoo.com
Kabul tarihi / Date of acceptance: 22 Ocak 2013 / January 22, 2013

ÖZET

Eğri kök kanallarında şekillendirme sırasında oluşan streslerin sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirilmesi

Amaç: Bu çalışmanın amacı eğri kök kanallarında ProTaper Universal ve HeroShaper sistemleri ile şekillendirme yapılırken kanal duvarlarında oluşan streslerin üç boyutlu sonlu elemanlar analizi ile belirlenmesidir.

Yöntem: ProTaper Universal ve HeroShaper Ni-Ti döner alet sistemlerine ait eğelerin geometrileri üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturulmuştur. Eğri kök kanalına sahip dişin üç boyutlu sonlu elemanlar modeli, doğal diş ve yapay kanalın birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Modellerin taranması için mikro-fokus CT kullanılmıştır. Birleştirme ve modifikasyondan sonra düzgün yüzeyli ve kanalı merkezde seyreden üç boyutlu model elde edilmiştir. Şekillendirme benzetimi sırasında kanal duvarlarında oluşan stresler LS-DYNA sonlu elemanlar programı ile ve nikel titanyum materyalinin non-lineer mekanik özellikleri dikkate alınarak kayıt edilmiştir.

Bulgular: ProTaper eğe sistemi ile şekillendirmede kanalın apikal kısmında eğimin dışına doğru stres yoğunluğu olduğu ancak HeroShaper ile yapılan şekillendirme benzetiminde orta kısımda ve ProTaper modelinden daha az stres olduğu belirlenmiştir.

Sonuçlar: HeroShaper eğe modelleri kanal duvarlarında ProTaper eğe modellerine göre daha az stres oluşturmuştur. HeroShaper eğe modellerinin kesme etkinliğinin yüksek olması sebebiyle dentin direnci azalmaktadır.

ProTaper eğe modelleri ile şekillendirme benzetimi yapılan kanallarda stres oluşumunun, özellikle apikal alanda eğriliğin dışına doğru artmış olduğu görülmüştür. Bu da ProTaper eğelerinin apikal transportasyona daha yatkın olduğunu göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Eğri kök kanalları, HeroShaper, ProTaper, sonlu elemanlar analizi, stres

ABSTRACT

Finite element analysis of stress distribution on canal walls while preparation of curved canals

Objective: The aim of this study is to determine stress evaluation of root canal wall during shaping curved canals with ProTaper and HeroShaper systems by using three-dimensional finite element analysis.

Methods: The geometries of the ProTaper Universal and HeroShaper Ni-Ti rotary systems' selected files were created using three-dimensional finite element models. The three-dimensional FEA model within a curved canal was established by integrating a simulated canal and natural tooth. A micro-focus CT scanner was used to scan the models. After integration and modification a final three-dimensional model with a smooth surface and mostly centered canal was established. The stresses on the instrument during simulated shaping of a root canal were analyzed numerically by using a three-dimensional finite element package, LS-DYNA, taking into account the nonlinear mechanical behavior of the nickel-titanium material. Stress distribution in the instruments and the canal walls was recorded during simulated shaping.

Results: With ProTaper file system, stress concentrations were determined towards the outer aspect of the curvature in the apical portion of the canal but in HeroShaper system stress was more concentrated in the middle portion of the canal and were less than ProTaper model.

Conclusion: HeroShaper files cut more efficiently and generated less stress on the canal walls than ProTaper files because of their positive rake angle.

It was observed that there was stress concentration towards the outer aspect of the curvature in the apical portion of the canal with the ProTaper file system. This shows us that these files are more feasible for apical transportation.

Key words: Curved canals, HeroShaper, ProTaper, finite element analysis, stress

GİRİŞ

Kanal preparasyonunun temel amacı, kök kanal sistemini, organik artıklardan temizlemek ve tüm kök kanal boşlu-

ğunu üç boyutlu ve hermetik bir şekilde doldurabilmek için şekillendirmektir (1). Eğri kök kanallarında şekillendirme işlemi sırasında, orijinal kanal seyrinin eğimin dış tarafına kayması sonucu kök kanal duvarının konkav kısmından kal-

dırılmayan enfekte doku artıkları (2) ve bakteriler tedavinin başarısızlığına neden olabilmektedir.

