

**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

**FARKLI GİRİŞ KAVİTESİ TASARIMLARINDA KULLANILAN
FARKLI EĞE SİSTEMLERİNİN APİKAL TRANSPORTASYON,
KANAL MERKEZLEME VE KALDIRILAN DENTİN MİKTARI
ÜZERİNE ETKİSİ**

Dt.Büşra YÜCE

**Endodonti Anabilim Dalı
Uzmanlık Tezi**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Halit ALADAĞ**

**ERZURUM
2024**

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	I
TEŞEKKÜR.....	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
1.GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kök Kanal Tedavisinin Amaçları	4
2.2. Minimal İnvaziv Endodonti.....	4
2.3. Endodontik Giriş Kaviteleri	5
2.3.1. Endodontik Giriş Kavitesinin Kanal Tedavisindeki Rolü	6
2.3.2. Alt 1. Büyükazı Dişinde Endodontik Giriş Kavitesi	7
2.3.3. Geleneksel Giriş Kavitesi	8
2.3.4. Minimal İnvaziv Giriş Kaviteleri	9
2.4. Kök Kanal Şekillendirmesi ve Amaçları	14
2.5. Kök Kanallarının Şekillendirilmesinde Kullanılan Aletlerin Gelişimi	15
2.5.1. Nikel Titanyum Alaşımların Genel Özellikleri	17
2.5.2. Endodontide Kullanılan NiTi Alaşımları	21
2.5.3. NiTi Döner Eğe Sistemleri	25
2.5.4. NiTi Aletlerin Kinematik Özellikleri	29
2.5.5. Çalışmamızda Kullanılan Nikel Titanyum Eğe Sistemleri.....	32

2.6. Kök Kanal Şekillendirilmesi Esnasında Karşılaşılan Prosedürel Hatalar.....	37
2.6.1. Çalışma Uzunluğu Kaybı	37
2.6.2. Alet Kırılması	38
2.6.3. Basamak Oluşumu	38
2.6.4. Perforasyon	38
2.6.5. Strip Perforasyon	39
2.6.6. Dirsek	39
2.6.7. Apikal Transportasyon	39
2.7. Kök Kanal Eğiminin Komplikasyonlar Üzerindeki Etkisi	42
2.8. Kök Kanal Eğimini Belirlemek İçin Kullanılan Yöntemler	42
2.9. Kanal Şekillendirme Yeteneğinin Değerlendirilmesi	44
2.10. Mikro Bilgisayarlı Tomografi (Mikro-BT, µBT).....	45
3. MATERYAL ve METOD	48
3.1. Örneklem Büyüklüğünün Belirlenmesi	48
3.2. Çalışma Örneklerinin Bulunması ve Seçimi	48
3.2.1. Dişlerin Dahil Edilme ve Hariç Tutulma Kriterleri.....	48
3.3. Dişlerin Gruplandırılması.....	49
3.4. Geleneksel, Konservatif ve Truss Giriş Kavitetlerinin Hazırlanması.....	50
3.5. Kök Kanal Şekillendirmesinden Önce Mikro-BT ile Görüntüleme	52
3.6. Çalışma Boyu Tespiti.....	53
3.7. Kök Kanallarının Şekillendirilmesi	54
3.7.1. Protaper Next Eğesi İle 1., 2. ve 3. Gruplardaki Dişlerin Kanal Preparasyonu	54
3.7.2. WaveOne Gold Eğesi İle 4,5,6. Gruplardaki Dişlerin Kanal Preparasyonu.....	55
3.8. Şekillendirmeden Sonra Mikro-BT ile Görüntüleme.....	56
3.9. Apikal Transportasyon, Kanal Merkezleme Yeteneği ve Çıkarılan Dentin Miktarının Değerlendirilmesi.....	56

3.10. İstatistiksel Analiz.....	59
4. BULGULAR.....	60
5. TARTIŞMA.....	68
6. SONUÇLAR.....	80
KAYNAKLAR.....	82



TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimi sürem boyunca tüm bilgisini, tecrübelerini bıkmadan içten bir şekilde benimle paylaşan, yardım ve desteklerini esirgemeyen, danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Halit ALADAĞ'a,

Bilgi ve tecrübelerini her zaman bizimle cömertçe paylaşan ve bizlere hep yol gösterici olan Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı öğretim üyeleri Prof. Dr. K. Meltem ÇOLAK'a, Prof. Dr. Ertuğrul KARATAŞ'a, Dr. Öğr. Üyesi Aziz Şahin ERDOĞAN'a, Dr. Öğr. Üyesi Meltem SÜMBÜLLÜ'ye ve tez savunmamda jüri üyesi olarak katılmayı kabul eden saygıdeğer hocamız Prof. Dr. Sema BELLİ'ye, aynı ortamda çalışmaktan keyif aldığım her ihtiyaç duyduğumda yanımda olan asistan arkadaşlarıma, hemşirelerimize, sekreterimize ve personelimize, eğitim hayatım boyunca her koşulda yanımda olan, sevgi ve özverileri ile bana güç veren, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Oğuz YÜCE'ye, varlığıyla bana güç veren biricik oğlum Kerem Ümit YÜCE ve canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Büşra YÜCE

ÖZET

Farklı Giriş Kavitesi Tasarımlarında Kullanılan Farklı Eğe Sistemlerinin Apikal Transportasyon, Kanal Merkezleme ve Kaldırılan Dentin Miktarı Üzerine Etkisi

Amaç: Bu çalışmanın amacı mikro bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) kullanılarak farklı kavite tasarımlarının, iki farklı kinematiğe sahip eğe sistemi kullanılarak eğri kök kanallı dişlerin kök kanal preparasyonu sırasında kanal şekillendirme yeteneği üzerine etkisini araştırmaktır.

Materyal ve Metot: Bu çalışmada kanal eğriliği 25-35° arasında olan mandibular molar dişlerin 72 adet mezial kanalları (36 diş) kullanıldı. Dişler şekillendirilmeden önce Mikro-BT ile taranmıştır. Dişler rastgele 6 gruba ayrılmıştır.

1. Grup; Geleneksel Endodontik Kavite (GEK) ve Protaper Next (PN-GEK)
2. Grup; Konservatif Endodontik Kavite (KEK) ve Protaper Next (PN-KEK)
3. Grup; Truss Endodontik Kavite (TREK) ve Protaper Next (PN-TREK)
4. Grup; Geleneksel Endodontik Kavite (GEK) ve Wave One Gold (WOG-GEK)
5. Grup; Konservatif Endodontik Kavite (KEK) ve Wave One Gold (WOG-KEK)
6. Grup; Truss Endodontik Kavite (TREK) ve Wave One Gold (WOG-TREK)

Giriş kaviteleri açılarak her bir dişin mesial kanallarında öncelikle bir rehber yol oluşturuldu. 1,2,3. gruplar Protaper Next X1 ve X2 ile, 4,5,6. gruplar ise Wave One Gold Primary eğesi ile şekillendirildi. Her 3 galamadan sonra eğe dentin debrisinden temizlenmiş ve kanallar 2 ml NaOCl ile irrigasyon yapılmıştır. Çalışma boyunca ulaşıncaya kadar bu işlemlere devam edilmiştir. Kök kanalları şekillendirme öncesi ve sonrası mikro-BT ile tarandı ve apikal foramenden 1,2,3,5 ve 7 mm'lik uzaklıklarda aksiyal kesitler ile apikal transportasyon ve merkezleme yeteneğindeki değişiklikler ve çıkarılan dentin miktarları Mikro-BT ile değerlendirildi.

Bulgular: Çalışmamızın yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre;

Transportasyon, bukkolingual yönde apikale 5 mm uzaklıkta PN-KEK grubunda PN-TREK, WOG-TREK ve WOGGEK grubundan anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur.

Kanal merkezleme oranı, meziodistal yönde apikale 5 mm uzaklıkta WOG-GEK grubunda WOG-KEK grubuna, WOG-TREK grubunda WOG-KEK grubuna, WOG-TREK grubunda PN-GEK grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksek çıkmıştır. Bukkolingual yönde apikale 1 mm uzaklıkta WOG-GEK grubunda PN-TREK grubuna, WOG-KEK grubunda PN-TREK grubuna, WOG-KEK grubunda PN-KEK grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur.

Kaldırılan dentin miktarı açısından gruplar arasında anlamlı fark bulunmamıştır.

Sonuç: Eğri kanallarda Protaper Next eğesi ile en fazla transportasyon konservatif endodontik kavitede görülmüştür. Eğri kanallarda Wave One Gold eğesi ile kanal merkezleme yeteneği en düşük konservatif kavitede görülmüştür. Kavite çeşitlerinin karşılaştırılmasında transportasyon ve kaldırılan dentin miktarında eğeler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Kanal merkezleme yeteneği ise konservatif kavitelere Wave One Gold eğesinde, Protaper Next eğesinden yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Apikal Transportasyon, Endodontik Giriş Kavitesi, Kanal Merkezleme Yeteneği, Mikro Bilgisayarlı Tomografi

ABSTRACT

Effect of Different File Systems Used in Different Access Cavity Designs on Apical Transport, Canal Centering and Amount of Dentin Removed

Aim: The aim of this study is to investigate the effect of two different file systems (rotational and reciprocal) using micro-computed tomography (micro-CT) on the canal shaping ability of teeth with curved root canals in different cavity designs during root canal preparation.

Material and Method: In this study, 72 mesial canals (36 teeth) of mandibular molar teeth with canal curvature between 25-35° were used. The teeth were scanned with Micro-CT before they were shaped. Teeth were randomly divided into 6 groups.

1st Group; Traditional Endodontic Cavity (GEK) and Protaper Next (PN-GEK)

2nd Group; Conservative Endodontic Cavity (CEK) and Protaper Next (PN-KEK)

3rd Group; Truss Endodontic Cavity (TREK) and Protaper Next (PN-TREK)

4th Group; Traditional Endodontic Cavity (GEK) and Wave One Gold (WOG-GEK)

5th Group; Conservative Endodontic Cavity (KEK) and Wave One Gold (WOG-KEK)

6th group; Truss Endodontic Cavity (TREK) and Wave One Gold (WOG-TREK)

By opening the entrance cavities, a guide path was first created in the mesial canals of the teeth with each cavity shape. 1,2,3. groups Protaper Next with X1 and X2, 4,5,6. The groups were shaped with Wave One Gold Primary file. After every 3 pecks, the file was cleaned of dentin debris and the canals were irrigated with 2 ml NaOCl. These processes were continued until the working size was reached. Root canals were scanned with micro-CT before and after shaping, and changes in apical transport and centering ability were evaluated with axial sections of 1,2,3,5 and 7 mm from the apical foramen. The amount of dentin removed was also evaluated by Micro-CT.

Results: According to the statistical analysis results of our study;

Transport was found to be significantly higher in the PN-KEK group than in the PN-TREK, WOG-TREK and WOGGEK groups at a distance of 5 mm apically in the buccolingual direction.

The canal centering ratio was significantly higher in the WOG-GEK group at a distance of 5 mm from the apical in the mesiodistal direction compared to the WOG-KEK group, in the WOG-TREK group compared to the WOG-KEK group, and in the WOG-TREK group compared to the PN-GEK group. It was found to be significantly higher in the buccolingual direction at a distance of 1 mm from the apical in the WOG-GEK group compared to the PN-TREK group, in the WOG-KEK group compared to the PN-TREK group, and in the WOG-KEK group compared to the PN-KEK group.

There was no significant difference between the groups in terms of the amount of dentin removed.

Conclusion: In curved canals, the highest transport with the Protaper Next file was seen in the conservative endodontic cavity. In curved canals, the ability to center the canal with the Wave One Gold file was lowest in the conservative cavity. When comparing cavity types, no significant difference was found between files in terms of transportation and the amount of dentin removed. The canal centering ability was found to be higher in the Wave One Gold file than in the Protaper Next file in conservative cavities.

Key Words: Apical Transport, Endodontic Access Cavity, Canal Centering Ability, Micro Computed Tomography

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
=	: Eşittir
<	: Küçüktür
>	: Büyüktür
°C	: Santigrat Derece
μ	: Mikro
°	: Derece
A_f	: Ostenit Bitiş Sıcaklığı
Ark.	: Arkadaşları
A_s	: Ostenit Başlangıç Sıcaklığı
AT	: Apikal Transportasyon
BT	: Bilgisayarlı Tomografi
CM	: Control Memory (Kontrollü Hafıza)
EDTA	: Etilendiamin Tetraasetik Asit
GEK	: Geleneksel Endodontik Kavite
KEK	: Konservatif Endodontik Kavite
KIBT	: Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
M_f	: Martensit Bitiş Sıcaklığı
micro-BT	: Mikrobilgisayarlı Tomografisi
mm	: Milimetre
M_s	: Martensit Başlangıç Sıcaklığı
MY	: Merkezleme Yeteneği
NaOCl	: Sodyum Hipoklorit
Ni-Ti	: Nikel Titanyum
p	: İstatistiksel Anlamlılık Derecesi

PN	: Protaper Next
TREK	: Truss Endodontik Kavite
WOG	: Wave One Gold
μBT	: Mikrobilgisayarlı Tomografi
3B	: 3 Boyutlu



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No</u>	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Mandibular Birinci Molardaki Geleneksel ve Truss Giriş Kavitesi Sınırları	12
Şekil 2. GEK, KEK, TREK Tasarımlarının Okluzal ve Sagittal Micro-CT Görüntüleri....	12
Şekil 3. Minimal İnvaziv ve Geleneksel Giriş Kavitelerinin Fotoğrafı ve Micro-CT Görüntüleri.....	13
Şekil 4. Mandibular birinci molar dışın geleneksel, konservatif ve ultrakonservatif giriş boşluğu hazırlıklarını gösteren mikro bilgisayarlı tomografik çizimi.....	14
Şekil 5. NiTi alaşımın faz dönüşümü	18
Şekil 6. NiTi alaşımın dönüşüm sıcaklıkları	19
Şekil 7. Stres indükleyici martensitik dönüşüm	20
Şekil 8. Ara faz (R Fazı).....	20
Şekil 9. Östenit NiTi alaşımının spring-back etkisi ve martenzit NiTi alaşımının şekil hafızası.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 10. WaveOne Gold Primary eğesinin enine kesit görüntüsü	32
Şekil 11. WaveOne Gold eğeleri.....	33
Şekil 12. WaveOne Gold Primary eğesinin koniklik açısı.....	34
Şekil 13. ProTaper Next döner eğe sisteminin çapraz kesiti.....	35
Şekil 14. ProTaper Next döner eğe sistemi	36
Şekil 15. Schneider yöntemine göre kök kanal eğimi belirleme yöntemi.....	43
Şekil 16. Pruett ve arkadaşlarına göre kök kanal eğimi belirleme yöntemi	43
Şekil 17. Transportasyon hesaplamasında kullanılan ölçümler	45
Şekil 18. Alt Büyükazı Dışında Açılan Geleneksel Endodontik Kavite	51
Şekil 19. Alt Büyükazı Dışında Açılan Konservatif Endodontik Kavite	51
Şekil 20. Alt Büyükazı Dışında Açılan Truss Endodontik Kavite	52
Şekil 21. Bruker Skyscan 1272 Model Mikro-BT Cihazı	52

Şekil 22. Şekillendirme Öncesine Ait Örnek Mikro-BT Görüntüleri	53
Şekil 23. Çalışmamızda kullandığımız Protaper Next X1 eğesi	54
Şekil 24. Çalışmamızda kullandığımız Protaper Next X2 eğesi	54
Şekil 25. Çalışmamızda kullandığımız Wave One Gold eğesi	55
Şekil 26. Çalışmamızda kullandığımız WDV Silver Endomotor.....	55
Şekil 27. Şekillendirme Sonrasına Ait Örnek Mikro-BT Görüntüleri	56
Şekil 28. Şekillendirme Öncesi ve Sonrası Örnek Ölçümleri.	58
Şekil 29. Çalışmamızda Kullanılan Dişlerin Kanal HacimlerininTemsili 3B Rekonstrüksiyonu	58

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Mesiodistal yönde apikal 1 mm’de transportasyona ait istatistikler.....	61
Tablo 2. Mesiodistal yönde apikal 2 mm’de transportasyona ait istatistikler.....	61
Tablo 3. Mesiodistal yönde apikal 3 mm’de transportasyona ait istatistikler.....	61
Tablo 4. Mesiodistal yönde apikal 5 mm’de transportasyona ait istatistikler.....	62
Tablo 5. Mesiodistal yönde apikal 7 mm’de transportasyona ait istatistikler.....	62
Tablo 6. Bukkolingual yönde apikal 1 mm’de transportasyona ait istatistikler	62
Tablo 7. Bukkolingual yönde apikal 2 mm’de transportasyona ait istatistikler	63
Tablo 8. Bukkolingual yönde apikal 3 mm’de transportasyona ait istatistikler	63
Tablo 9. Bukkolingual yönde apikal 5 mm’de transportasyona ait istatistikler	63
Tablo 10. Bukkolingual yönde apikal 7 mm’de transportasyona ait istatistikler	64
Tablo 11. Mesiodistal yönde apikal 1 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler.....	64
Tablo 12. Mesiodistal yönde apikal 2 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler.....	Hata!
Yer işareti tanımlanmamış.	
Tablo 13. Mesiodistal yönde apikal 3 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler.....	65
Tablo 14. Mesiodistal yönde apikal 5 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler.....	65
Tablo 15. Mesiodistal yönde apikal 7 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler.....	65
Tablo 16. Bukkolingual yönde apikal 1 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler.....	66
Tablo 17. Bukkolingual yönde apikal 2 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler.....	66
Tablo 18. Bukkolingual yönde apikal 3 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler.....	66
Tablo 19. Bukkolingual yönde apikal 5 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler.....	67
Tablo 20. Bukkolingual yönde apikal 7 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler.....	67
Tablo 21. Kaldırılan dentin miktarına ait istatistikler	67

1.GİRİŞ

Endodontik tedavi; kanal boşluğundan pulpa dokusu çıkarıldıktan sonra kök kanallarının şekillendirilmesi, irrigasyon solüsyonları ile dezenfekte edilmesi ve koronalden apikale doğru üç boyutlu olarak sızıntıya neden olmayacak şekilde doldurulmasıdır. Başarılı bir endodontik tedavi; bu prensiplerin hepsinin tam anlamıyla yerine getirilmesine bağlıdır (Ree and Schwartz 2010).

Kök kanal tedavisinin en önemli aşamalarından birisi endodontik giriş kavitesi preparasyonudur. Düzgün bir giriş kavitesi, kök kanallarının başarılı olarak tedavi edilmesinde şarttır ve geri kalan prosedürler için çok önemlidir. Koronale doğru genişliğe sahip düz bir rehber yol, irrigasyon ajanlarının ulaşımını kolaylaştırır ve döner aletlerin dişin apikal kısmında dentin temasını minimuma indirerek şekillendirilmesine olanak sağlar (Yahata, Masuda, and Komabayashi 2017).