Eğri ve dar kök kanallarında esneklikleri az olan çelik eğelerin kullanılması, basamak, transportasyon, perforasyon alet kırılmaları gibi komplikasyonlara sebep olmaktadır. Eğri kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında, orijinal kanal eğriliğinin korunması ve apikal bölgede kök eğriliğinin iç kısmında kanal bütünlüğünü bozabilecek olan düzleşme eğiliminin önlenmesi gerekir (3). Dar ve eğri kanallarda şekillendirme sırasında ortaya çıkabilecek komplikasyonları en aza indirmek için daha esnek olan Ni-Ti esaslı aletlerin kullanılması önerilmiştir (4,5).

Ni-Ti döner eğe sistemleri süper-elastik ve şekil hafızasına sahip olma özellikleri ile orijinal kök kanal eğriliğinde değişiklik yapmadan; basamak, perforasyon gibi komplikasyonlara sebep olmadan şekillendirme yapabilmektedirler (4,6,7).

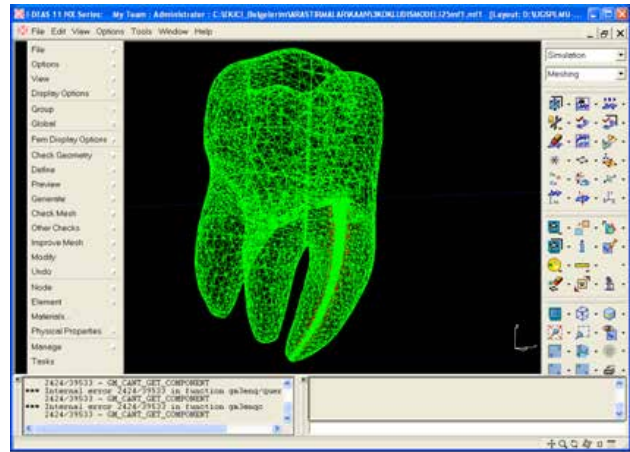
ProTaper eğeler (Dentsply Maillefer; Ballaigues, Switzerland); kök kanal şekillendirmesi için kullanılan konveks üçgen yatay kesite, devamlı farklılık gösteren sarmal değişken açılanmaya ve aktif kesici kenara, kesici olmayan modifiye rehber uca sahip bir dizaynı olan aletlerdendir (8). ProTaper sisteminin kullanıma girmesinden 5 yıl sonra ProTaper Universal (PTU) Tulsa (Dentsply Tulsa, Tulsa, OK) geliştirilmiştir. Bu sistemde orijinal kitten farklı olarak üç adet ProTaper Retreatment eğesi D1, D2, D3 ile iki yeni bitirici eğe F4 ve F5 ilave edilmiştir.

Hero Shaper (Micro-Mega, Besançon, Fransa) değişken sarmal yapısı ve değişken helikal açısına ek olarak kesici olmayan uç ve pozitif kesme açısıyla eğimli ve kalsifiye kanallarda bile sadece 4 eğe ile şekillendirmeyi öngören 3. nesil bir döner alet sistemidir (9). Çalışmamızda farklı eğe tasarımlarına sahip Ni-Ti esaslı döner alet sistemlerinden ProTaper ve HeroShaper sistemlerinin eğri kök kanallarında mekanik şekillendirme sırasında, kök kanallarında oluşturdukları streslerin üç boyutlu sonlu elamanlar analizi ile değerlendirilmesi ve şekillendirme etkinliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmanın amacı doğrultusunda ilk olarak maksiler azı dişinin matematiksel modeli hazırlanmıştır. Üç köklü maksiler azı dişi ILUMA ULTRA CONE BEAM tomografi (GE Healthcare 384 Wright Brothers Drive Salt Lake City, Utah 84116

USA) ile taranmıştır. Gerçek diş modelini bilgisayara tanıtmak için elde edilen modeldeki yüzeyler Magics 9.53 programında onarılmış ve Rhinoceros programında (Robert McNeel & Associates, Seattle, WA, USA) STL olarak açılıp DXF formatına çevrilmiştir. Daha sonra Mechanical Desktop programı yardımı ile DXF'ler üç boyutlu model bilgisayar tarafından solid olarak tanınan bir format olan IGES formatına çevrilmiştir. I-deas programı kullanılarak diş sonlu elemanlara ayrılmıştır ve LS-DYNA formatına çevrilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1: Üç köklü maksiler azı dişi görüntüsünün sonlu elemanlara ayrılmış şekli

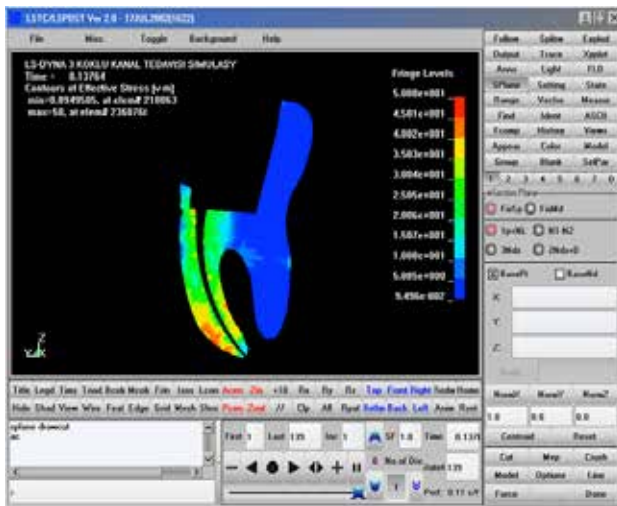
PTU sistemine ait S1, S2, F1 eğeler ile HeroShaper sistemine ait #20.06, #20.04, #25.04 ve #30.04 eğeler IDEAS11 (NX; UGS, Plano, TX, USA) kullanılarak tasarlanmıştır. Eğe modelleri aynı program ile lineer, dört-nod tetrahedral elemanlar ile mesh'lenmiştir. Tam bir eğin bilgisayar destekli tasarım modeli için Solidworks bilgisayar yazılımı kullanılmıştır.

Motor silindirik bir parça olup eğin üstüne yerleştirilmiştir. Eğin dairesel üst yüzeyi ile motorun dairesel alt yüzeyi aynı düzlemde örtüşmektedir. Hareketin motordan eğe aktarılabilmesi için her iki yüzeydeki düğüm noktalarının ortak olması zorunludur. Bu amaçla iki farklı yüzeydeki düğüm noktaları birbirine bağlanmıştır. Rijit malzeme olarak tanımlanmış motor LS-DYNA programındaki rijit malzeme özelliklerinden faydalanılarak hareketi tanımlanabilmiştir. Verilen hareketle motor z yönünde ilerleyebilmekte ve z eksenini etrafında dönebilmektedir. PTU ve HeroShaper eğeler üretici firma talimatları doğrultusunda 250 rpm hızla çalıştırılmıştır. Motorun malzemesi rijit deforme olmayan; eğin ve dişin malzemesi ise plastik kinematik olarak seçil-

miştir. Diş malzemesinin ve eğe yapısının plastik kinematik seçilme sebebi kesme işleminde talaş kaldırmanın ve stres altında eğe üzerinde deformasyon oluşumunun sağlanabilmesi içindir. Control-time step kartında erode kısmının 0' dan 1'e çevrilmesi gerekmektedir. Böylece plastik kinematik seçilen malzemede belli bir stres değerinden sonra talaşlı kesme işlemi yani dentin duvarının şekillendirme işlemi yapılabilmektedir.

BULGULAR

PTU S1 eğe modelinin kök kanalı içinde kanal boyunda şekillendirme yaptığı sırada kanal duvarlarında oluşan streslerin, eğe modelinin uç kısmının şekillendirme yaptığı alanda eğimin dışına doğru olan kanal duvarlarında daha fazla olduğu, kural kısmının şekillendirme yaptığı alanda ise eğimin içine doğru olan duvarlarda daha fazla olduğu gözlenmiştir. S2 eğe modeli ile kanal boyunda şekillendirme işlemi sırasında kök kanal duvarlarında oluşan stres yoğunluklarının apikal alanda eğimin dış bölgesine doğru artmakta olduğu görülmüştür. F1 eğe modelinin kanal duvarlarında oluşturduğu stresler özellikle apikalde ve eğimin dışına doğru yoğunlaşmıştır (Şekil 2). Kökün dış yüzünde stres yoğunluğunun apikalde eğimin dışına doğru olduğu net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2: ProTaper Universal F1 eğe modelinin kanal duvarlarında oluşturduğu stres dağılımı

HeroShaper döner eğe sistemine ait eğelerden zor kanalların (Schneider'e göre eğrilik açısı 25 dereceden fazla olan kanallar) şekillendirilmesi için önerilen eğeler modelenmiştir. Şekillendirme benzetimine .06 taper açısına sahip