Konservatif giriş kavitelerinin tasarım şekilleri, kök kanallarının enstrümantasyonunu tehlikeye sokabilir. Geleneksel endodontik kavite (GEK) tasarımı; daha önceden yapılmış restorasyonların, çürük dokuların tamamen kaldırılmasını savunur. Geleneksel giriş kavitesi tasarımı; bütün kök kanal ağzlarına, kök kanalının ilk eğimli yerine ve apikal foramenlere direkt ulaşım sağlamayı amaçlar. Servikal bölgedeki dentin fazlalıkları alınarak pulpa tavanının hepsi kaldırılır. Son çalışmalarda, sağlıklı diş dokusu kaybını minimumda tutmak, bir miktar pulpa odası tavanını veya periservikal dentin dokusunu muhafaza etmek maksadıyla konservatif giriş kavitesi tasarımları bulunmuştur. Aynı zamanda, küçültülmüş/konservatif giriş kavitesi tasarımlarındaki buluşlar, tedavi sonrası dişin restoratif stabilizasyonu veya ömrünün uzun olması adına çok önemlidir (Murdoch-Kinch and McLean 2003).

Kanal transportasyonu, hazırlanan kök kanalının orijinal doğal eksenine göre sapması olarak tanımlanırken merkezleme yeteneği, aletlerin kök kanalı içinde merkezde

kalma yeteneğini gösterir (Gambill ve ark. 1996). Rover ve Alovise'nin çalışmalarına göre farklı kavite tasarım şekillerinin apikal transportasyon miktarı üzerinde önemli farklılıklar oluşturduğu bulunmuştur. Bu çalışmalara göre geleneksel giriş kavitesi (GEK) gruplarına kıyasla konservatif giriş kavitesi (KEK) gruplarında daha fazla apikal transportasyon bildirmiştir (Alovise et al. 2018; Rover et al. 2017).

Kök kanalı şekillendirme işlemlerinin biyolojik ve mekanik yönlerinin bilinmesi, kanal şekillendirmesinin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için gereklidir. Eğimli kanallarda bu biyolojik ve mekanik hedefler sağlanamaz ise şekillendirme aşamaları esnasında birçok hata meydana gelebilir (Hülsmann, Peters, and Dummer 2005).

Kök kanalının eğriliği, başarılı kanal tedavisini zorlaştıran bir etkidir (Estrela et al. 2017). Eğimli kanalların şekillendirilmesi sırasında, özellikle paslanmaz çelik aletler kullanıldığında, aletlerin kanalın orjinal aksından sapmasıyla birçok komplikasyon meydana gelebildiğinden preparasyon aşamasını başarılı bir şekilde tamamlamak oldukça zordur. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek için Nikel-Titanyum (Ni-Ti) döner aletler geliştirilmiştir (Yamamura et al. 2012). Ni-Ti döner aletler, paslanmaz çelik aletlerle karşılaştırıldığında, süperelastiklik ve şekil hafızasına sahip olma özelliği sayesinde birtakım avantajlara sahiptir. Ni-Ti döner aletlerin, eğimli kök kanallarında, kanal duvarlarına daha az lateral kuvvet uygulayarak kanalın aksından sapma riskini azalttığı ve kanalın orjinal şeklinin korunmasındaki etkinlikleri yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Coleman and Svec 1997; Hülsmann et al. 2005; Peters 2004).

Kanal merkezleme yeteneği ve kanal transportasyonu ; kök kanal anatomisinden, kanal eğelerinin kesit tasarımından, kullanılan alaşımın cinsinden veya uygulanan şekillendirme prosedüründen etkilenmektedir (Bürklein et al. 2012). Literatürde kök kanal şekillendirilmesinde devamlı rotasyonel hareket prensibinin, resiprokasyonel hareket ile çalışan endodontik eğelerden daha az oranda apikal transportasyon meydana getirdiğini gösteren çalışmalar vardır (Bürklein, Benten, and Schäfer 2013; Dietrich, Kirkpatrick, and

Yaccino 2012; Haapasalo and Shen 2013; You et al. 2011; Young, Parashos, and Messer 2007). Aynı zamanda resiprokasyonel hareketin, devamlı rotasyon hareketine göre kök kanal kompleksini daha fazla koruduğunu bildiren çalışmalar da mevcuttur (Bürklein and Schäfer 2013; Hasheminia et al. 2018; Huang et al. 2019; Marceliano-Alves et al. 2015; Marzouk and Ghoneim 2013; Simpsy et al. 2016).

Kök kanal aletlerinin kanal preparasyonundaki etkinliğini değerlendirmek için birçok farklı inceleme tekniği kullanılmıştır (Bramante, Berbert, and Borges 1987; Venturi et al. 2003). Son yıllarda kök kanal sisteminin 3 boyutlu (3B) modellerinin çıkarılması ve bu modeller üzerinde kök kanal kompleksindeki değişimlerin tekrarlanabilir bir şekilde incelenmesine olanak sağlayan mikrobilgisayarlı tomografinin (μ BT) endodontik çalışmalarda uygulanmaya başlanmasıyla, bu alanda yapılan çalışmalar yeni bir boyut kazanmıştır (Paqué and Peters 2011; Peters, Boessler, and Paqué 2010; Peters and Paqué 2011).

Çalışmamızın amacı; 3 farklı endodontik giriş kavitesinin açıldığı eğimli köke sahip çekilmiş dişlerde, rotasyonel ve resiprokal hareket prensibiyle çalışan eğeler ile kanal şekillendirmesi yapılarak bu dişlerin mikro bilgisayarlı tomografide incelenerek kaldırılan dentin miktarı, kanal merkezleme, kanal transportasyonu ve apikal transportasyon miktarlarını değerlendirmektir.

Bu çalışmada ‘WaveOne Gold ve ProTaper Next ege sitemlerinin geleneksel, konservatif ve truss kavite şekillerinde kanal transportasyonu, kanal merkezleme yeteneği ve dentin kaldırma miktarı üzerine herhangi bir etkisi yoktur’ sıfır hipotezi test edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kök Kanal Tedavisinin Amaçları

Endodontik tedavi, enfekte kök kanal sistemindeki mikroorganizmaların temizlenmesini içeren işlemleri kapsamaktadır. Bu işlemlerin asıl hedefi, periapikal dokuların korunması ve/veya hastalıklı apikal periodonsiyumun iyileştirilmesini sağlayan ortamın oluşturulmasıdır. Bu işlemler sırası ile kanal ağzlarına ulaşımı sağlayan giriş kavitesinin açılması, kök kanallarının temizlenip şekillendirilerek bakterilerden ve yan ürünlerinden arındırılması ve kök kanallarının sızdırmaz olarak doldurulması şeklinde sıralanmaktadır (Regan J and Guttman J. 2004; Schilder H. 1974).

Temizleme ve şekillendirme, biyolojik ve mekanik olarak gerçekleştirilen işlemler olup kök kanal tedavisinin teknik olarak en önemli aşamasıdır (Saunders W and Saunders E n. d.). Temizleme ve şekillendirme terimleri, kimyasal, biyolojik ve mekanik prensipleri içeren işlem olmasından dolayı biyomekanik temizlik, kemomekanik temizlik terimleri ile de anlatılmaktadır. Ayrıca literatürde; bu işlem için enstrümantasyon, preparasyon, genişletme ve şekillendirme gibi terimler de kullanılmaktadır.(Hülsmann et al. 2005).

Başarılı bir kanal tedavisi doğru teşhis koyup, diş anatomisi ve morfolojisine ait bilgileri düzgün bir biçimde kullanarak uygun bir tedavi planı geliştirme, yeterli şekillendirme ve dezenfeksiyon ile tüm kök kanal sisteminin kanal dolgusu ile tıkanması aşamalarının uygulanması ile gerçekleştirilebilir (Torabinejad M. and Walton RE. 2009). Kök kanal dolgusu, kök kanalına üç boyutlu olarak sızdırmaz bir şekilde uyumlanmalıdır (Peters et al. 2002).

2.2. Minimal İnvaziv Endodonti

Endodontik tedavi hem karmaşık hem de zaman gerektiren bir süreçtir. En zorlu aşamalarından bir tanesi ise kök kanal sistemine uygun bir giriş sağlayabilmektir. Kök kanallarına engelsiz bir giriş sağlanabilmesi, aletlerin yerleştirilmesini kolaylaştırarak, daha iyi bir görüş sağlar. Böylece iatrojenik hatalar sınırlandırılmış olur (Darcey et al.

2015). Ancak kullanılan hiçbir malzeme veya teknik kaybedilen diş dokusunun yerine geçemez. Minimal invaziv yaklaşımın öncelikli amacı dişin kırılma direncini arttırmaktır (Clark and J. Khademi 2010).

Minimal invaziv yaklaşım geçmişten günümüze kadar diş hekimliği prensipleri arasında yer almaktaydı. Minimal invaziv yaklaşımı desteklemek amacı ile diş dokusunu mümkün olduğunca korumayı amaçlayarak pek çok preparasyon şekilleri geliştirilmiştir. Endodonti alanında, özellikle giriş kavitesi hazırlığı aşamalarında gereğinden fazla kaldırılan dentin dokusu sebebi ile dişin kırılma direnci düşmekte, bu durum ise vertikal kırıklara sebep olabilmektedir (Rezaei Dastjerdi, Amirian Chaijan, and Tavanafar 2015). Kök kanal preparasyonu sırasında kaldırılan fazla dentin dokusu ise özellikle servikal dentin kalınlığını azaltmakta, bu durum dişin kırılma direncinin düşmesine sebep olarak ağızda kalma süresini olumsuz yönde etkilemektedir. (Zogheib et al. 2018).

Günümüzde endodonti pratiğine giren büyütme sistemleri ve ileri genişletme teknikleri sayesinde orjinal diş dokusuna sadık kalınarak mümkün olan en az diş dokusunu kaldırmayı hedefleyen ‘minimal invaziv endodonti’ kavramı ortaya çıkmıştır. Minimal invaziv endodonti yaklaşımının endodonti pratiğine girmesi ile farklı minimal invaziv giriş kavitesi tasarım fikirleri geliştirilmiştir. Bu yeni gelişen tasarımların dentin dokusunu daha fazla koruduğu düşünülse de etkin temizlik ve yeterli preparasyon açısından şüpheler içermektedir (Moore et al. 2016; Niemi et al. 2016; Rover et al. 2017b).

2.3. Endodontik Giriş Kaviteleri

Kök kanal sistemine; temizleme, şekillendirme ve dolum amacıyla giriş sağlamak için dişte hazırlanan erişim boşluğuna “giriş kavitesi” adı verilir (American Association of Endodontists. 2012).

Endodontik giriş kavitesi hazırlığı, kök kanal tedavisinin en önemli aşamasıdır. Endodontik tedavinin başarısı için iyi tasarlanmış bir giriş kavitesi hazırlığı önemlidir. Giriş kavitesi hazırlığı yetersiz ise kullanılan kanal aletlerinin ve malzemelerin, karmaşık

ve değişken kök kanal sisteminde düzgün bir şekilde ilerlemesi zorlaşmaktadır (Vertucci, Haddix, and Britto 2006).

Giriş kavitesi preparasyonunun amaçları: (Gutmann JL and Fan B 2016)

1. Tüm çürük dokuları kaldırmak
2. Sağlam diş dokularını korumak
3. Pulpa odası tavanını tamamen uzaklaştırmak
4. Koronal pulpa dokusunun (vital ya da nekrotik) hepsini çıkarmak
5. Bütün kök kanal ağızlarını bulmak
6. Apikal foramene ya da kanalın ilk eğri kısmına düz veya direkt erişim sağlamaktır.

Geçmiş dönemde giriş kaviteleri, diş tipine bağlı olarak standardize edilme eğilimindeydi. Fakat dental operasyon mikroskobu ve daha iyi aydınlatma ve büyütme sağlayan loopların kullanıma girmesiyle birlikte modern endodontik tekniklerin gelişmesi, giriş kavitelerinin artık tedavi edilen dişin mevcut pulpa odası morfolojisi tarafından belirlenmesine olanak sağlamıştır (Patel and Rhodes 2007).

2.3.1. Endodontik Giriş Kavitesinin Kanal Tedavisindeki Rolü

Kemo-mekanik önlemlerin kök kanallarına etkili bir şekilde iletilebilmesi için yeterli erişim gerekmektedir. Bu bağlamda, kanallara yeterli erişimin olmadığı durumda diğer tedavi aşamaları tehlikeye girebileceğinden dolayı, giriş kavitesi preparasyonu kök kanal tedavisinde en önemli aşamalardan birisi olarak kabul edilebilir (Pirani et al. 2014). Yetersiz giriş kavitesi preparasyonu; kök kanal sisteminin tespiti, temizlenmesini, dezenfeksiyonunu ve doldurulmasını zorlaştırabilir. Bahsedilen bu faktörlerden herhangi birinin tek başına veya bunların kombinasyonunun varlığı, tedaviden sonra enfeksiyonun devam etmesine neden olabilir. Yeteri kadar açılmış bir endodontik giriş kavitesi; başarılı bir endodontik tedavi, iatrojenik komplikasyonların önlenmesi ve apikal periodontitisin iyileşmesi için oldukça önemlidir (AL-Omiri and AL-Wahadni 2006; Wu et al. 2000).

Düz hat erişimi, tüm kanal boşluğunun iyi bir şekilde temizlenmesini sağlar ve aletin kırılma riskini azaltır (Mannan, Smallwood, and Gulabivala 2001). Koronal genişlemeye sahip olan düz bir giriş yolu, irrigasyon ajanlarının erişimini kolaylaştırır ve döner aletlerin apikal kısmının daha az duvar teması sağlayarak preparasyonuna izin verir (Patel and Rhodes 2007).

Endodontik tedavi görmüş dişler, vital dişlerle kıyaslandığında fonksiyon sırasında daha fazla kırılma riskine sahiptirler (Carter et al. 1983; Reeh, Messer, and Douglas 1989; Tamse et al. 1999; Testori, Badino, and Castagnola 1993). Endodontik giriş kavitesi hazırlığı, kalan diş maddesinin miktarını etkileyebilir (Sedgley and Messer 1992). Diş yapısının pulpa odası duvarları boyunca ve kanal ağzları etrafındaki pulpa odasının koronal olarak çıkarılması, dişin fonksiyonel yükler tarafından kırılmasına karşı direncini de zayıflatabilir (Ree and Schwartz 2010; Tang, Wu, and Smales 2010).

2.3.2. Alt 1. Büyükazı Dişinde Endodontik Giriş Kavitesi

Endodontik giriş kavitesi açılmasında belirleyici faktör, her diş grubunun kendi anatomisi ve morfolojik yapısıdır. Giriş kavitesi preparasyonunun ana hattını pulpa odasının anatomik yapısı belirler (Torabinejad M, Fouad A, and Shabahang S 2020).

Alt birinci büyük azı dişleri genellikle biri mezialde biri distalde bulunan iki ayrı köke sahiptir. Mezial kökte iki ayrı kanal ağzı vardır ve % 90 ihtimalle bu iki kanal iki ayrı foramenle sonlanırken geriye kalan olgularda kanallar birleşerek tek bir foramenle sonlanır. Distal kanal çoğunlukla tektir ve kanal ağzı böbrek şeklindedir (Alacam T. 2012).

Alt çene birinci büyük azı dişlerinde endodontik giriş kavitesi hazırlanırken üçgen şekilden ziyade köşeleri yuvarlatılmış trapezoid veya dörtgen şeklin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Klasik üçgen şekil, daha lingulde yer alan ikinci distal kanalın bulunmasını zorlaştırabilir ya da tek kanal mevcut olduğunda bu kanalın yeterli temizliğini ve şekillendirilmesini engelleyebilir (Weine FS 2003). Bu nedenle geleneksel olarak, endodontik giriş kavitesinin şeklini belirleyen diş hekiminin kararı değil, pulpa

odası tabanının anatomisi olmalı, endodontik giriş kavitesi tasarımının önceden belirlenmiş bir şekle sahip olmaması gerektiği de unutulmamalıdır (Castellucci A. 2004).

2.3.3. Geleneksel Giriş Kavitesi

Giriş kavitesi hazırlığı uzun yıllardır G. V. Black'in prensiplerine göre yapılmıştır. Bu yaklaşımın temel prensibi olan ‘koruma için genişletme’ evrensel olarak uzun yıllardır takip edilen yaklaşımdır (Kanchan Hegde et al 2018).

Geleneksel giriş kavitesi tasarımında, kök kanal eğimleri çok fazla dikkate alınarak genişletme yapılır ve dişin apikal kısmına doğrudan erişebilmek için minimum miktarda madde kaldırılması prensibi göz ardı edilir (Patel and Rhodes 2007). Geleneksel kavite tasarımındaki bu adım, gereksiz miktarda dentin kaybına yol açarak diş yapısının zayıflamasına ve bunun neticesinde de diş kırıklarına sebep olabilmektedir. Bu nedenle radiküler veya koronal dentin miktarı, kök kanal geometrisi izin verdiği ölçüde korunmaya çalışılmalıdır (AL-Omiri and AL-Wahadni 2006).

Kurondan apekse doğru düz, konik ve engelsiz bir yol sağlayacak şekilde açılan giriş kavitesi preparasyonu “geleneksel giriş kavitesi” tekniğinin temelidir. Sırasıyla;

- ✓ Okluzalden bir giriş sağlanması,
- ✓ Pulpa odasının tespiti,
- ✓ Pulpa odasının tavanının kaldırılması,
- ✓ Eğenin giriş kavitesinin kenarları ile düzgün temas etmesinin sağlanması ve
- ✓ Düz bir kanal giriş yolunun oluşturulması geleneksel giriş kavitesi preparasyonunun aşamalarıdır (Peters et al. 2008).

Geleneksel giriş kavitesi, okluzalden bakıldığında tüm kanal ağzlarının görünmesine olanak sağlar (Vertucci and Haddix 2011).