20 numaralı eğe modeli ile başlanmıştır. Bu eğe modeli kök kanalının 2/3'lük alanının şekillendirilmesinde kullanılmıştır. HeroShaper .06 açılı 20 nolu eğe modeli ile kök kanalının kural 2/3'lük kısmında şekillendirme benzetimi sırasında, kanal duvarlarında oluşan stresler özellikle orta alanda eğimin iç yüzeyindeki kanal duvarlarında yoğunlaşmıştır. HeroShaper .04 açılı 20 numaralı eğe modeli ile kanal boyunda şekillendirme benzetimi ile kök kanal duvarlarında oluşan stres dağılımının kökün orta 1/3'lük kısmında eğriliğin iç yüzünde daha fazla yoğunlaştığı görülmüştür. HeroShaper döner eğe sisteminin zor kanalların şekillendirilmesinde kullanılan son eğesi .04 açılı 30 numaralı eğe modelinin ise kök kanallarında orta 1/3'lük bölgede daha belirgin stres oluşturduğu görülmüştür.

TARTIŞMA

Eğri kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında orijinal kanal eğriliğinin korunması ve apikal bölgede kök eğriliğinin iç kısmında kanal bütünlüğünü bozabilecek olan düzleşme yatkinliğinin önlenmesi gerekir (3). Ni-Ti döner sistem eğelerin süper-elastik özellikte olmaları, eğri kök kanallarında istenilen konik kanal şeklinin oluşturulmasına izin verir (10-12). Çalışmamızda üretici firmaları tarafından eğri kök kanallarının şekillendirilmesinde etkili olduğu belirtilen, kesit şekli ve taper açılanmaları farklı olan PTU ve HeroShaper Ni-Ti esaslı döner alet sistemleri kullanılmıştır (9,13). Bu sistemlerin seçiminde ana etken kesitlerinin, kesme ve taper açılarının farklılıkları ve bu farkların eğeler üstünde oluşan streslerde önemli rol oynamasıdır.

Eğelerin kesit şeklinin stres dağılımını ve dolayısıyla torsiyonel ve eğilme davranışlarını etkilediği bildirilmiştir (14-16). Çalışmamızda eğri kök kanallarında şekillendirme esnasında oluşan streslerin belirlenmesi esas alındığı için farklı kesit, çap ve kesme açısına sahip bu iki sistem tercih edilmiştir. PTU sisteminde eğe üzerinde, kök kanalının belirli bir bölgesinde preparasyon yapılması amacıyla farklı konisite değerleri mevcuttur. Modifiye edilmiş eğe uçları kanal eğesinin kanalda daha güvenle ilerlemesini sağlarken, aktif dentin kesimi yapan bölgenin dışında diğer bölgelerde aşırı strese maruz kalmasını da engeller (17). HeroShaper döner alet sistemi 'triple helix' yatay kesite sahip eğelerden oluşmaktadır. Bu tip kesite sahip aletlerin bükme streslerine dayanıklı olduğu ve çok dar ve eğri kök kanallarında kullanılmalarının daha uygun olduğu bildirilmiştir (14).

Birçok araştırma bu iki sistemin yapay ya da çekilmiş dişlerin kanallarındaki şekillendirme yeteneğine dikkat çekmiştir (2,18-22). Eğri kök kanallarının şekillendirilme esnasında eğim bölgesinin iç ve dış duvarlarından kaldırılan dentin miktarının farklı olduğu daha önce yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (20,22). ProTaper ve RaCe Ni-Ti eğe sistemlerinin şekillendirme etkinliklerini yapay kanallarda şekillendirme yaparak inceleyen araştırmacılar, RaCe sisteminin merkezde kalma oranlarının ProTaper sisteminden daha iyi olduğunu belirtmişlerdir (18).

Paque, Musch ve Hülsmann (19), RaCe ve ProTaper döner alet sistemlerini kullanarak yaptıkları çalışmada, bu sistemlerin kanal şekillendirmesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Dişler iki gruba ayrılarak RaCe ve ProTaper sistemleri ile şekillendirilmiştir. Her iki sistemin de eğimi iyi dönebildikleri ve kanallarda 1 dereceden daha az düzleşmeye sebep oldukları bulunmuştur.

Kaptan ve arkadaşları (23) HeroShaper ve Nitiflex eğelerin eğri kök kanallarındaki şekillendirme yeteneğini karşılaştırmışlardır. HeroShaper sistemi ile kökün orta 1/3'lük kısmında daha fazla dentin kaldırıldığı bunun sebebiyle Ni-Ti eğelerin şekil hafızası özelliklerinden dolayı eğri kanalda düzleşmeye çalışmaları olduğu belirtilmiştir.

Uyanık ve arkadaşlarının (24) HeroShaper, ProTaper ve RaCe döner alet sistemlerinin kök kanalı şekillendirmesi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında, kök kanal hacmindeki değişiklikler, kanal transportasyonu ve çalışma süreleri değerlendirilmiştir. ProTaper, HeroShaper'dan anlamlı olarak daha fazla dentin kaldırmıştır.

Çalışmamızda ProTaper ve HeroShaper eğe modellerinin kök kanalında şekillendirme yaparken kanal duvarlarında oluşturdukları stresler değerlendirilmiştir. ProTaper eğe grubu ile şekillendirilen modelde daha yoğun stres dağılımları görülmüştür. Bu durum eğenin kesme açısına bağlı olarak dentinde oluşan dirence ve özellikle apikal alanda düzleşmeye çalışırken eğriliğin dışına doğru yaptığı kuvvete bağlı olduğunu; her iki sistemin kök kanal modeli üzerindeki dağılımları incelendiğinde ProTaper sisteminin apikalde transportasyon yapma ihtimalinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Yang ve arkadaşları (22), eğri kök kanallarına sahip çekilmiş dişlerde ProTaper ve HeroShaper sistemlerinin şekillendirme yeteneklerini inceledikleri çalışmalarında her iki sistemin de güvenli ve çalışma boyunca kayıp oluşturmadan şekillendirme yaptıklarını rapor etmişlerdir. HeroShaper sis-

temi ile şekillendirdikleri kanallarda daha az transportasyon ve apikal alanda daha iyi bir merkezi şekillendirme oluştuğunu belirtmişlerdir.

Çalışmamızda HeroShaper eğe modelleri yapılan şekillendirmede kök kanal duvarlarında oluşan stresler incelendiğinde, genellikle homojen bir dağılım gösterdikleri ve orta 1/3'lük alanda yoğunlaştıkları görülmüştür. Ancak orta alandaki bu stres yoğunlukları ProTaper grubundaki kadar yüksek değerlerde bulunmamıştır. HeroShaper eğe modelleri ile yapılan şekillendirme sırasında kanal duvarlarında oluşan stres değerleri ve dağılımları eğri kök kanallarında daha merkezi şekillendirme yaptığını göstermektedir.

Aydın ve arkadaşları (25) eğri yapay kanallarda RaCe ve HeroShaper eğelerinin şekillendirme özelliklerini karşılaştırılmışlardır. HeroShaper sisteminin eğri kök kanallarında orta ve kural alanda daha fazla madde kaldırdığı gösterilmiştir.

Bu sonuçlar ProTaper eğelerinin eğri kök kanallarında apikal alanda eğimi takip etme ve merkezde kalma başarısının diğer sistemlere göre daha az olduğunu gösteren çalışmalarla uyumludur. HeroShaper sistemine ait eğelerin kanal içinde çalışırken orta 1/3 alanında daha fazla stres oluşturduğu görülmüştür. Bu sonuçlar eğelerin eğri kök kanallarında kullanılırken düzleşmeye çalışması nedeniyle orta alanda transportasyon yapma riskini gösteren çalışmalar ile uyumludur.

Çalışmamızda kanal duvarlarındaki stres yoğunlukları değerlendirildiğinde ProTaper eğelerinin dentinde daha fazla stres oluşturdukları gözlenmiştir. Kesme işlemi sırasında eğeler ile dentine bir kuvvet iletilmekte ve dentinde bu kuvvete karşı bir direnç gelişmektedir. Kanal eğelerinin keskin olduğu durumlarda dentin dokusunda kesmeye daha az direnç meydana gelmektedir (26). HeroShaper eğelerinin ise, pozitif kesme açıları ile daha etkin kesme özelliklerinden dolayı dentin duvarlarında daha az stres oluşturdukları görülmüştür.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, eğri kök kanallarında Ni-Ti döner alet sistemlerine ait eğelerin 250 rpm hızla dönerek kanala girişleri ve kök kanalını genişleterek apikale ulaşmalarının üç boyutlu sonlu elemanlar benzetimi gerçekleştirilmiştir. HeroShaper eğe modelleri kanal duvarlarında ProTaper eğe modellerine göre daha az stres oluşturmuşlardır. HeroShaper eğe