2.3.4. Minimal İnvaziv Giriş Kaviteleri

Geleneksel giriş kavitelerine alternatif olarak diş dokularını mümkün olabildiğince korumak için minimal invaziv giriş kaviteleri tanımlanmıştır. Minimal invaziv giriş kavitesi, pulpa tavanının bir kısmının ve periservikal dentinin korunmasını sağlar (Clark and J. Khademi 2010). Birtakım gelişmeler minimal invaziv yaklaşımın uygulanabilmesini mümkün kılmıştır. Bunlar gelişmeler arasında, ultra esnek Ni-Ti döner kanal aletleri, üstün aydınlatma sistemleri, görsel büyütme sistemleri, gelişmiş irrigasyon aktivasyon sistemleri ve üç boyutlu görüntüleme teknolojisi bulunmaktadır. Minimal invaziv giriş kavitesinin, çiğneme sırasında tüberküllerin esnemesini en aza indirerek yapısal destek sağladığı varsayılmaktadır (Bóveda and Kishen 2015). Minimal invaziv giriş kavitesi; bu olumlu özelliğinin dışında kök kanallarının temizlenmesini, preparasyonunu ve doldurulmasını tehlikeye sokarak yetersiz kanal preparasyonu ve işlevsel hataların oluşmasına sebebiyet verebilir (Patel and Rhodes 2007). Minimal invaziv giriş kavitesi, silindir ve fissür gibi fazla doku kaldırmaya müsait frezler yerine daha minimal doku kaldıracak şekilde tasarlanmış oldukça küçük rond frezler kullanılarak, kavite duvarları pulpal tabandan okluzal yüzeye doğru konverjan olacak şekilde hazırlanmaktadır (Clark and J. A. Khademi 2010).

2.3.4.1. Konservatif Endodontik Giriş Kavitesi

Konservatif endodontik kavitesi (KEK) hazırlığı ile kök kanal tedavisinin yapılması fikri, Clark ve Khademi tarafından savunulmuştur. KEK kavramı “minimal invaziv diş hekimliği” uygulaması ile tutarlıdır. Adeziv diş hekimliğindeki ilerlemelerle, geleneksel kavramlara meydan okunmuştur ve bugün birçok diş hekimi, geçmişte savunulandan daha çok minimal kavite preparasyonları hazırlamaya başlamıştır. Konservatif endodontik kavite (KEK); “straight line” erişim şeklinden ve geleneksel giriş kavitesinde yer alan pulpa odasının ve tavanının tamamen kaldırılması kuralından farklı olarak, diş yapısının korunması gerektiğini vurgulamaktadır. KEK; tüm kanal ağzlarının bulunmasını, kök

kanallarından pulpa dokularının temizlenebilmesini ve minimum miktarda diş yapısı kaldırarak iyatrojenik hatalardan kaçınılmasını sağlayan giriş kavitesi hazırlığıdır (Clark, Khademi, and Herbranson 2013).

Geleneksel endodontik kavitenin (GEK) aksine konservatif endodontik kavite (KEK) hazırlığı, periservikal dentin (PSD) gibi diş yapılarını koruyabilen minimal invaziv bir prosedürdür (Clark and J. Khademi 2010; Krishan et al. 2014). Dişte boyun görevi gören ve diş içindeki fonksiyonel ve mekanik streslerin dağılımından sorumlu olan alveolar kretin 4 mm altında ve 4 mm yukarısında bulunan dentin yapısı yani PSD, uzun süreli sağkalımdan sorumlu en önemli diş yapısı olarak kabul edilir (A Asundi and Kishen 2000; Anand Asundi and Kishen 2000).

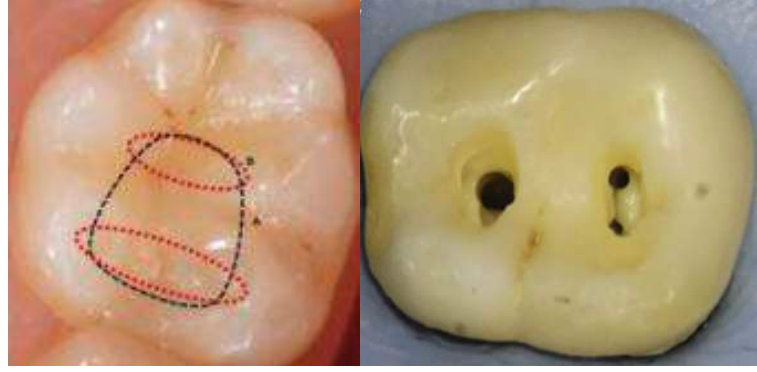
Konservatif giriş kavitesi preparasyonu hazırlanırken kesin kurallar yoktur. Amaç, mümkün olduğunca diş dokusunu koruyarak kanal ağzlarını bulmaktır. Bu kavite tasarımı için premolar dişlerde santral fossaya 1 mm bukkalden olacak şekilde giriş sağlanır. Pulpa odasının tavanının bir kısmı ile lingual sırt korunarak kavite preparasyonu tamamlanır. Molar dişlerde ise santral fossanın mezial çeyreğinden giriş sağlanırken, pulpa odasının tavanı mümkün olduğunca korunmaya çalışılır. Preparasyon yalnızca kanal ağzları tespit edilene kadar apikal ve distale doğru genişletilerek tamamlanır. Geleneksel giriş kavitesi preparasyonundan farklı olarak giriş açısı 45° eğimlidir (Clark and J. Khademi 2010).

Yapılan bir çalışmada sert diş dokusunu korumanın, servikal bölgedeki stres konsantrasyonunu önemli ölçüde azalttığı ve dentinin nihai kırık direncini arttırdığı gösterilmiştir (Zhang et al. 2019). Başka bir çalışma, konservatif kavitenin kesici dişlerde, küçük azı dişlerinde ve azı dişlerinde koronal dentinin korunmasını sağladığı ve azı dişlerinde ve küçük azı dişlerinde kırılmaya karşı direnci artırdığı, ancak azı dişlerinin distal kanallarında kanal enstrümantasyonunun etkinliğini tehlikeye attığı bildirilmiştir (Krishan et al. 2014).

2.3.4.2. Truss Endodontik Kavite

Clark ve Khademi, daraltılmış endodontik kavite tasarımı ile yeni bir yaklaşım gösterdi. Bu teknik PSD'yi korur ve pulpa odasının tamamen kaldırılmasının önemli olmadığını varsayar (Clark and J. A. Khademi 2010; Clark and J. Khademi 2010). Daraltılmış endodontik kavite tasarımı daha da geliştirilerek üst ve alt dişlerdeki kanallara yönlendirilen ayrı kavitelerin hazırlandığı "truss (köprü) " giriş kavitesi adı verilen, kanal ağzlarına yönelik bir tasarım yaklaşımı olarak da uygulanmıştır (Krishan et al. 2014). Truss endodontik kavite (TREK) tasarımında çok köklü dişlerin her kökünde kanal ağzına/ağızlarına ulaşmak için hazırlanmış iki veya daha fazla küçük kavite arasındaki dentin köprüsünü korumak amaçlanmaktadır. Örneğin mandibular dişlerde kaviteler, bilgisayarlı tomografik görüntülere göre yönlendirilerek sırasıyla mezial ve distal kanallar üzerinde hazırlanır. Mezial ve distal kaviteler arasında kaldırılmadan bırakılan diş yapısı altındaki pulpa odası çatısı korunur (Şekil 1) (Neelakantan et al. 2018).

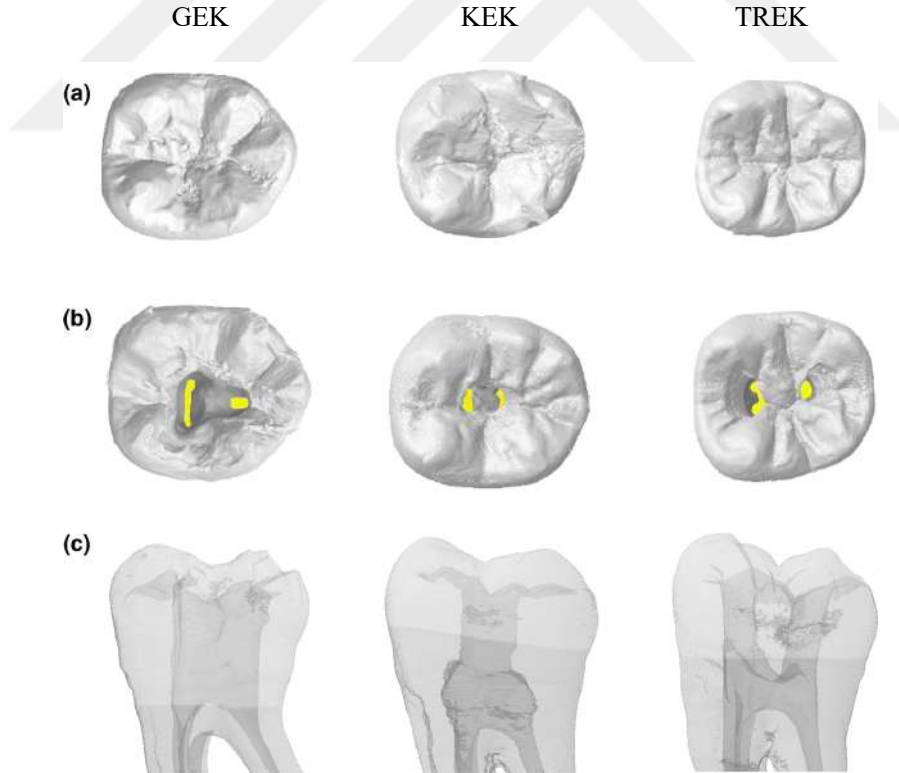
GEK'de endodontik giriş kavitesi, kanallara daha kolay ulaşılmasını sağlamak için düz hatlı bir erişim tasarımına sahiptir. Bu nedenle çalışmalar, GEK'in truss kavite tasarımı ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha yüksek diş hasarına sahip olduğunu göstermiştir (Bóveda and Kishen 2015; Bürklein and Schäfer 2015). Bununla birlikte, TREK tasarımı pulpa odasındaki nekrotik veya vital dokuların uzaklaştırılmasını ve kavitenin temizliğini önemli ölçüde bozmuştur (Corsentino et al. 2018). TREK tasarımlarının birincil amacı, hazırlanan iki kavite arasında bir dentin köprüsünün bırakılması gibi stratejik dentini korumaktır (Bassir, Labibzadeh, and Mollaverdi 2013; muni 2020).



A

B

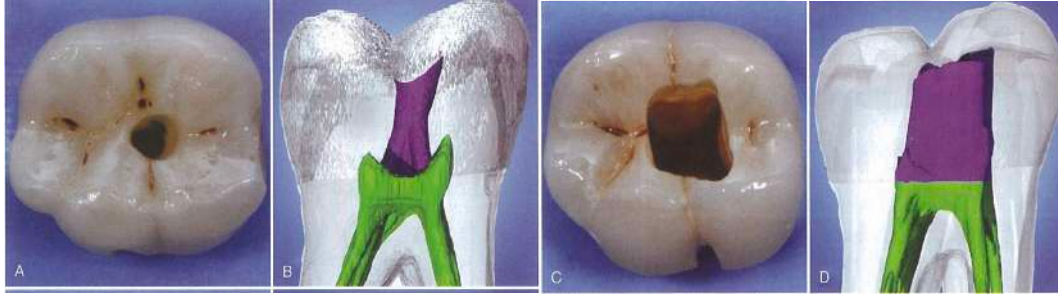
Şekil 1. Mandibular Birinci Molardaki Geleneksel ve Truss Giriş Kavitesi Sınırları.
A; Siyah Noktalı Çizgi:Geleneksel Kavite Sınırları, Kırmızı Noktalı Çizgi:Truss Kavite Sınırları Şematik Bir Temsili. (Anjum et al. 2019)
B; Truss Giriş Kavitesi Preparasyonunda Kanal Ağzları (Santosh, Ballal, and Natanasabapathy 2021)



Şekil 2. GEK, KEK, TREK Tasarımlarının a,b; Okluzal ve c; Sagittal Micro-CT Görüntüleri (Barbosa et al. 2020)

2.3.4.3. Ninja Endodontik Kavite

Ninja Endodontik Kavite (NEK) tasarımları, giriş kavitesi hazırlığında ultra konservatif bir yaklaşım olarak geliştirilmiştir (Roperto et al. 2019). NEK, pulpa odası tavanının maksimum düzeyde korunması için küçük frezlerle gerçekleştirilen küçük bir giriş kavitesi ile karakterize edilir (Plotino et al. 2017; A. A. Silva et al. 2020). Bir NEK aslında oklüzal yüzeyde bir KEK için açılmış olandan daha da küçük bir giriş kavitesidir ve klinisyenin kanalların tüm açıklıklarını bulmasını ve bunlara erişmesini sağlar (Maqbool et al. 2020). Ön dişlerde kronun lingual tarafında harabiyet veya derin içbükeylik olduğunda giriş dişin uzun eksenine paralel olarak insizal kenarın ortasından yapılabilir (E. J. N. L. Silva et al. 2020). Bu teknik, endodontik tedavi görmüş dişlerin kırılma direncini artırabilir (Belograd M. 2014).

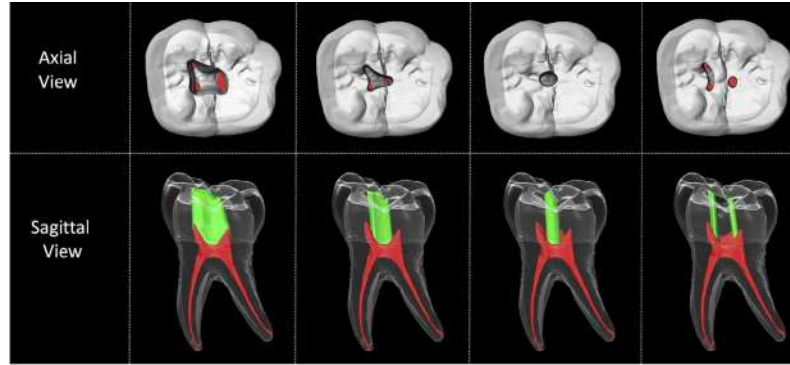


Şekil 3. Minimal İnvaziv ve Geleneksel Giriş Kavitelerinin Fotoğrafi ve Micro-CT Görüntüleri.

A, Minimal invaziv giriş kavitesi dış hatlarını gösteren bir mandibular büyük azının fotoğrafı.

B, Minimal invaziv giriş kavitesi yolunu gösteren bir μ BT rekonstrüksiyonunun sagittal görünümü.

C, Geleneksel giriş kavitesi dış hatlarını gösteren bir mandibular büyük azının fotoğrafı. D, Geleneksel giriş kavitesi yolunu gösteren bir μ BT cekonstrüksiyonunun sagittal görünümü (Marchesan et al. 2018).



Şekil 4. Mandibular birinci molar dişin geleneksel, konservatif ve ultrakonservatif giriş boşluğu hazırlıklarını gösteren mikro bilgisayarlı tomografik çizimi.
(Yeşil alanlar kavite hazırlığı sırasında çıkarılan diş yapısını temsil etmektedir)
(Shabbir et al. 2021).

2.4. Kök Kanal Şekillendirmesi ve Amaçları

Kök kanallarının şekillendirilmesi endodontik tedavinin en önemli aşamalarından bir tanesidir. Çünkü amacı pulpa dokusunun, mikroorganizmaların ve debrisin uzaklaştırılmasının yanında etkili bir irrigasyon ve tıkaçlamanın yapılabilmesidir (Anon 2006; Peters 2004). Kök kanalı şekillendirme işlemlerinin amacı enfekte olan yumuşak ve sert dokuları kaldırmak, irrigasyon solüsyonlarının kanal boşluğuna ulaşmasını sağlamak, kanal içi kullanılan medikamentler ve kanal dolum maddeleri için yeterli boşluk oluşturmak ve kök kanal bütünlüğünün korunmasını sağlamaktır (Schilder H. 1974). Schilder gutta-perka ile yapılan dolum tekniklerinin kullanılabilmesi için kanal şeklinin sahip olması gereken özellikleri aşağıdaki gibi belirtmiştir:

- ✓ Kanal, apikalden koronale kadar devamlı genişleyen konik şeklinde olmalıdır.
- ✓ Kanalın çapı, kanal girişinden apikale doğru her noktada daha dar olmalıdır.
- ✓ Kanalın orijinal şekli korunmalıdır.
- ✓ Apikal foramen orijinal pozisyonunda kalmalıdır.

- ✓ Apikal foramen olabildiğince küçük olmalıdır (Schilder H. 1974).

Kök kanal preparasyonunun ana hedefleri, periradiküler hastalığın önlenmesi ve/veya hastalığın iyileşmesinin teşvik edilmesidir. Kök kanal preparasyonunun mekanik hedefleri; (Hülsmann et al. 2005)

- ✓ Kök kanallarındaki vital ve nekrotik doku artıklarının çıkarılması,
- ✓ İrrigasyon solüsyonları ve medikament uygulanabilmesi için gerekli boşluğun oluşturulması,
- ✓ Kök kanal anatomisinin orijinal formuna uygun preparasyon yapılması,
- ✓ Preparasyon sırasında iatrojenik hatalardan kaçınılması
- ✓ Kök kanal dolumu için uygun boşluğun hazırlanması
- ✓ Dişin uzun süreli ağızda fonksiyonunu devam ettirmesi için dentin dokusunun mümkün olduğunca korunmasıdır.

2.5. Kök Kanallarının Şekillendirilmesinde Kullanılan Aletlerin Gelişimi

Kök kanal aletleri, ilk zamanlarda karbon-çelik alaşımlardan üretilmiştir. Ancak karbon-çelik alaşımlar düşük korozyon direncine sahip olduğu için kimyasallar (iyodin, klorin gibi) ve buhar sterilizasyonu bu aletlerde korozyona neden olmuştur. Bu sebepten dolayı kanal aletlerinin üretiminde paslanmaz çelik alaşımlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu durum, kanal aletlerinin kalitesini önemli ölçüde arttırmıştır (Al-Omarı, Dummer, and Newcombe 1992).

Geleneksel paslanmaz çelik kullanılarak Reamer, K-eğ ve Hedström eğ olmak üzere üç farklı tipte eğ üretilmiştir. Reamerlar, düz kanallarda yuvarlak ve açılı bir preparasyon oluştururken, eğri kanalların genişletilmesinde transportasyona ve düzleşmeye neden olmaktadır (Schäfer 1997).

1915 yılında ilk kez kullanılan K eğler, kare veya üçgen kesitli paslanmaz çelik telin bükülmesiyle ve torna-taşılama işlemiyle üretilmişlerdir. Üçgen kesitli eğlerin kare kesitli eğlerden daha esnek oldukları görülmektedir. Esneklik ve kesme yeteneklerinin

yüksek olmasından dolayı kanalda daha az transportasyona neden olmaktadırlar. Hedström eğeler, yuvarlak kesitli çubuğun makine ile kesilmesiyle oluşturulmuştur. Konik kesici kenarları dentine dik açı yaptığından çekme hareketiyle etkili şekilde kesebilmektedir. (Hülsmann, Schade, and Schäfers 2001; Pitt Ford, Pitt Ford, and Rhodes 2002). Bu üç değişik alet tipinin arasındaki temel fark, kesici kenarlarının aletin uzun aksıyla yaptığı heliks açısıdır. Bu açı, aletlerin etkili oldukları çalışma hareketlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Reamerların kesici kenarları ile uzun aksları arasındaki açı yaklaşık 10° - 30° iken, K-eğelerde bu açı yaklaşık 25° - 40° , Hedström eğelerde 60° - 65° 'dir. Bu yüzden reamer ve K-eğeler rotasyon hareketi ile Hedström eğeler ise çevresel eğeleme hareketiyle kullanılmaktadır (Schäfer 1997).

Paslanmaz çelik eğelerin, alet numarası arttıkça sertliği de artmaktadır. Eğimli bir kök kanalı şekillendirilirken, özellikle eğeleme hareketi yapıldığında alet esnek olmayışından dolayı orjinal şekline geri dönmeye çalışır. Bundan dolayı, eğimli kanallarda şekillendirme yaparken aletlere ön eğim verilmelidir. Çok sert olan bir alet, dış kenarda iç kenardan daha fazla kesim yapacağından dolayı eğim düzleşecektir (Thompson 2000). Eğri kök kanallarının şekillendirilmesinde bu tür istenmeyen değişiklikleri azaltmak amacıyla daha esnek kök kanal aletlerinin üretilmesi gündeme gelmiştir (Tepel, Schäfer, and Hoppe 1997). Esnekliği arttırmak için, geleneksel paslanmaz çelik eğelerin modifiye edilmesiyle yeni alaşımlar kullanılmaya başlanmıştır (Schäfer 1997).

Eğri kanalların şekillendirilmesinde geleneksel paslanmaz çeliğin modifiye alaşımlarından üretilen ve geometrik şekilleri değiştirilen aletlerin daha başarılı olduğu gösterilse de işlem süresinin uzunluğu ve şekillendirme sırasında kanalda sapmaların meydana gelmesi alet yapımında farklı alaşımların kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Ingle II 2001). Böylece, Ni-Ti eğeler endodonti literatürüne girmiştir Ni-Ti kanal aletleri ilk olarak 1980'lerin sonunda üretilmiştir. Başlangıçta el eğesi olarak üretilen bu kanal aletlerinin kullanımıyla beklenen klinik başarı elde edilememiştir. Ancak daha

sonra Ni-Ti'nin alaşım özellikleri sayesinde, döner eğe sistemlerinde kullanılması düşünülmüştür (Willey and Senia 1989).

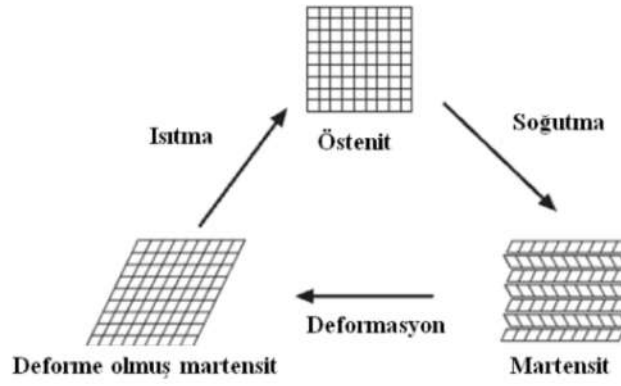
Ni-Ti alaşımından üretilen eğeler, son derece esnek ve elastiktir (Thompson 2000). Ni-Ti döner eğeleri, paslanmaz elik aletlere bağlı iatrojenik şekillendirme komplikasyonlarını ortadan kaldırmıştır. Ni-Ti döner eğelerinin piyasaya sürülmesinden bu zamana kadar, alet tasarımı önemli ölçüde değiştirilmiştir ve üretiminde olduğu gibi alaşımında da ilerleme kaydedilmiştir. 1990'ların başından beri pek çok Ni-Ti döner eğe sistemi, endodonti pratiğinde kullanılmaktadır (Cohen and Hargreaves 2006).

2.5.1. Nikel Titanyum Alaşımların Genel zellikleri

Nikel-titanyum alaşımı 1960'ların başında metalurji uzmanı William J. Buehler tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan Naval Ordnance Laboratuvarı'ndaki bir uzay araştırma programı için tuza karşı dayanıklı, su geçirmeyen ve manyetik olmayan bir alaşım olarak geliştirilmiştir. Bu alaşıma, nikel ve titanyum elementlerinin ilk heceleri olan "Nİ" ve "Tİ" ile keşfedildiği yer olan "Naval Ordnance Laboratory"un ilk harfleri olan "NOL" un birleştirilmesiyle oluşturulan NİTİNOL adı verilmiştir (Buehler, Gilfrich, and Wiley 1963).

Endodontik eğelerde kullanılan NiTi alaşımları, %56 nikel ve %44 titanyum içermektedir ve 55-Nitinol olarak adlandırılmıştır. Neredeyse aynı miktarda nikel ve titanyum oranına sahiptirler. Östenit, Martensit ve R-fazı olmak üzere üç farklı mikroyapısal faz içeren çeşitli kristalografik formlarda bulunurlar (Thompson 2000).

NiTi eğeler, sıcaklık ve stres ile atomik bağlanma türlerini değiştirme konusunda doğal bir yeteneğe sahiptir. Bu da östenitik fazdan martensitik faza geçerken, mekanik özellikler ve kristalografik düzenlemede önemli değişikliklere neden olur (şekil 5) (Thompson 2000).



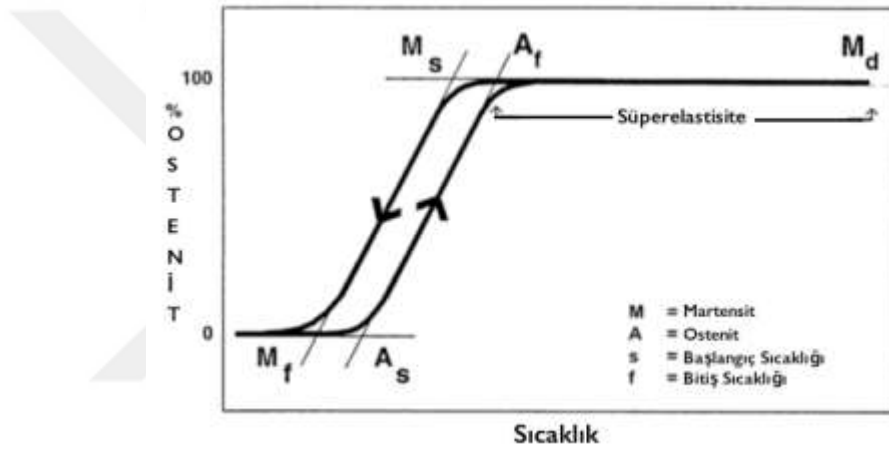
Şekil 5. NiTi alaşımanın faz dönüşümü

NiTi alaşımanın yüksek sıcaklık aralıklarındaki (100°C) kristal yapısı stabil, gövde merkezli kübik bir kafes şeklindedir. Bu yapı *östenitik faz* veya *ana faz* olarak adlandırılır. Nitinol, kritik bir dönüşüm sıcaklığı aralığında (TTR) soğutulduğunda, alaşımanın elektron bağlanmasındaki farklılıklar sonucu elastisite modülünde (rijitlik), akma dayanımında ve elektriksel direncinde önemli değişiklikler meydana gelir. Bu da kristal yapıda martensitik dönüşüm olarak adlandırılan değişikliğe sebep olur (Şekil 6). Bu dönüşümün başladığı sıcaklık martensitik dönüşüm başlangıç sıcaklığı (M_s), tamamlandığı sıcaklık ise martensitik dönüşüm bitiş sıcaklığı (M_f) olarak adlandırılır (Thompson 2000). Bu fenomen, alaşımanın fiziksel özelliklerinde değişikliğe sebep olur ve alaşım şekil hafızası özelliği kazanır (Wang, Pickart, and Alperin 1972).

NiTi alaşımasının indüklenmesiyle sıkıştırılmış hegzagonal bir kafes şeklindeki twinned martensit yapısı oluşur. Bu faz *martensitik faz* veya *yavru faz* olarak adlandırılır. Alaşıma dışarıdan bir kuvvet uygulanmadığı sürece makroskopik şekil değişikliği gözlenmez. Ni-Ti alaşımı, martensit yapıda östenit yapıya göre daha esnek olup daha kolay şekillendirilir. Martensit yapı deforme edildiği zaman de-twinned martensit formuna dönüşür (Thompson 2000).

Deformasyon, alaşımanın orijinal ana faza geri döndüren dönüşüm sıcaklığı aralığının üzerinde ısıtılmasıyla tersine çevrilir. Bu yeteneğe *şekil hafızası* denir (Şekil 6). Bu yetenek,

eğeleri 125°C'nin üstünde ısıtmak suretiyle oluşabilecek herhangi bir deformasyonun giderilmesini sağlar. Bu olayın başladığı sıcaklığa östenitik dönüşüm başlangıç sıcaklığı (A_s), tamamlandığı sıcaklığa ise östenitik dönüşüm bitiş sıcaklığı (A_f) denilmektedir. Alaşım östenitik dönüşüm bitiş sıcaklığı üzerinde şekil hafızası dönüşümünü tamamlamış olur ve süperelastik özellik gösterir (Şekil 6). Sonuç olarak, martensitik yapıdaki NiTi alaşımı ısıtıldığı zaman östenitik yapıya, östenitik yapıdaki NiTi alaşımı soğutulduğu zaman martensitik yapıya dönüşmeye başlar (Shen et al. 2013).

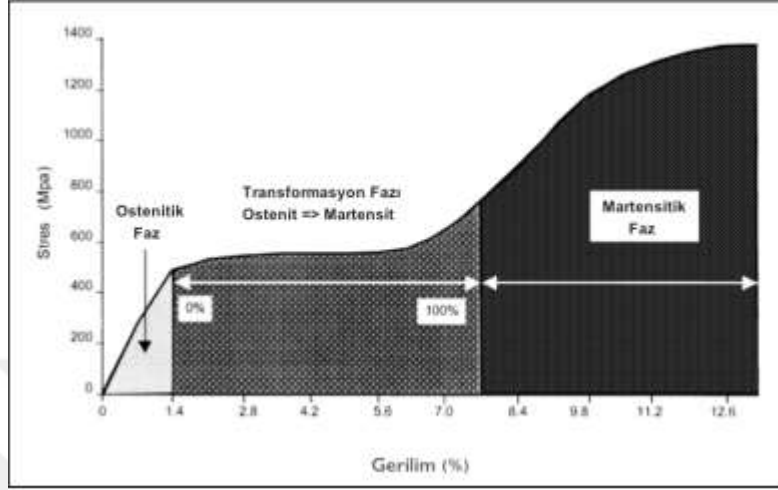


Şekil 6. NiTi alaşımının dönüşüm sıcaklıkları

Östenitik fazdan martensitik faza geçiş, ayrıca kök kanal preparasyonu sırasında oluşan stresin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Stres, gerilimi arttırmadan kritik seviyeyi aştığında ve ortam sıcaklığı materyalin östenitik dönüşüm bitiş sıcaklığının üzerinde olduğunda süperelastisite ile ilişkilendirilir (Özyürek 2016; Uygun et al. 2016). Süperelastisite aynı zamanda eğelerin deformasyona uğramadan orijinal şekillerine dönmeleridir. Ayrıca süperelastisite ve şekil hafızası sayesinde, orijinal kanal kurvatürü korunur ve konik bir kök kanal şekli oluşturulmuş olur (Elnaghy 2014).

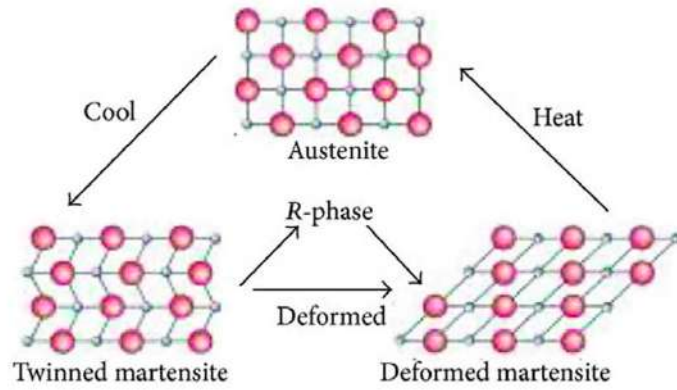
Birçok metalde dışarıdan uygulanan kuvvet belirli bir seviyeyi aştığında alaşımın kafes yapısı içinde mekanik bir kayma meydana gelir ve alaşımda kalıcı deformasyon oluşur. Fakat NiTi alaşımlarda mekanik kaymadan ziyade gerilimin neden olduğu stres

indükleyici martensitik dönüşüm (SIM) meydana gelmektedir. Uygulanan kuvvet ortadan kalkınca materyal yine orijinal şekline, yani östenitik faza geri döner (Şekil 7) (Thompson 2000).



Şekil 7. Stres indükleyici martensitik dönüşüm

R fazı ise rombohedral (eşkenar dörtgen) yapıya sahip bir ara fazdır. Isıtma ile martensitten östenite hızlandırılmış dönüşüm ve soğutma ile östenitten martensite ters dönüşüm sırasında oluşur (Şekil 8). Bu faz, Ni-Ti alaşımlarda sıcaklığa bağlı veya stres kaynaklı oluşabilir. R fazındaki alaşımların young modülleri östenitik fazdaki alaşımlardan daha düşük olduğu için süperelastisite ve şekil hafızası özellikleri daha iyidir (Cheung and Darvell 2007; Gambarini, Gerosa, et al. 2008; Gambarini, Grande, et al. 2008).



Şekil 8. Ara faz (R Fazı)

2.5.2. Endodontide Kullanılan NiTi Alaşımları

Geleneksel NiTi alaşımından üretilmiş süperelastisite özelliğine sahip endodontik aletler kök kanallarının şekillendirilmesinde paslanmaz çelik aletlere göre birçok avantaja sahiptirler. Ancak bu aletlerde klinik kullanım sırasında, torsiyonel kırılma veya fleksürel kırılma meydana gelebilmektedir. Bu sorunu en aza indirmek için yıllar içinde farklı geometrik tasarımlara sahip ve farklı mekanik özelliklerdeki NiTi aletler piyasaya sürülmüştür (Zupanc, Vahdat-Pajouh, and Schäfer 2018).

2.5.2.1. Geleneksel NiTi Alaşımı

Geleneksel NiTi alaşımından üretilen endodontik aletler, NiTi telinin bükülmesinden ziyade bu telin makinede kesilmesiyle üretilirler. Kesme işlemi sırasında alet yüzeyinde düzensizliklerin oluşabileceği ve bu düzensizlikler nedeniyle aletin kırılma direnci, kesme etkinliği gibi özelliklerinin olumsuz yönde etkilenebileceği bildirilmiştir (Işık V. 2020).

2.5.2.2. M-Wire Alaşımı

M-wire alaşımı NiTi alaşımdan üretilen bir telin ısıtılma prosedürlerinden geçirilmesiyle elde edilir (Gambarini et al. 2011). M-Wire'in östenit dönüşüm sıcaklığı, geleneksel NiTi alaşımının A_f sıcaklığı ve vücut sıcaklığının üzerinde olacak şekilde 43-50°C'dir. Buna bağlı olarak M-Wire klinik koşullarında tamamen östenitten oluşmamaktadır. M-Wire vücut sıcaklığında başlıca östenit faz olmak üzere daha az miktarda martensit ve R-fazında da bulunur. Bu sayede M-Wire süperelastisite özelliğini korur. M-Wire'in ısısal genleşme ve büzülme katsayıları geleneksel NiTi alaşımından daha yüksektir (Pereira et al. 2013). M-Wire'in stres-gerinim eğrisinin karakteristik bir elastik-plastik değişim (akma) fenomeni gösterdiği bulunmuştur (Pereira et al. 2012). Buna göre stres uygulanmasıyla martensit faz oluşumundan önce R fazı oluşur. Sonuç olarak, M-Wire'in elastisite modülü geleneksel NiTi alaşımından düşüktür (Zupanc et al. 2018).

M-Wire alaşımından üretilen eğelere örnek olarak; Protaper Next, ProFile Vortex Wave One (Dentsply) ve Reciproc (VDW) eğe sistemleri verilebilir (Gambarini et al. 2011).

2.5.2.3. R Fazı Alaşımı

2008 yılında SybronEndo (Orange, CA, ABD) tarafından özel bir üretim tekniği geliştirilmiştir ve bu teknikle Twisted File döner aletleri üretilmiştir. Twisted File aletinin üretim aşaması üç yeni yöntem içerir. Bunlar; NiTi alaşımına ısısıl işlem uygulanarak R faza getirilmesi, metal telin bükülmesi ve özel bir yüzey kaplaması uygulanmasıdır (Larsen et al. 2009).

Alaşım R fazında iken NiTi telinin bükülmesiyle döner aletler üretilmiş, bu üretim aşamasını takiben ek ısıl işlem uygulamasıyla döner aletlerin östenit faza getirilmesi sağlanmıştır. R fazında plastik deformasyon oluşturmak için daha az stres gerekmekte ve bu sayede R fazındaki tel, bükme işlemiyle şekillendirilebilir (Hou et al. 2011). Daha sonraki yıllarda aynı üretici firma tarafından K3XF döner alet sistemi piyasaya srlmştir. Twisted File'dan farklı olarak, geleneksel NiTi aletleri gibi makinede işlenerek üretilmektedir ve bu işlemin ardından R-fazı ısıl işlemine tabi tutulmaktadır. R fazının östenite dönüşüm sıcaklığı (A_f), 18–25°C'dır. Buna göre bu aletler ağız ortamında çoğunlukla östenit formda bulunmaktadırlar.

Çeşitli alışmalarda, R-fazının dönme yorgunluğu direncinin (Gambarini, Grande, et al. 2008; Kim et al. 2010; Larsen et al. 2009; Pedull et al. 2011) ve elastisitesinin (Gambarini, Gerosa, et al. 2008) , ısısıl işlem uygulanmamış geleneksel NiTi alaşımına göre daha üstün olduğu gösterilmektedir. Artırılmış esneklik özelliği sayesinde, R fazındaki aletlerin kullanımı, geleneksel NiTi döner alet sistemlerine göre daha sentrik bir kanal preperasyonu yapılabilmesini sağlarken transportasyon riskini azaltmaktadır (El Batouty and Elmallah 2011). R fazı aletlerinin dönme yorgunluğu direnci M-Wire'la benzer

olduğunu belirten çalışmalar olduğu gibi, R fazının dönme yorgunluğu direncinin daha yüksek olduğunu belirten çalışmalar da vardır (Bouska et al. 2012).