modellerinin kesme etkinliğinin yüksek olması sebebiyle dentin direnci azalmaktadır. ProTaper eğe modelleri ile şekillendirme benzetimi yapılan kanalarda stres oluşumu özellikle apikal alanda eğriliğin dışına doğru artmıştır. Bu da ProTaper eğelerinin apikal transportasyona daha yatkın

olduklarını göstermektedir. Dinamik modeller ile ilgili teknik sorunlar ve kısıtlamalar çözüme ulaştığında yapılacak optimizasyon çalışmaları ile, kök kanal şekillendirilmesinde kullanılabilecek en güvenilir ve etkin eğe gruplarının tayin edilmesi sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- Schilder H. Cleaning and shaping the root canal system. *Dent Clin North Am.* 1974; 18(2): 269-96.
- Schafer 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.
- Wein FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod.* 1975; 1: 255-262.
- Thompson SA, Dummer PM. Shaping ability of Profile .04 Taper Series 29 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. Part 1. *Int Endod J.* 1997; 30: 1- 7.
- Zmener O, Banegas G. Comparison of three instrumentation techniques in the preparation of simulated curved root canals. *Int Endod J.* 1996; 29: 315- 319.
- Schirrmeister JF, Strohl C, Altenburger MJ, Wrbas KT, Hellwig E. Shaping ability and safety of five different rotary nickel- titanium instruments compared with stainless steel hand instrumentation in simulated curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006; 101: 807-813.
- Bryant ST, Dummer PMH, Pitoni C, Bourbo M, Moghal S. Shaping ability of .04 and .06 taper ProFile rotary nickel-titanium instruments in simulated root canal. *Int Endod J.* 1999; 32: 155-164.
- Peters OA, Peters CI. Cleaning and shaping of the root canal system. Cohen S, Hargreaves KM. *Cohen's Pathways of the Pulp.* 10 th ed, 2006 St Louis, Missouri, Mosby Elsevier. 2011; 299-302.
- Calas P. Hero Shapers: The adapted pitch concept. *Endodontics Topics.* 2005; 10: 155-163.
- Schafer E, Schulz-Bongert U, Tulus G. Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *J Endod.* 2004; 30: 432-435.
- Garip Y, Gunday M. The use of computed tomography when comparing nickel-titanium and stainless steel files during preparation of simulated curved canals. *Int Endod J.* 2001; 34: 452-457.
- Schafer E. Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments and stainless steel hand K-Flexofiles in simulated curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2001; 92: 215-220.
- Ruddle CJ. The ProTaper technique. *Endodontic Topics,* 2005; 10: 187-190.
- Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM. Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models. *J Endod.* 2000; 26: 414-417.
- Berutti E, Chiandussi G, Gaviglio I, Ibba A. Comparative analysis of torsional and bending stress in two mathematical models of nickel-titanium rotary instruments: ProTaper versus Profile. *J Endod.* 2003; 29(1): 15-19.
- Tripi TR, Bonaccorso A, Condorelli GG. Cyclic fatigue of different nickel-titanium endodontic rotary instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006; 102: 106-114.
- Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pasqualini D. Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper rotary instruments. *J Endod.* 2004; 30(4): 228-230.
- Schafer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2004; 37: 229-238.
- Paque F, Musch U, Hülsmann M. Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2005; 38: 8-16.
- Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study Endoflare-HeroShaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J.* 2005; 38: 610-616.
- Yang GB, Zhou XD, Zhang H, Wu HK. Shaping ability of progressive versus constant taper instruments in simulated root canals. *Int Endod J.* 2006; 39: 791-799.
- Yang GB, Zhou XD, Zheng YL, Zhang H, Shu Y, Wu HK. Shaping ability of progressive versus constant taper instruments in curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2007; 40: 707-714.
- Kaptan F, Sert S, Kayahan B, Haznedaroğlu F, Tanalp J, Bayırlı G. Comparative evaluation of the preparation efficacies of HERO Shaper and Nitiflex root canal instruments in curved root canals . *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005; 100: 636-642.
- Uyanık MO, Cehreli ZC, Mocan BO, Dağlı FT. Comparative evaluation of three nickel-titanium instrumentation systems in human teeth using computed tomography. *J Endod.* 2006; 32: 668-671.
- Aydın C, Inan U, Yasar S, Bulucu B, Tunca YM. Comparison of shaping ability of RaCe and Hero Shaper instruments in simulated curved canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008; 105: 92-97.
- Gunday M. Eğri kök kanallarının preparasyonunda kanal aletleri üzerinde oluşan kuvvetler. *Dişhekimliğinde Klinik.* 1996; 3: 145-148.