2.5.2.4. Kontrollü Hafıza (CM Wire) Ni-Ti Alaşımlar

CM-Wire NiTi alaşımlar hem oda sıcaklığında hem de vücut sıcaklığında süperelastisite özelliği göstermeyen termomekanik işlem görmüş ilk NiTi endodontik alaşımıdır (Zhou et al. 2012). CM Wire alaşımların oda koşullarında martensit fazda bulunması sebebiyle bu aletler geleneksel NiTi aletlere göre kolayca deforme olurlar. Martensit fazda olmalarının getirdiği diğer sonuçlar olarak daha esnek olmaları ve döngüsel yorgunluğa karşı daha yüksek direnç göstermeleri beklenmektedir. CM Wire, içinde bulundurduğu fazların oranları sayesinde şekil hafızası özelliği göstermemektedir. Buna bağlı olarak CM Wire'dan üretilmiş aletler eğimli kök kanallarının şekillendirilmesi esnasında tamamen düzleşmezler ve aletler ön büküm verilerek kullanılabilir. Bundan dolayı daha az kanal transportasyonu ve daha fazla merkezleme yeteneği gösterirler. Bu aletler A_f sıcaklıklarının ($47-55^{\circ}\text{C}$) üzerine çıkarıldıklarında orijinal şekillerine dönmektedirler (Shen et al. 2011).

2.5.2.5. Gold ve Blue Isıl İşlem Alaşımları

2011'de Dentsply Tulsa Dental (Tulsa, OK, ABD) tarafından geliştirilen ProFile Vortex Blue, karakteristik mavi rengiyle dikkat çekmiştir (Zupanc et al. 2018).

Bu aletler makinede kesilerek üretildikten sonra bir dizi ısıtma ve soğutmayı içeren termal işleme maruz bırakılmaktadırlar. Uygulanan bu özel teknoloji nedeniyle yüzeyleri, farklı renge sahip olmalarına sebep olan titanyum oksit tabakası ile kaplanmaktadır. Blue olarak tanımlanan NiTi alaşımında titanyum oksit tabakası 60-80 nm kalındığında iken Gold alaşımında bu tabakanın kalınlığı 100-140 nm'dir (Zupanc et al. 2018). Günümüzde birden fazla Gold ve Blue ısıl işlem görmüş NiTi sistemi bulunmaktadır. Bunlardan rotasyon ile kullanılan ProFile Vortex Blue, ProTaper Gold (Dentsply Sirona Endodontics), resiprokasyon ile kullanılan Reciproc Blue VDW, WaveOne Gold (Dentsply Sirona

Endodontics) eğeleridir. Bu aletler de şekil hafızası özelliği gösterirler ve deforme olabilmektedirler (Plotino et al. 2014). CM-Wire ile Gold ve Blue arasındaki esas fark, Gold ve Blue aletlerin özel ısısal işleminden geçmeden önce işlenmeleridir (Pereira et al. 2015).

2.5.2.6. Max Wire Alaşımı

Yakın zamanda, FKG Dentaire özel termomekanik işlemlerle işlenmiş bir NiTi alaşımı olan MaxWire'ı piyasaya sürmüştür. Bu alaşım, şekil hafızası ve süperelastisite özelliğini klinik uygulamada bir arada içeren ilk endodontik NiTi alaşımı olma özelliğini taşımaktadır. Günümüzde MaxWire'dan üretilmiş iki adet alet bulunmaktadır. Bunlar XP-endo Shaper ve XP-endo Finisher (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre) eğeleridir. Oda sıcaklığında martensit fazda iken nispeten daha düz olan aletler, kanal içerisinde östenit faz dönüşümü göstererek daha eğimli bir şekil almaktadırlar. Buna göre, bu aletler kanal içerisine yerleştirildiklerinde şekil hafızası özelliği ve preperasyon esnasında süperelastisite özelliği taşımaktadırlar. Eğimli şeklinin kompleks morfolojilere sahip kök kanallarının preperasyonunun yapılmasını ve kanal düzensizliklerine uyum sağladığı varsayılmaktadır (Zupanc et al. 2018).

2.5.2.7. Elektriksel Deşarj İşlemi (EDM)

2016 yılında piyasaya sürülen başka bir alaşım üretim sistemi de mühendislikte sıklıkla kullanılan 'spark-erozyon' teknolojisini kullanan elektriksel deşarj işleme (electrical discharge machining-EDM) sistemidir. Bu sisteme örnek olarak Hyflex EDM (Coltene) verilebilir (Gavini et al. 2018; Zanza et al. 2021). Bu sistemde iletken bir sıvı ile kontrollü elektrik akımı sayesinde alaşımda temassız bir termal erozyon oluşur. Bu işlemle metalin üzerinde erime alanları oluşur ve bazı bölümler buharlaşır. Daha sonra bir dizi ısı ve mekanik işlemle döngüsel yorgunluk direnci arttırılmış bir alaşım elde edilir (Iacono et al. 2017; Pedullà et al. 2016).

2.5.2.8. T-Wire ve C-Wire Alaşımları

MicroMega (Besancon, Fransa) firması tarafından T-Wire ve C-Wire olarak tanımlanan ısıl işlem görmüş NiTi alaşımından üretilmiş aletler piyasaya sürülmüştür. T-Wire alaşımından üretilen 2Shape (MicroMega, Besancon, Fransa) aletlerinin kırılmaya karşı direncinin, ısıl işlem görmemiş alaşımdan üretilen aletlere göre %40 arttığı iddia edilmektedir. OneCurve (MicroMega, Besancon, Fransa) döner aletleri ise, C-Wire alaşımından üretilmiş olup üretici firma tarafından alaşıma uygulanmış olan özel ısıl işlem sayesinde şekil hafızasının kontrol edilebildiğı belirtilmiştir (Işık V. 2020).

2.5.2.9. FireWire Alaşımı

EdgeEndo (Albuquerque, New Mexico, ABD) firması tarafından 2015 yılında FireWire adı verilen termomekanik olarak işlenmiş yeni bir NiTi alaşımı piyasaya sürülmüştür. Bir dizi ısıtma ve soğutma işlemlerini kapsayan bu üretim aşaması sonucunda alaşımın daha esnek hale geldiğı ve NiTi alaşımının doğal olarak bünyesinde bulunan şekil hafızası özelliğinin azaltıldığı iddia edilmektedir (Işık V. 2020).

2.5.3. NiTi Döner Eğı Sistemleri

Endodonti pratiğinde 1990'lardan beri kullanılan NiTi döner eğı sistemleri, günümüze kadar fonksiyon ve tasarım özelliklerine göre sürekli değışim göstermiş olup bu özelliklerine göre 5 jenerasyona ayrılmaktadır (Haapasalo and Shen 2013).

2.5.3.1. Birinci Jenerasyon Eğıler

1992 yılında Dr. John McSpadden tarafından ilk 0.02 konikliğe sahip Ni-Ti döner eğılerin piyasaya sürülmesiyle diş hekimlerinin preparasyona bakış açıları değışmiştir. Bununla birlikte eğı kırılması ile ilgili problemlerde soru işaretleri oluşturmuştur. Dr. Johnson 1994 yılında, 0.04 konikliğe sahip ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) serisini tanıtmıştır. Bu gelişmeyi takiben ProFile 0.06 serisi ve Orifice Shaper piyasaya sürülmüştür. Birinci jenerasyondaki Ni-Ti döner alet sistemleri ile istenilen kök kanal şekline ulaşmak için çok sayıda eğıye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu jenerasyondaki

döner alet sistemleri, nötr ya da hafif negatif kesme açısına sahiptirler. LightSpeed (Lightspeed Technology Inc., San Antonio, Teksas, ABD), Quantec (Analytic Endodontics, Meksika) ve Greater Taper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) bu jenerasyondaki döner alet sistemleridir (Haapasalo and Shen 2013).

2.5.3.2. İkinci Jenerasyon Eğeler

1990'lı yılların sonunda piyasaya sürülen bu döner alet sistemleri pozitif kesme açısı ve arttırılmış kesme etkinliğine sahiptir. Eğelerin kanal içerisinde sıkışmasını ve vidalama etkisini azaltmak için sabit koniklik açısına sahip Ni-Ti eğelerin kanal dentini ile temas noktaları azaltılmıştır. Kök kanallarının şekillendirilmesi için alet sayısı azaltılan bu sistemler arasında ProTaper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre), K3 (SybronEndo, Orange, Kaliforniya, ABD), Endosequence (Brasseler, Savannah, Georgia, ABD) ve BioRace (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre) bulunmaktadır (Haapasalo and Shen 2013).

2.5.3.3. Üçüncü Jenerasyon Eğeler

Bu jenerasyonun belirleyici özelliği Ni-Ti alaşımındaki gelişmelerdir. Eğelerin yorulma dirençlerini etkileyen en temel yaklaşım ısıtma işlemidir. 2007'den beri, Ni-Ti alaşımların mikroyapısını iyileştirmek için birkaç yeni termomekanik işlem ve üretim teknolojisi geliştirilmiştir. M-Wire, CM-Wire ve R fazından geliştirilen bu eğeler, endodonti alanında kullanılmaya başlanmış ve esneklik özellikleri ile ön planda olmuşlardır (Haapasalo and Shen 2013). Son zamanlarda HyFlex CM (Coltene Whaledent, Cuyahoga Falls, Ohio, ABD), K3XF (SybronEndo, Orange, Kaliforniya, ABD), ProFile GT Series X (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, Oklahoma, ABD), ProFile Vortex (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, Oklahoma, ABD), Vortex Blue (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, Oklahoma, ABD), TYPHOON Infinite Flex NiTi (Clinician's Choice Dental Products, Milford, Connecticut, ABD) ve Twisted File (SybronEndo, Glendora,

Kaliforniya, ABD) gibi termomekanik olarak işlem görmüş endodontik Ni-Ti eğeler tanıtılmıştır (Haapasalo and Shen 2013).

2.5.3.4. Dördüncü Jenerasyon Eğeler

Bu jenerasyonun en önemli özelliği, hareket şeklinin farklı olması ve tek ege sistemi şeklinde kullanılmasıdır. Self-Adjusting File (ReDent-Nova, Raanana, İsrail), Reciproc (VDW, Münih, Almanya) ve WaveOne (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) bu jenerasyondaki ege sistemleridir (Haapasalo and Shen 2013). Piyasada bulunan Ni-Ti döner alet sistemlerinin birçoğu devamlı rotasyon hareketi ile kullanılmaktadır. Devamlı rotasyon hareketinin Ni-Ti alet sistemlerinin kırılma riskini arttırdığı düşünülmektedir (Sattapan et al. 2000). Bu durumu ortadan kaldırmak için kök kanallarının, tekrarlayan sağa-sola hareket olarak tanımlanan resiprokasyon hareketi ile şekillendirilmesi önerilmiştir. Resiprokasyon hareketi, ilk kez 1964'te Giromatic sistem (MicroMega, Besancon Cedex, Fransa) ile tanıtılmıştır (Prichard 2012). Giromatic sistem, Endo-Gripper (Moyco Union Broach, Montgomeryville, PA, ABD), Endo 3 LD (KaVo, Biberach, Almanya) ve Dynatrak (Dentsply DeTrey, Konstanz, Almanya) saat yönüne (CW) ve saat yönünün tersine (CCW) 90° eşit açılarla hareket eden sistemlerdir (Weine, Kelly, & Bray, 1976). M4 (SybronEndo, Orange, Kaliforniya, ABD), Endo-Eze (Ultradent Products Inc., South Jordan, Utah, ABD) ve Endo-Express SafeSider (Essential Dental Systems, South Hackensack, New Jersey, ABD) sistemleri, eşit 30° açılar ile CW ve CCW dönüşünü kullanarak resiprokal hareket eden el aletleridir. Bu el aletleri, küçük paslanmaz çelik el eğelerini kullanarak giriş yolunun oluşturulmasında kullanılmaktadır (Gambarini et al. 2015). 1985'te Roane ve ark. tarafından eğimli kanallar için tanımlanan dengeli kuvvet (balanced force) tekniği, el eğeleri ile eşit olmayan CW ve CCW hareketleri içermektedir. 2008 yılında Yared, dengeli kuvvet tekniğine dayanan, CW ve CCW dönme hareketi ile (144°CW ve 72°CCW) ProTaper F2 aletini kullanan tek ege resiprokasyon kavramını tanıtmıştır (Yared, 2008). Bu gelişme, aletlerin 360 derecelik dönüşü tamamlamak için beş dönüş ihtiyacı duyduğu

anlamına gelmektedir. Aynı zamanda, bu hareket sayesinde aletlerin elastikiyet sınırı aşılmamıştır (Kim et al. 2014). Reciproc ve WaveOne eğe sistemlerinde, resiprokasyon hareketinin kullanılması bu jenerasyonun gelişimine yol açmıştır (Çapar and Arslan 2016). Bu aletlerin tasarımının en büyük farkı, CCW kesme yönüne sahip olmasıdır. Dolayısıyla CCW dönme açısı, CW dönme açısından daha büyük olduğunda aletler kesebilmektedir. Bu resiprokal hareketli aletler haricinde, tüm aletler CW yönünde kesmek üzere tasarlanmıştır. Bu nedenle klinisyen, resiprokasyon hareketine göre tasarlanmış aletleri, saat yönünde dönen motorlar ile kullanmaya çalışırsa veya resiprokasyon hareketi yapan motorlar ile saat yönünde kesmek üzere tasarlanmış alet kullanmaya çalışırsa, alet kanal içerisine penetre olamayacağından kesmeyecektir. Self-Adjusting File, geleneksel eğelerin tasarım ve çalışma prensiplerine bazı değişiklikler getirilmesiyle üretilmiştir. İçi boş, kafesli bir yapıya sahip olup kök kanal duvarlarına üç boyutlu adaptasyon sağlamaktadır. İleri geri hareket ederken titreşim hareketi yaparak dentin duvarlarını aşındırmaktadır. Özel aparatı ile kök kanalına irrigasyon solüsyonu göndererek etkili bir şekilde smear tabakasını ve debrisı uzaklaştırmaktadır (Metzger et al. 2010).

2.5.3.5. Beşinci Jenerasyon Eğeler

Bu jenerasyondaki eğeler kütle ve dönme merkezi dengeli olacak şekilde tasarlanmıştır. Merkezden uzak dikdörtgen kesite sahip eğeler dönme hareketinde eğe boyunca yayılan mekanik bir dalga üretirler. Eğenin aktif kısmı boyunca hareket eden dalgalar ile asimetrik dönme hareketi, endodontik motorla ilişkili olmayan merkezden uzak dikdörtgen kesitine bağlı olarak tasarım özellikleri tarafından oluşturulur. Bu jenerasyondaki sistemler ProTaper Next (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre), Revo-S (MicroMega, Besancon Cedex, Fransa), One Shape (MicroMega, Besancon Cedex, Fransa) ve TRUShape 3D uyumlu eğelerdir (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, Oklahoma, ABD) (Haapasalo and Shen 2013).

2.5.3.6. Diğer Yeni Ege Sistemleri

Günümüzde kanala şekil vermek yerine kanal anatomisine uyum sağlayan, minimal invaziv şekillendirme yapılabilmesine olanak veren ve diğer jenerasyonlara dahil olmayan ege sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar; XP Endo Shaper (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre), EdgeCoil (EdgeEndo, Albuquerque, New Mexico, ABD), TruShape (Dentsply/Tulsa Dental Specialities) ve TruNatomy'dir (Dentsply Sirona Endodontics, Ballaigues, İsviçre) (Işık V. 2020).

2.5.4. NiTi Aletlerin Kinematik Özellikleri

Döner alet sistemleri farklı hareket kinematiğine sahiptir. Sabit dönme hareketinin kanal içinde ege üzerinde oluşturduğu stresi kontrol edebilmek ve klinik kullanımı optimize edebilmek için farklı açılara ve farklı yönlerde hareket prensiplerine sahip ve bıçaklarının kesme yönü bu açılara ve yöne bağlı olarak çeşitli ege sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar devamlı rotasyonun yanında, resiprokasyon, adaptif hareket ve vertikal vibrasyon hareketleridir (Gavini et al. 2018; Gergi et al. 2015; Walia, Brantley, and Gerstein 1988; Zanza et al. 2021; Zuolo et al. 2018).

2.5.4.1. Devamlı Rotasyon

Devamlı rotasyon hareketi, ilk dizayn edilen hareket kinematiğidir ve hala piyasada bulunan ege sistemlerinin çoğu bu kinematik ile çalışır. Bu sistemde NiTi ege kanal içinde tam tur (360°) dönerek çalışır. Bu hareket ile diğer kinematiklere göre enstrüman üzerinde maksimum stres oluşur. Devamlı rotasyon yapan ege sistemleri de sentrik ve eksentrik olarak iki farklı gruba ayrılır (Gavini et al. 2018; Zanza et al. 2021). Eksentrik devamlı rotasyonda, devamlı rotasyon yapan eğeler yapısal morfolojileri gereği kanal içinde asimetrik yani eksentrik hareket gerçekleştirirler. Twisted File (Sybron Endo), Protaper Next (Dentsply) ve XP-endo Shaper (FKG) ege sistemleri eksentrik rotasyona örnektir. Bu hareket sırasında döner enstrüman kanalda yılanvari bir salınma hareketi yapar. Bu hareketle özellikle oval veya düzensiz kesite sahip kanal morfolojilerinde efektif temizleme

yapması ve dokunulmayan kanal duvarları alanının azaltılması amaçlanmıştır (Gergi et al. 2015; Zuolo et al. 2018).

2.5.4.2. Resiprokasyon

Devamlı rotasyon hareketinde eğe üzerine gelen stresi azaltmak için resiprokasyon hareketi geliştirilmiştir. Resiprokasyon, farklı eğe sistemlerinde farklı açılarda ve yönde (saat yönü veya saat yönü tersinde) gerçekleşir. Rotasyon açıları saat yönünün tersinde 120 derece ile 270 derece arasındayken, saat yönünde 60 derece ile 90 derecedir. Bu hareket kinematiğiyle endodontik tedavide kanal preperasyonunda çoklu döner alet kullanımı yerine tek eğe düşüncesi gelişmiştir (Gavini et al. 2012; Panitvisai et al. 2010; Zanza et al. 2021). Tek eğe prensibiyle çalışan resiprokasyon yapan eğeler kanal içinde gagalama (pecking-motion) hareketiyle kullanılır. Döner alet, kanalda ilk kullanımda koronal bölgede ileri-geri hareket ettirilerek salınımla çalıştırılır. Ardından bu pecking-motion hareketi eğeyi orta ve apikal kısımlara ulaştıracak şekilde genişletilerek kullanılır. Resiprokasyon hareket prensibiyle çalışan ve tek enstrüman içeren sistemlere örnek olarak Resiproc (VDW) ve WaveOne (Dentsply) verilebilir. Bu iki sistem de sentrik resiprokasyon yapar; saat yönünün tersinde rotasyona başlar, WaveOne 170 derece ile, Reciproc 150 derece ile kesme işlemini saat yönünün tersinde gerçekleştirir. Dentinde oluşan vidalanma (screw-in) etkisini azaltmak için saat yönünde WaveOne 50°, Reciproc 30° dönüş yapar. Bu dönüş sırasında dentinde kesme oluşmaz. Çoğu eğe sistemi saat yönü tersinde keser, örneğin Reciproc, Resiproc Blue (VDW), WaveOne, WaveOne Gold (Dentsply), ProDesign (Easy). Bazı sistemler saat yönünde kesme yapar, örneğin Genius (Ultradent), ProDesign S (Easy). Resiprokasyon hareketi eğede daha düşük germe ve basma stresi oluşturduğu için yorgunluk direnci artar (Adıgüzel and Capar 2017; Gavini et al. 2012; Panitvisai et al. 2010).

2.5.4.3. Vertikal Titreşim Hareketi

Dentin kanallarını hafif abraziv kafes yapısı ile aşındırır ve bu sırada sürekli irrigasyon yapar. Bu sistemin rotasyona kıyasla daha az stres oluşturduğu ve dentin duvarlarında daha az çatlağa neden olduğu çalışmalarda gösterilmiştir. NaOCL ve EDTA ile birlikte kullanıldığında, kanalın bütününde neredeyse tamamen smear tabakasını kaldırır. Çapar ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre bu sistem ile kalsiyum hidroksit medikamenti, retreatment esnasında gutta perka, bakteriler ve smear tabakasının kaldırılması kolaylaşmıştır (Capar, Ozcan, et al. 2014).

2.5.4.4. Adaptif Hareket

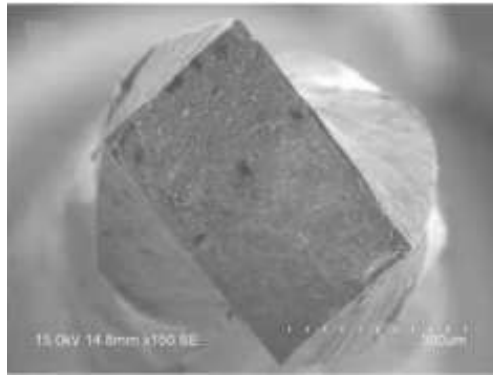
Devamlı rotasyon ve resiprokasyon hareketinin kombinasyonuyla çalışan sistemler adaptif hareket kinematiği olarak adlandırılır. İki hareket sisteminin de pozitif yanlarını elde etmeyi amaçlar. Bu ege sistemlerine örnek olarak Twisted File Adaptive (Sybron Endo) sistemi örnek olarak verilebilir (Adıgüzel and Capar 2017; De-Deus et al. 2017). Bu hareket kinematiğine sahip bir motor olan Elements (Sybron Endo) egeyle çalışması sırasında fazla kuvvet algılandığında otomatik resiprokasyon hareketine geçmektedir. Sürekli rotasyon hareketinde her 600 derece dönüşte bir enstrüman hafifçe duraklar, bu hareketle eğin kristal yapısında oluşan stresin düzenlenmesi amaçlanmıştır. Yorgunluk direncini arttırmak amaçlı Optimum Tork Revers (OTR) sistemi (Morita) resiprokasyon sisteminin avantajlarını elde ederken dezavantajlarını minimize eder. Sürekli rotasyonda tork ölçümü gerçekleşir, eğer önceden belirlenen eşiği aşarsa enstrüman 90 derece saat yönü ve 90 derece saat yönü tersinde salınma hareketi yapar. Tork düzeyinde düşüş olduğunda devamlı rotasyon hareketine devam eder. Bu sistem aktif kesme açısına sahip tüm NiTi ege sistemlerinde kullanılabilir (Adıgüzel and Capar 2017; Gergi et al. 2015; Pedullà et al. 2016; Zuolo et al. 2018).

2.5.5. Çalışmamızda Kullanılan Nikel Titanyum Eğе Sistemleri

2.5.5.1. WaveOne Gold

WaveOne Gold (WOG) eğе sistemi, Dentsply Maillefer firması tarafından 2015 yılında piyasaya sunulan bir tek eğе sistemidir. M-Wire alaşımından üretilmiş olan WaveOne (WO)’dan farkı Gold Wire teknolojisiyle geliştirilmiş olmasıdır. Bu yeni teknolojiyle, NiTi eğeler üretildikten sonra özel bir ısıtıl işlem gördükten sonra yavaşça soğutulur. Böylece eğe kendine özgü altın rengini almış olur. Aynı zamanda eğenin dayanıklılığı ve esnekliği de önemli ölçüde artmış olmaktadır. Üretici firmanın verilerine göre ısıtıl işlem uygulamasıyla, WaveOne Gold Primary eğe, WaveOne Primary eğeye göre %80 daha esnek ve döngüsel yorgunluğa %50 daha dirençli bulunmuştur (Ruddle 2016).

WaveOne Gold eğelerinin enine kesiti paralelkenar şeklindedir (Şekil 10). 85°’lik kesme açısına sahip iki adet kesici kenarı da kanal duvarlarıyla temas halindedir. Hareket esnasında merkezde yer almayan enine kesiti ile dönüşümlü olarak sadece bir kesici kenarı kanal duvarıyla temastadır ve bu sayede eğenin kanal duvarına bağlanma ve vidalanma etkisi azaltılmış olur (Webber n.d).



Şekil 9. WaveOne Gold Primary eğesinin enine kesit görüntüsü

WaveOne Gold eğeleri de Reciproc Blue eğeleri gibi resiprokasyon hareketiyle çalışır. Bıçaklarının konumu sayesinde saat yönünün tersine 150 derece hareket ederken

dentini kesip saat yönünde 30 derecelik hareket ederek eğenin serbestleşmesini sağlar. Böylece saat yönünün tersine 120 derecelik net bir hareket yaparak 1 tam turu 3 resiprokal döngüden sonra tamamlamış olurlar (Webber n.d.).

21, 25 ve 31 mm uzunlukta eğeleri bulunabilen 4 çeşit WOG eğesi mevcuttur. (Şekil 11) (Webber n.d.).

1) WaveOne Gold Small: Sap kısmındaki ayırt edici plastik halka sarı renklidir. Uç kısmının çapı 0,20 mm'dir. D1-D3 arasındaki koniklik açısı sabit olup 0.07 iken, D4-D16 arasında gittikçe azalan değişken bir taper açısına sahiptir.

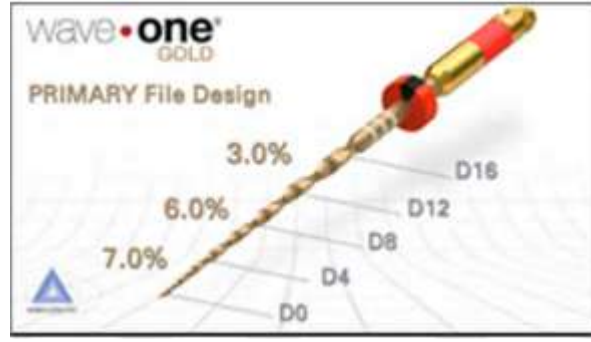
2) WaveOne Gold Primary: Sap kısmındaki ayırt edici plastik halka kırmızı renklidir. Uç kısmının çapı 0,25 mm'dir. D1-D3 arasındaki koniklik açısı sabit olup 0.07 iken, D4-D16 arasında gittikçe azalan değişken bir taper açısına sahiptir (Şekil 12).

3) WaveOne Gold Medium: Sap kısmındaki ayırt edici plastik halka yeşil renklidir. Uç kısmının çapı 0,35 mm'dir. D1-D3 arasındaki koniklik açısı sabit olup 0.06 iken, D4-D16 arasında gittikçe azalan değişken bir taper açısına sahiptir.

4) WaveOne Gold Large: Sap kısmındaki ayırt edici plastik halka beyaz renklidir. Uç kısmının çapı 0,45 mm'dir. D1-D3 arasındaki koniklik açısı sabit olup 0.05 iken, D4-D16 arasında gittikçe azalan değişken bir taper açısına sahiptir.



Şekil 10. Wave One Gold Eğeleri



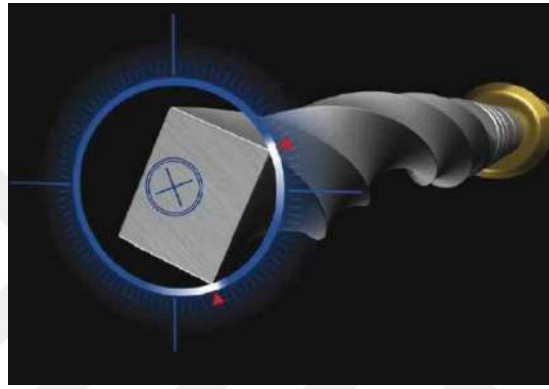
Şekil 11. WaveOne Gold Primary eğesinin koniklik açısı

Genellikle WaveOne Gold Primary eğesi kök kanal şekillendirmesinin tamamlanmasında yeterli olmaktadır. WaveOne Gold Primary eğesinin, 15 numaralı K-tipi eğenin rehber yol oluşturabildiği her kanalda rahatlıkla kullanılabileceği bildirilmiştir. WaveOne Gold Primary eğesinin pasif olarak çalışma boyuna ilerleyemediği kanallarda WaveOne Gold Small eğesi kullanılabilir. Ayrıca WaveOne Gold Primary eğesinin kök kanalının apikal üçlüsünde yetersiz kaldığı durumlarda ise WaveOne Gold Medium ve Large eğeleri kullanılabilir. WaveOne Gold eğe sisteminde de WaveOne sisteminde olduğu gibi eğelerin tek kullanımlık olabilmesini sağlayabilmek adına tasarlanmış renk kodlu halkalar mevcuttur. Bu sayede metal yorgunluğuna bağlı eğe kırılmalarının ve çapraz kontaminasyonun önlenebileceği iddia edilmiştir (Webber n. d.).

2.5.5.2. ProTaper Next

Son zamanlarda ortaya çıkan ProTaper Next, yeni nesil tasarımlarla üretilen Ni-Ti döner eğe sistemi olarak, beşinci jenerasyon teknolojileri arasına girmiştir. Isıl işlem uygulanarak elde edilen M-Wire teknolojisiyle üretilmiş, daha fazla esnekliğe, yorulma direncine sahip ve kesme etkinliğini koruyan benzersiz yönlendirme hareketi olan bir eğe sistemidir (Baig et al. 2015; Soltan M, Elbyomi M, and Eid G 2008). ProTaper Next, rotasyonel hareket ile çalışır. Tek eğe üzerinde artan ve azalan taperları vardır ve çapraz kesitine bakıldığında, merkezden uzaklaşan dikdörtgen bir tasarıma sahiptir (Şekil 13)

(Ruddle, Machtou, and West 2013). Eğenin tasarımı, kanalın içerisinde yılan benzeri hareket etmesini sağlar. Eğenin uzun aksı boyunca merkezin dışında konumlanması, rotasyon süresince hareket dalgası oluşmasını sağlar (Hashem et al. 2012). Merkezden uzaklaşan dikdörtgen tasarımı sayesinde, eğe ile dentin arasındaki teması azaltarak, eğenin kanal içerisinde oluşabilecek dentine saplanma etkisini ve torsiyonel stresi en aza indirir (Ruddle 2001).



Şekil 12. ProTaper Next döner eğe sisteminin çapraz kesiti

ProTaper Next eğelerinin diğer döner eğe sistemleri ile karşılaştırıldığında öne çıkan özellikleri şunlardır; (Ruddle et al. 2013)

- ✓ Aletin çapraz kesitinde, son 3 mm'lik alan haricinde bilateral simetrik dikdörtgen biçimi, uzun aks yönünde asimetric bir dönme hareketi oluşturur. Bundan farklı olarak, son 3 mm'lik alandaki kare kesiti dar apikal kısımda daha güçlü bir çekirdek yapı oluşturur. Bu asimetric hareket, aletin devinim yapmasına izin verir. Bu dizaynın yararı, 2 değme noktası olduğu için aletle dentin duvarı arasında değme miktarının azalmasıdır.
- ✓ M-Wire sistemiyle imal edilmiştir. Daha flexible ve güvenilirlerdir. Bununla eğe kırıklarının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Böylece kompleks kök kanal sistemlerinde başarı şansı artar.

- ✓ Asimetrik yapı, daha fazla dentin çıkışına izin verir. Kesme etkinliği ve irrigasyon etkinliği artar.
- ✓ Daha az stres olduğu için aletin kırılma riski azalır.
- ✓ Farklı boyutlardaki eğeler arasında yumuşak bir geçiş vardır. Aletin dizaynı buna olanak verir.

ProTaper Next eğe sistemi kanalı şekillendirmek için X1, X2, X3, X4, X5'ten oluşan beş şekillendirme eğesine sahiptir (Şekil 14). Bu eğeler sırasıyla sarı, kırmızı, mavi, çift siyah ve çift sarı renkli halkalarla belirlenmiştir. Eğelerin uç çapları sırayla 0.17, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50 mm'dir. Taperları ise %4, %6, %7, %6, %6 olarak sıralanır. Belirtilen taperlar hiçbir eğenin aktif kısmı üzerinde değildir (Anon n.d.).



Şekil 13. ProTaper Next döner eğe sistemi

X1, X2 eğelerinin her ikisinde de aynı şekilde kesici yüzey uzunluğu boyunca artan ve azalan oranlarda taperlar vardır. X3, X4, X5 eğelerinin ilk 3 mm'lik kısmı (D0-D3) sabit taperlı iken devam eden aktif kısmında azalan yüzdede konikliğe sahiptir. X1 eğesi D1-D3 aralığında merkezi bir rotasyon eksenine sahip iken, D4-D16 seviyelerinde merkezden uzaklaşacak şekilde rotasyon yapar. %4'lük taper ile başlayan X1 eğesi D1-D11 seviyeleri arasında artan tapera sahip iken, D12-D16 arasında ise şekillendirme esnasında esnekliği

arttırmak ve radiküler dentin yapısını korumak için azalan tapera sahiptir. (Ruddle et al. 2013).

ProTaper Next eğeleri 300 rpm hızda ve 2,0-5,2 Ncm tork değeri arasında kullanılır. Bununla birlikte yazarlar 5,2 Ncm torku tercih etmişlerdir. Çünkü bu tork değerinin, giriş yolu oluşturulup fırçalama hareketi ile titizlikle kullanıldığında oldukça güvenli bir şekillendirme elde edileceği klinisyenler tarafından kabul görmüştür. ProTaper Next sisteminde tüm eğeler kanalın uzunluğu, çapı ve eğriliği ne olursa olsun, aynı şekilde ISO sıralamasındaki renklere sadık kalınarak kullanılır (Blum et al. 2003).

2.6. Kök Kanal Şekillendirilmesi Esnasında Karşılaşılan Prosedürel Hatalar

Kök kanal şekillendirmesi, yıkama ve doldurma prosedürlerinin etkinliğini de belirlediği için kanal tedavisinin başarısında önemlidir (PETERS 2004). Şekillendirme hataları; kök kanallarının yetersiz temizlenmesi, irrigasyon ve kök kanallarının doldurulmasındaki zorluklarla ilişkilidir, bu da tedavinin başarısızlık riskini arttırmaktadır (GORNI and GAGLIANI 2004). Ayrıca kanalın orijinal ekseninden sapma, perforasyona ya da dişin gereksiz zayıflamasına neden olabilmektedir (Hartmann et al. 2018). Malesef şekillendirme işlemi oldukça değişken kök kanal morfolojisinden, kanal eğriliğinden ve kanal içi kalsifikasyon sebebiyle darlıklardan olumsuz etkilenir (Al-Omarı, Dummer, Newcombe, et al. 1992; Nagy et al. 1997; Peters 2004). En iyi tedavi sonucunu elde etmek için, kök kanalının konik preparasyonu, merkezi orijinal kanal yolunu izlemelidir. Ancak eğelerin düz şeklini geri kazanma eğilimi nedeniyle, özellikle eğimli kök kanallarında bu hedefe ulaşmak zordur (Abou-Rass, Frank, and Glick 1980; Schilder H. 1974). Bu genellikle çalışma uzunluğu kaybı, alet kırılması, dirsek, basamak, perforasyon, strip perforasyon, apikal transportasyon gibi prosedürel hatalara yol açar (Guelzow et al. 2005).

2.6.1. Çalışma Uzunluğu Kaybı

Kök kanal şekillendirmesi sırasında çalışma boyunda meydana gelen değişiklik, ya taşkın bir kök kanal dolgusuna ya da eksik ve yetersiz bir doluma sebep olacak, bu şekilde

başarısız bir kök kanal tedavisini beraberinde getirecektir (Martín-Micó, Forner-Navarro, and Almenar-García 2009).

2.6.2. Alet Kırılması

Endodontik aletlerin kırılması genellikle eğelerin yanlış veya önerilenden daha fazla kullanılması ve eğeleri eğimli, kalsifiye kanallarda kullanırken uygulanan aşırı kuvvet nedeniyle meydana gelir (Lin, Rosenberg, and Lin 2005).

Kanal içerisinde alet kırığı bulunması uygun kök kanal temizliğini, şekillendirme işlemlerini ve dolumu engeller. Kırık aletin çıkarılması çeşitli yöntemlerle mümkün olsa da bazen konservatif yöntemler ile aletin çıkarılması mümkün olamamaktadır. Apikal konumda kırılan aletin çıkarılmaya çalışılması basamak, perforasyon veya kök kanal duvarının aşırı incilmesi gibi işlemsel hatalara yol açabilmektedir (McCoy 2015).

2.6.3. Basamak Oluşumu

Özellikle eğri kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında dikkatsiz manipülasyondan veya aşırı dentin uzaklaştırılmasından kaynaklanan bir hata şeklidir. Genellikle eğimin dış kısmında oluşur. Periodontal ligament ile bağlantı olmaksızın, diğer bir deyişle perforasyon oluşturmaksızın orjinal kanal eğiminden sapma meydana gelir. Kanal duvarı yüzeyinde meydana gelen bu düzensiz alan, çalışma boyu kaybına neden olarak eğenin ve irrigasyon ajanlarının apikale ulaşmasına engel olmaktadır. Basamaklar sıklıkla endodontik tedaviden sonra devam eden periapikal patozise neden olur. Sonuç olarak, basamak oluşumu ile olumsuz endodontik tedavi sonuçları arasında nedensel bir ilişki olabilir (Jafarzadeh and Abbott 2007; Lambrianidis 2006).

2.6.4. Perforasyon

Kök perforasyonu, kök kanal sistemi ile eksternal diş yüzeyi arasındaki ve periodontal dokular arasındaki iletişim ile karakterize bir durumdur (Mantri et al. 2012). Bu sorun patolojik bir süreçten (diş çürükleri, kök rezorpsiyonu) veya operasyonla ilgili bir prosedürel hatadan kaynaklanabilir. İatrojenik kök perforasyonları kavite açılması

sırasında, kök kanal şekillendirmesi sırasında veya şekillendirme sonrasında ortaya çıkabilir (Frank and Weine 1973; Fuss and Trope 1996; Nicholls 1962; Oswald 1979; Roda 2001; Seltzer, Sinai, and August 1970; Tsesis and Fuss 2006). Pulpa taşları, kalsifikasyon, yaygın çürükler, internal kök rezorpsiyonu, kök kanalının yanlış yerde tanımlanması, kanal getiren faktörlerdir (Estrela et al. 2018).

2.6.5. Strip Perforasyon

Strip perforasyon, özellikle eğimli kanalların orta bölümünde, kök kanal şekillendirmesi sırasında iç duvarın aşırı şekillendirilmesi ile oluşan perforasyondur. Strip perforasyon, eğimli bir duvarın incelmelerini ve sonunda perforasyonu ifade etmektedir. Bu perforasyondan kanal dolgu malzemeleri taşabilir ve sonucunda endodontik kaynaklı bir lezyon ve kemik kaybı görülebilir. Strip perforasyonun neden olduğu lateral lezyonun, genellikle kısıtlı erişim nedeniyle geleneksel cerrahi yaklaşımlarla tedavisi zordur (Ciobanu et al. 2016).

2.6.6. Dirsek

Apikalde eğimin dış duvarında, koronalde eğimin iç duvarında yapılan düzensiz genişletme neticesinde oluşan, maksimum eğrilik noktasındaki kök kanalının en dar bölgesini göstermektedir. Dirsek oluşumu ile meydana gelen düzensiz ve yetersiz koniklik, kök kanalının apikal bölümünün iyi bir şekilde temizlenmesini ve doldurulmasını tehlikeye atabilir (Hülsmann et al. 2005).

2.6.7. Apikal Transportasyon

Apikal transportasyon, kök kanalının fizyolojik apeksinin iatrojenik olarak kökün dış yüzeyinde yeni bir konuma taşınmasıdır (Ingle JJ, Bakland LK, and Baumgartner JC 2008). Kanal transportasyonu, Amerikan Endodontistler Birliği tarafından “Endodontik Terimler Sözlüğünde”, eğelerin kanal şekillendirmesi sırasında orijinal şekillerine dönme eğilimlerinden dolayı kanal duvarının eğimin dış tarafına doğru taşınması şeklinde tanımlanmıştır (American Association of Endodontists. 2012).

Kanalın orijinal şeklinin ve apikal foramenin pozisyonunun korunması, kök kanal şekillendirmesinde temel gerekliliklerdir (Alrahabi and Zafar 2018). Ancak kavisli kanallarda bu hedefe ulaşmak zordur çünkü şekillendirme eğeleri ve yöntemleri kanalı orijinal ekseninden uzaklaştırabilir. Bu da apikal transportasyon, basamak oluşumu, alet kırılması gibi prosedürel hataların görülme olasılığını arttırmaktadır (Stewart et al. 2010; Yamamura et al. 2012). Temizleme ve şekillendirme sırasında apikal transportasyonun oluşması debrislerin eksik çıkarılmasına neden olabilir ve tedavinin sonucunu tehlikeye atabilir (López et al. 2009).

Kanal transportasyonuna sebep olan/olabilen faktörler şunlardır:

- Yetersiz giriş kavitesi açılması (Jafarzadeh and Abbott 2007)
- Diş hekimine bağlı faktörler (PETERS 2004)
- Kanal eğriliğinin derecesi ve yarıçapı (PETERS 2004)
- Yetersiz ve yanlış irrigasyon (Chole et al. 2016)
- Esnek olmayan eğelerin kullanılması (Elizabeth M. 2005; Lam et al. 1999)
- Çeşitli biyomekanik şekillendirme teknikleri (Elizabeth M. 2005; Hülsmann et al. 2005; Lam et al. 1999)
- Eğe üretiminde kullanılan alaşımlar ve eğelere uygulanan yüzey işlemleri (Chole et al. 2016)

- Eğelerin çapraz kesit tasarımları (Chole et al. 2016)
- Kesme ucu aktif eğelerin kullanılması (Chole et al. 2016)
- Radyografilerde kanal eğriliğinin yanlış yorumlanması (Chole et al. 2016)

Orijinal kanal doğrultusundan sapma şunlara yol açabilir:

- Aşırı ve uygunsuz dentin uzaklaştırılması,
- Kanalın düzleştirilmesi ve dentin duvarında düzensizlik oluşturulması,
- Dirsek oluşumu,

- Çapraz kesitte apikalde kum saati şeklinde görüntü oluşması,
- Aşırı enstrümantasyon sonucu dişin aşırı zayıflaması ve dişin kırılması,
- İrrigasyon solüsyonlarının ve kanal dolgu malzemelerinin apikalden taşması

(Brantley et al. 2002)

Apikal transportasyonun önlenmesi; daha az debris ekstrüzyonu, daha az postoperatif ağrı ve kök kanal dolgusunun sızdırmaz olmasını sağlar. Orijinal kanal şeklinin korunması ve kanal şekillendirme hatalarının olmaması artmış antimikrobiyal ve sızdırmaz tıkamaya olanak verir, diş yapısını zayıflatmadan korunmasını sağlar (Berutti et al. 2012).

Kanal transportasyonunun meydana gelmesiyle kök kanalında şekillendirilemeyen ve bu nedenle yeterince temizlenemeyen alanların kalması, klinik problemlere neden olabilir. Çünkü kanal içerisinde bulunan mikroorganizmalar enfekte kök kanal sisteminden uzaklaştırılamaz. Özellikle transportasyon meydana geldiği, dentinin fazla uzaklaştırıldığı kanal bölgesinin karşısındaki kısımda enfekte debris birikimi meydana gelebilmektedir. Özetle, kanal transportasyonunun tedavi başarısızlığının doğrudan nedeni olup olmadığı tartışmalıdır. Fakat enfekte kök kanallarında, doku kalıntılarının ve mikroorganizmaların uzaklaştırılamaması başarılı tedaviyi engelleyebilmektedir (Schäfer and Dammaschke 2006).

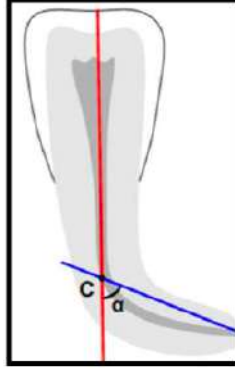
Apikal transportasyon, fizyolojik foramenin pozisyonunun yer değiştirilmesinin şiddetine göre sırasıyla Tip I (küçük), Tip II (orta) ve Tip III (şiddetli) olarak kategorize edilebilir. Fizyolojik foramenin pozisyonunun küçük yer değiştirmesini temsil eden Tip I sınıfında, yeterli rezidüel dentin korunabiliyorsa ve foramen üzerindeki preparasyon düzeltilebiliyorsa kanallar tamamen temizlenebilir, şekillendirilebilir ve doldurulabilir. Orta derecedeki yer değiştirmeyi temsil eden Tip II sınıfında, kanamayı kontrol etmek için bariyer yerleştirilerek tedavi edilir. Şiddetli derecedeki yer değiştirmeyi temsil eden Tip III sınıfında, bariyer uygulanması genellikle mümkün değildir, mümkün olan en iyi şekilde dolum sağlanır ve ardından düzeltici cerrahi gereklidir. (Mantri et al. 2012)

2.7. Kök Kanal Eğiminin Komplikasyonlar Üzerindeki Etkisi

Kök kanal tedavisinde kullanılan aletlerdeki gelişmelere ve tekniklere rağmen, eğimli kök kanallarının şekillendirilmesi deneyimli hekimler için bile zor olabilmektedir. Kök kanalları genellikle eğimli olmalarına rağmen, kök kanal şekillendirilmesinde kullanılan eğelerin şekli düzdür. Eğimli kanallarının şekillendirilmesinde, kanalın eğimine uyumlu olmayan eğelerin kanalın orjinal şeklini koruyamaması birçok komplikasyona sebep olmaktadır. Kök kanalının eğimli olduğu bölgede aletlerin eğimin iç tarafına kıyasla dış tarafından daha fazla madde kaldırdığı ve transportasyona sebep olduğu bilinmektedir. Kök kanallarının sahip olduğu eğim açısı arttıkça, şekillendirme sırasında alet üzerindeki kuvvet artacağından transportasyonun daha fazla gerçekleşeceği bildirilmiştir. Ayrıca, eğimli ve dar kanalların şekillendirilmesi sırasında alet üzerinde gerilim ve baskı kuvvetlerinin fazla olması sonucu alet kırılma riski artmaktadır (Lim and Webber 1985).

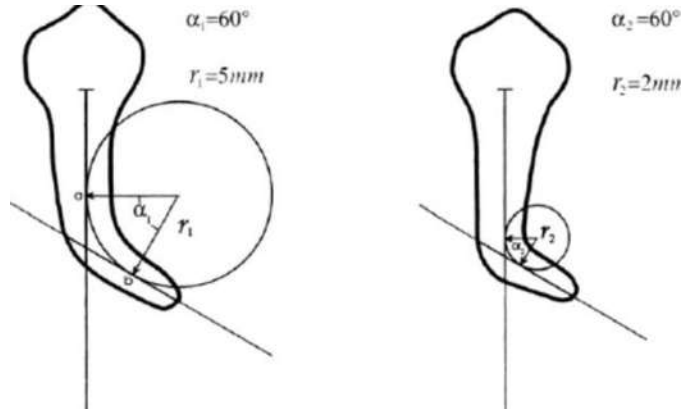
2.8. Kök Kanal Eğimini Belirlemek İçin Kullanılan Yöntemler

Çeşitli araştırmacıların kök kanal eğimini belirlemek için geliştirdiği başlıca yöntemler; Schneider yöntemi, Weine yöntemi, Hankins ve El Deeb yöntemi-long axis tekniği ve Pruett ve ark. (1997) yöntemidir. Günümüzde en sık kullanılan yöntem, Schneider tarafından geliştirilen yöntemdir. Bu yöntemde, radyografik görüntüde kök kanalının koronal üçlüsünün uzun aksına paralel olarak bir doğru çizilmesinin ardından, apikal foramenden ilk doğrunun, kanalın uzun aksını terk ettiği noktaya ikinci bir doğru çizilir. Bu çizilen iki doğru arasındaki iç açı kök kanalının eğim açısı olarak tanımlanır. Schneider, eğim açısına göre kök kanallarını kolay (düz ya da 5° den az), orta (10°-25°) ve zor (25°den büyük) kanallar olmak üzere üçe ayırmıştır (Schneider 1971).



Şekil 14. Schneider yöntemine göre kök kanal eğimi belirleme yöntemi

Pruett ve ark. (Pruett, Clement, and Carnes 1997), kök kanal eğiminin derecesinin belirlenmesinde tek parametre kullanmanın yeterli olmadığını, eğrilik açısının dışında eğrilik yarıçapının da önemli bir faktör olduğunu bildirmişlerdir. Bu yöntemde kanalın koronal ve apikal bölümünde birer paralel doğru çizilir. Koronal bölümden çizilen doğruya kanalın eğim göstermeye başladığı nokta, apikalden çizilen doğru üzerinde ise kanal eğrilik bittiği nokta bulunur. Kanalın eğri kısmı, bu noktalardan çizilen doğruların kesiştiği noktayı merkez alan daire ile gösterilir. Eğrilik açısı, dairenin bu noktaları arasında kalan yayı gören merkez açıdır. Dairenin yarıçapı ise eğrilik yarıçapıdır. Eğrilik yarıçapı eğimin şiddetini ifade eder. Azalan yarıçap kanal eğiminin şiddetinin arttığını göstermektedir.

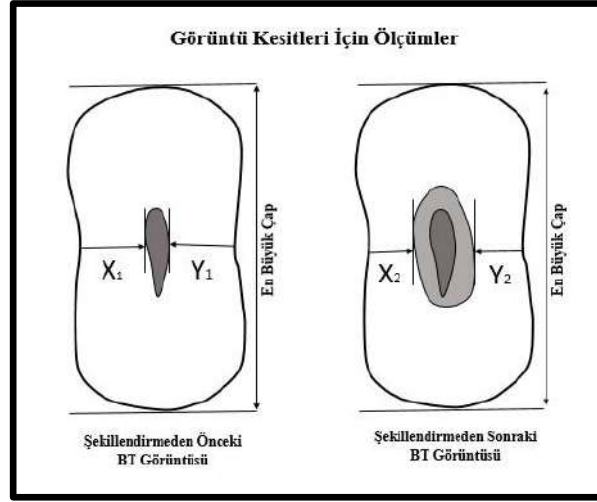


Şekil 15. Pruet ve arkadaşlarına göre kök kanal eğimi belirleme yöntemi

2.9. Kanal Şekillendirme Yeteneğinin Değerlendirilmesi

Apikal transportasyon ve merkezde kalma yeteneği endodontik eğelerin orijinal kök kanal geometrisini koruyabilmelerini araştırmak için en sık kullanılan parametrelerdendir (Hülsmann et al. 2005).

Kanal transportasyonunun miktarı ve yönü, şekillendirilmemiş kanalın kenarından dişin kenarına kadar hem mezial hem de distal yöndeki en kısa mesafe ölçülerek ve ardından şekillendirilmiş görüntülerden alınan aynı ölçümlerle karşılaştırılarak belirlenir. Transportasyon hesaplaması için $(X1-X2)-(Y1-Y2)$ formülü kullanılmaktadır. X1, şekillendirmeden önceki mesial yöndeki kanalın iç yüzeyi ile kökün dış sınırı arasındaki en kısa mesafeyi temsil ediyordu. Y1, şekillendirmeden önceki distal yöndeki kanalın iç yüzeyi ile kökün dış sınırı arasındaki en kısa mesafeyi temsil ediyordu. X2, şekillendirdikten sonraki mesial yöndeki kanalın iç yüzeyi ile kökün dış sınırı arasındaki en kısa mesafeyi temsil ediyordu. Y2, şekillendirdikten sonra distal yöndeki kanalın iç yüzeyi ile kökün dış sınırı arasındaki en kısa mesafeyi temsil ediyordu (Şekil 17). Transportasyon değerinin sıfır çıkması hiç transportasyon olmadan kanalın şekillendirildiğini göstermektedir. Eğer sonuç pozitif çıkarsa mesial yönde, negatif çıkarsa distal yönde transportasyonu gösterir. Ortalama kanal merkezleme oranı, aletin kanalda merkezde kalma yeteneğinin bir ölçüsüdür. Bu oranın, hesaplanmasında $(X1-X2)/(Y1-Y2)$ formülü kullanılır. Bu formülde $(X1-X2)$ veya $(Y1-Y2)$ sayıları eşit değilse, pay kısmına küçük olan yazılarak belirlenmektedir. Bu formül kullanıldığında, sonucun 1 çıkması mükemmel merkezlemenin olduğunu gösterir (Gambill, Alder, and del Rio 1996).



Şekil 16. Transportasyon hesaplamasında kullanılan ölçümler

2.10. Mikro Bilgisayarlı Tomografi (Mikro-BT, μ BT)

Klinik BT tarayıcıları tipik olarak 1 mm^3 volume öğelerinden (vokseller) oluşan görüntüler üretmektedir. 1980'lerin başında geliştirilen X-ışını mikrobilgisayarlı tomografi (Mikro-BT veya μ BT) sistemleri ise çok daha iyi uzamsal çözünürlüğe sahip ve 5–50 μm aralığında vokseller üretmektedir. Volume olarak BT voksellerinden yaklaşık 1.000.000 kat daha küçüktü (Feldkamp et al. 1989; Kuhn et al. 1990). Görüntüleme süreci zararsız olduğundan, farklı koşullar altında aynı numuneden birçok taramanın yapılmasına izin vermektedir (Landis and Keane 2010). Bir mikro-BT taramasından büyük miktarda bilgi elde edilebilir. Dilimler herhangi bir düzlemde yeniden oluşturulabilir ve veriler 2 boyutlu veya 3 boyutlu görüntüler olarak kaydedilebilir. Elde edilen veriler nitel veya nicel analizler için kullanılabilir (Swain and Xue 2009).

Bilgisayarlı tomografide x-ışını kaynağı ve dedektör, örnek etrafında döndürülürken, mikro-BT cihazında numune, sabit bir x-ışını kaynağı sistemi içinde kendi vertikal eksen etrafında döndürülerek taranmaktadır. Sabit x ışını kaynağı sayesinde titreşim azaltılmış olur ve çözünürlük artar (Sasov and Van Dyck D 1998).

Diş, kemik gibi mineralize dokular ve seramik, polimerler, biyomateryal iskeleler gibi materyaller dahil olmak üzere çok çeşitli örnekler doğrudan mikro-BT kullanılarak incelenebilir. Mikro-BT görüntüleme ile dokulardan daha yüksek yoğunluğa sahip kontrast madde infiltre edilerek yumuşak dokular da incelenebilir. En yeni nesil mikro-BT sistemleri, küçük canlı hayvanların in vivo görüntülenmesine izin vermektedir (Guldborg et al. 2003, 2004).

Mikro-BT diş hekimliğinde mine kalınlığı ve diş ölçülmesinde, kök kanal morfolojisinin analizinde, kök kanal şekillendirilmesinin değerlendirilmesinde, kraniofasiyal iskelet gelişimi ve yapısının incelenmesinde, biyomekanik çalışmalarda, doku mühendisliğinde, dişlerin mineral konsantrasyonlarının değerlendirilmesinde, implant ve implant çevresindeki kemiğin incelenmesinde kullanılmaktadır (Swain and Xue 2009).

Pulpa boşluğu ve kök kanal morfolojisinin araştırılması için hem kalitatif hem de kantitatif sonuç ölçümleri oluşturmak için mikro-BT kullanılmaktadır. Kök kanal aletlerinin ilerlemesiyle, kök kanal şekillendirme etkinliği büyük ölçüde iyileştirilmiştir ancak farklı aletlerin performansını tam olarak değerlendirmek ve karşılaştırmak kolay değildir. Bununla birlikte, mikro-BT sistemleri ile kanal şekillendirmesinin 3 boyutlu değerlendirilmesi kolay ve rahat hale getirilmiştir (Bergmans et al. 2001; Swain and Xue 2009). Mikro-BT ile kök kanal şekillendirme öncesinde ve sonrasında kanalın yüzey alanı ve hacmi, çıkarılan dentin miktarı, kanal çapı, şekillendirilmemiş yüzey, eğim, kanal transportasyonu, yapı model indeksi, kütle merkezlerinin transportasyonu, kanal düzleştirme oranı, kanal merkezleme oranı, C şekilli kanal anatomisi, dentin çatlak oluşumu değerlendirilebilir (Aboud et al. 2018; Swain and Xue 2009).

Micro-BT görüntüleme tekniğinin dezavantajı zaman alıcı ve pahalı olması, bu nedenle de klinik kullanıma uygun olmamasıdır (Michetti et al. 2010).

Literatürde farklı eğelerin kök kanal şekillendirme yeteğini ve kanal merkezlemesini değerlendiren ve karşılaştıran birçok çalışma mevcuttur. Farklı giriş kavitesi çeşitlerinin kanal şekillendirme yeteğini ve kanal merkezlemesini değerlendiren ve karşılaştıran kısıtlı sayıda çalışma vardır. Çalışmamızın amacı farklı giriş kavitelerinde hem resiprokal hem devamlı rotasyonel hareket prensibiyle çalışan eğe sistemlerinin kanal merkezleme ve kanal şekillendirme yeteneğini mikro bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) ile incelemektir.

Bu çalışmada farklı giriş kavitesi şekillerinde WaveOne Gold ve Protaper Next eğelerinin kök kanal şekillendirme özellikleri mikro-BT ile taranarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın mikro-BT taramaları Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Uygulama Araştırma Merkezinde yapılmıştır.

Bu çalışmada ‘WaveOne Gold ve ProTaper Next eğe sistemlerinin geleneksel, konservatif ve truss kavite şekillerinde kanal transportasyonu, kanal merkezleme yeteneği ve dentin kaldırma miktarı üzerine herhangi bir etkisi yoktur’ sıfır hipotezi test edilmiştir.

3. MATERYAL ve METOD

Bu çalışmanın uygulanmasına Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dekanlığı Etik Kurulu'nun kararı ile izin verilmiştir. Tez çalışmamız, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

3.1. Örneklem Büyüklüğünün Belirlenmesi

Çalışmamızda, literatürdeki çalışmalardan elde edilen verilere dayanarak G-Power 3.1 (Düsseldorf, Almanya) yazılımı kullanıldı. Buna göre, % 95 güven aralığı, % 95 test gücü ve 0.81 etki büyüklüğü kullanılarak minimum örneklem büyüklüğü hesaplandı. Her bir grubun en az 7 örnek içermesi gerektiği tespit edildi. Çalışmanın istatistiksel gücünü arttırmak ve olası dış kaybını telafi etmek için her grup 12 örnek olacak şekilde belirlendi.

3.2. Çalışma Örneklerinin Bulunması ve Seçimi

Çalışmamızda Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı'ndan son 6 ayda periodontal nedenlerle çekilmiş çürüksüz 80 adet diş belirlendi. Bu 80 dişe giriş kavitesi açılarak 8 K eğe ile kök kanal konfigürasyonu Vertucci Tip 4 olduğu belirlenen 45 diş dahil etme kriterlerini daha detaylı incelemek amacıyla bilgisayarlı tomografi ile değerlendirildi.

3.2.1. Dişlerin Dahil Edilme ve Hariç Tutulma Kriterleri

Çalışmaya uygun olduğu düşünülen 45 diş bilgisayarlı tomografi ile tek tek incelendi. Dişlerde çatlak, kırık, pulpa taşı, kalsifikasyon, rezorbsiyon varlığı, midmezial kanal varlığı, S kurvatürlü kanal, mezial kanalların birleşmesi gibi çalışmaya engel durumlar olmamasına dikkat edildi. Dahil etme kriterlerine uyan ve mezio-bukkal ve mezio-lingual kanal eğimi Schneider yöntemine göre şiddetli (25°-35°) eğrilik sınıfında yer alan dişler seçilmiştir.

Dahil Edilme Kriterleri:

- Kök kanalının kalsifiye olmaması,
- Dişte geniş restorasyon veya çürük olmaması,

- Kök kanallarının kurvatürünün 25°-35° arasında olması
- Daha önce kanal tedavisi yapılmamış olması,
- Kökte rezorbsiyon olmaması,
- Kökte kırık, çatlak vs. olmaması,
- Kökte midmezial kanal olmaması
- Kök kanalının S kurvatürlü olmaması
- Kök boyunun 10 mm ve üzerinde olması
- Apikal çıkışa 8K eğenin sıkışması

Hariç Tutulma Kriterleri:

- Kök kanalının kalsifiye olması,
- Protetik tedavi uygulanmış olması,
- Düz köklere sahip olması,
- Geniş kök kanal morfolojisine sahip olması
- Kökte rezorbsiyon olması,
- Vertikal kök kırığı olması,
- Pulpa taşı bulunması,
- İmmatür köke sahip olması,
- Kısa kök uzunluğuna sahip olması,
- Kökte midmezial kanal olması,
- Meziobukkal ve meziolingual kanalın birleşmesi,
- S kurvatürlü kanal yapısının varlığı.

3.3. Dişlerin Gruplandırılması

Giriş kavitesi hazırlıklarına başlamadan önce dişlerin pulpa odası ana hatlarını belirleyebilmek için tüm dişler uzaysal çözünürlüğe sahip bir KIBT tarayıcısında taranmıştı. Dahil edilme kriterlerini karşılayan 36 adet diş (72 kanal) internet sitesindeki

randomizasyon programı (www.randomizer.org.) kullanılarak 6 gruba ayrıldı. Dişlerin ve grupların numarası kaydedildi. Hazırlanan kavite tipine ve kanal şekillendirmesinde kullanılacak alet çeşidine göre grup başına 12 kanal düşecek şekilde 6 grup planlandı, gruplar aşağıdaki gibidir:

1. grup; Geleneksel Endodontik Kavite (GEK), Protaper Next kullanılan grup
2. grup; Konservatif Endodontik Kavite (KEK), Protaper Next kullanılan grup
3. grup; Truss Endodontik Kavite (TREK), Protaper Next kullanılan grup
4. grup; Geleneksel Endodontik Kavite (GEK), Wave One Gold kullanılan Grup
5. grup; Konservatif Endodontik Kavite (KEK), Wave One Gold kullanılan Grup
6. grup; Truss Endodontik Kavite (TREK) ve Wave One Gold kullanılan Grup

3.4. Geleneksel, Konservatif ve Truss Giriş Kavitelerinin Hazırlanması

- 1. ve 4. gruptaki dişlere geleneksel giriş kavitesi açılması;

Alt büyük azı dişlerinin geleneksel giriş kavitesine yüksek hızda su soğutması altında elmas yuvarlak elmas rond frez kullanılarak başlandı. Frez, merkezi oluk seviyesinde, dişin uzun aksına paralel olacak şekilde konumlandırıldı. Pulpa odası çatısına ulaşana kadar kaviteye genel hatlarını vermek için frez meziodistal ve bukkolingual yönde mine ve dentini kaldıracak şekilde uygulandı. Kavitenin ana hatları, mezialde mezial tüberkül tepelerini birleştiren çizgi ile distalde merkezi fossanın biraz daha distalinde yer alan kenarları yuvarlatılmış üçgen olacak şekilde belirlendi. Daha sonra güvenli alev uçlu elmas frez kullanılarak tüm pulpa odası çatısı ve pulpa boynuzları kaldırıldı. Tüm kanal girişlerinin aynı görsel açıdan görülebilmesi için pulpa odası tabanından okluzal yüzeye kadar düz hatlı erişim sağlandı.



Şekil 17. Alt Büyükazı Dişinde Açılan Geleneksel Endodontik Kavite

- 2. ve 5. gruptaki dişlere konservatif endodontik giriş kavitesi açılması;

Alt büyük azı dişlerinin konservatif giriş kavitesi su soğutması altında 14 numaralı elmas yuvarlak frez ile santral fossanın hafifçe mesialinden dik bir açı ile prepare edilmeye başlandı. Kavite sınırlarının büyük kısmı dişin merkezinde ve mesiobukkalinde kalacak şekilde, bütün kanal ağzları aynı anda görülebilecek şekilde genişletildi. 11 numaralı silindir frez yardımı ile su soğutması altında kavite duvarları paralel hale getirildi.



Şekil 18. Alt Büyükazı Dişinde Açılan Konservatif Endodontik Kavite

- 3. ve 6. Gruptaki dişlere Truss endodontik giriş kavitesi açılması;

Alt büyükazı dişlerinde iki parçalı giriş kavitesi dişin oklüzal yüzeyinde iki noktadan kavite açılması şeklinde planlanmıştır. Birinci kavite dişin mesial yarısında olurken diğer yarısı dişin distalinde hazırlanmıştır. Kaviteler bukkolingual yönde daha

geniş bir yapıda, oval şekilde hazırlanmıştır. Santral fossanın bulunduğu dişin merkez kısmı dokunulmadan bırakılmıştır. Kavitelere elmas rond frez ile su soğutması altında başlanmıştır.



Şekil 19. Alt Büyükazı Dişinde Açılan Truss Endodontik Kavite

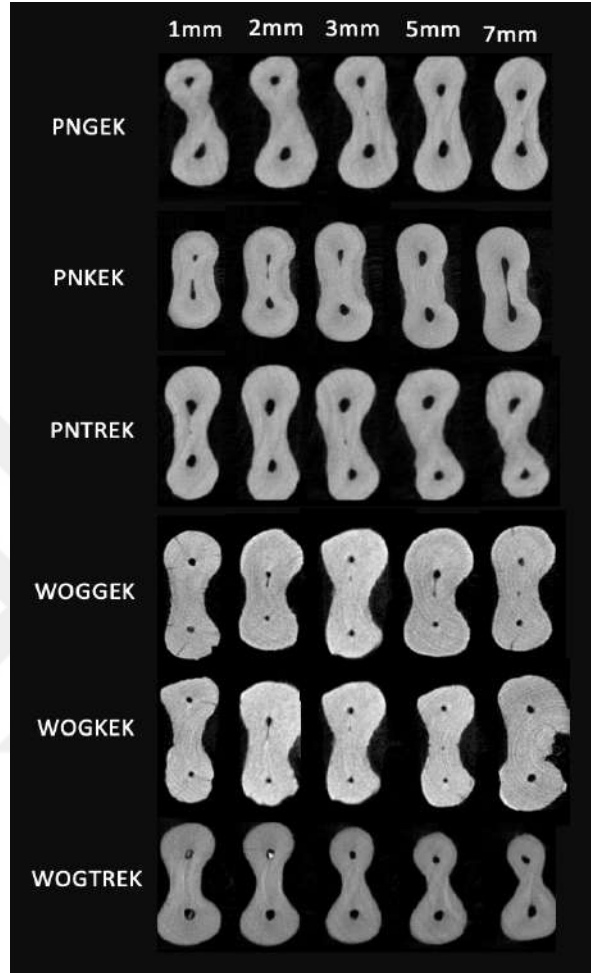
3.5. Kök Kanal Şekillendirmesinden Önce Mikro-BT ile Görüntüleme

Dişler şekillendirmeden önce görüntülerin elde edilmesi için Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Uygulama Araştırma Merkezinde mikro-BT cihazıyla (Bruker Skyscan 1272, Billerica, Massachusetts, ABD) taranmıştır. (Şekil 3. 1.) 92kV ve 108µA ayarı ile tarama yapılmıştır. Tarama dikey eksen etrafında 180° dönüş ile , dönüş adımı 0. 3° olarak yapılmıştır. Görüntülerin piksel boyutu 16 µm'dir. Her bir örneğin tarama süresi yaklaşık olarak 1 saat sürmüştür.



Şekil 20. Bruker Skyscan 1272 Model Mikro-BT Cihazı

Her bir örnek için ortalama 1090 kesit elde edilmiştir. (Şekil 20) Yeniden yapılandırma için NRecon 1. 7. 4. 2 (Bruker Mikro-BT) yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 21. Şekillendirme Öncesine Ait Örnek Mikro-BT Görüntüleri

3.6. Çalışma Boyu Tespiti

Giriş kaviteleri açılan dişlerin meziobukkal ve meziolingual kanallarında ISO #10 K-tipi el eğesinin ucu (Mani Inc., Tochigi-Ken, Japonya) apikal foramenden görünene kadar kanal boyunca ilerletilmiştir. Eğenin görüldüğü yerde boyu ölçülmüştür ve çalışma boyu bu boydan 1 mm kısa olacak şekilde belirlenmiştir.

3.7. Kök Kanallarının Şekillendirilmesi

3.7.1. Protaper Next Eğesi İle 1., 2. ve 3. Gruplardaki Dişlerin Kanal Preparasyonu

Protaper Next eğesi kullanılan çalışma gruplarında #10 K-tipi el eğesi ile apikal patensi kontrol edildikten sonra Glide path eğesi (16.02) kullanılarak giriş yolu oluşturulmuştur. Giriş yolu oluşturulduktan sonra Protaper Next X1 (17/04) eğesi VDW SILVER endomotor ile Protaper Next modunda kullanıldı. Her 3 gagalamadan sonra eğe dentin debrisinden temizlenmiş ve kanallar her eğelemeden sonra 2 ml NaOCl ile irrigasyon yapılmıştır. Çalışma boyuna ulaşınca kadar bu işlemlere devam edilmiştir. Daha sonra Protaper Next X2 (25/06) eğesi ile çalışma boyuna ulaşınca kadar aynı işlemler yapılmıştır. Her kanal için eğe yalnızca 1 kere kullanılmıştır. Final irrigasyon için sırasıyla 5 ml NaOCl ardından 5 ml %17 EDTA solüsyonu ve en son yine 5 ml NaOCl kullanıldı. İrrigasyondan sonra kanallar paper pointler ile kurulanmıştır.



Şekil 22. Çalışmamızda kullandığımız Protaper Next X1 eğesi



Şekil 23. Çalışmamızda kullandığımız Protaper Next X2 eğesi

3.7.2. WaveOne Gold Eğesi İle 4,5,6. Gruplardaki Dişlerin Kanal Preparasyonu

WaveOne Gold (25.07) eğesi kullanılan çalışma gruplarında kanallar #10 K-tipi el eğesi ile apikal patensi kontrol edildikten sonra Glide path eğesi (16.02) kullanılarak giriş yolu oluşturulmuştur. Giriş yolu oluşturulduktan sonra WaveOne Gold eğesi WDV SILVER endomotor ile Resiproc modunda kullanıldı. Her 3 gagalamadan sonra eğe dentin debrisinden temizlenmiş ve kanallar 2 ml NaOCl ile irrigasyon yapılmıştır. Çalışma boyunca ulaşıncaya kadar bu işlemlere devam edilmiştir. Her eğe yalnızca 1 kere kullanılmıştır. Final irrigasyon için sırasıyla 5 ml NaOCl ardından 5ml %17 EDTA solüsyonu ve en son yine 5 ml NaOCl kullanılmıştır. İrrigasyondan sonra kanallar paper pointler ile kurulanmıştır.



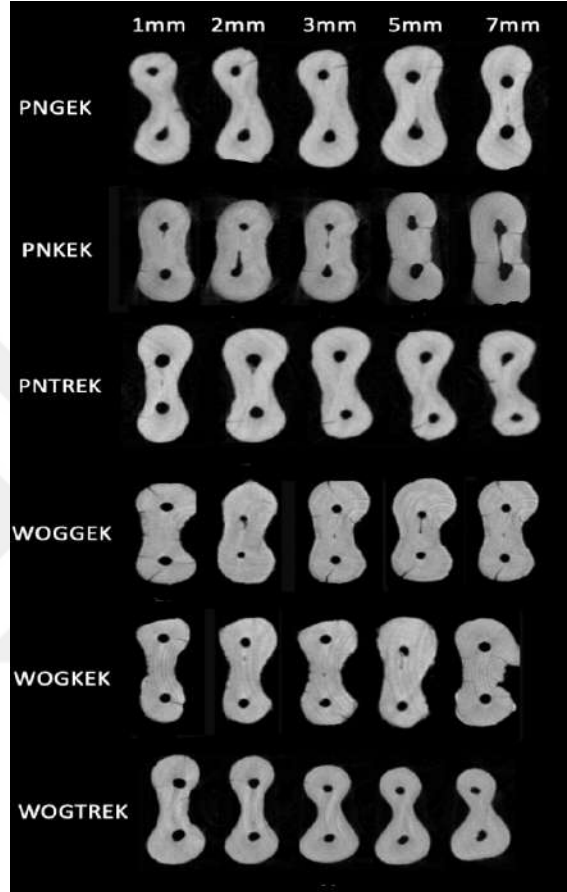
Şekil 24. Çalışmamızda kullandığımız Wave One Gold eğesi



Şekil 25. Çalışmamızda kullandığımız WDV Silver Endomotor

3.8. Şekillendirmeden Sonra Mikro-BT ile Görüntüleme

Kanallar şekillendirildikten sonra ilk taramaların yapıldığı parametreler ile Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Uygulama Araştırma Merkezinde tarama yapılarak ikinci görüntüler elde edilmiştir (Şekil 27).



Şekil 26. Şekillendirme Sonrasına Ait Apikale 1,2,3,5,7 mm Uzaklıktaki Örnek Mikro-BT Görüntüleri

3.9. Apikal Transportasyon, Kanal Merkezleme Yeteneği ve Çıkarılan Dentin Miktarının Değerlendirilmesi

Şekillendirme öncesi ve sonrasındaki görüntüler, DataViewer 1.5.4.0 yazılımının (Bruker mikro-BT) 3B kayıt fonksiyonu kullanılarak çakıştırılmıştır.

Apikal transportasyon değerlendirilmesi için apikalden 1,2,3,5 ve 7 mm uzaktaki aksiyal kesitler kullanılmıştır. Şekillendirmeden önce, kanal ve dış duvar arasındaki mesafeden, şekillendirme sonrası kanal ve dış duvar arasındaki mesafe çıkartılarak kanalın

apikal bölgesinde şekillendirmeye bağlı meydana gelen yer değiştirme miktarları hesaplanmıştır (Şekil 28).

Merkezde kalma yeteneği yine apikalden 1,2,3,5 ve 7 mm uzaktaki aksiyal kesitler kullanılarak değerlendirilmiştir. Şekillendirmeden önce kanal ve dış duvar arasındaki mesafe ile şekillendirme sonrası kanal ve dış duvar arasındaki mesafe oranlanarak kanal merkezleme yetenekleri değerlendirilmiştir.

Apikal transportasyon (AT) ve merkezleme yetenekleri (MY) için aşağıdaki şu formüller kullanılmıştır:

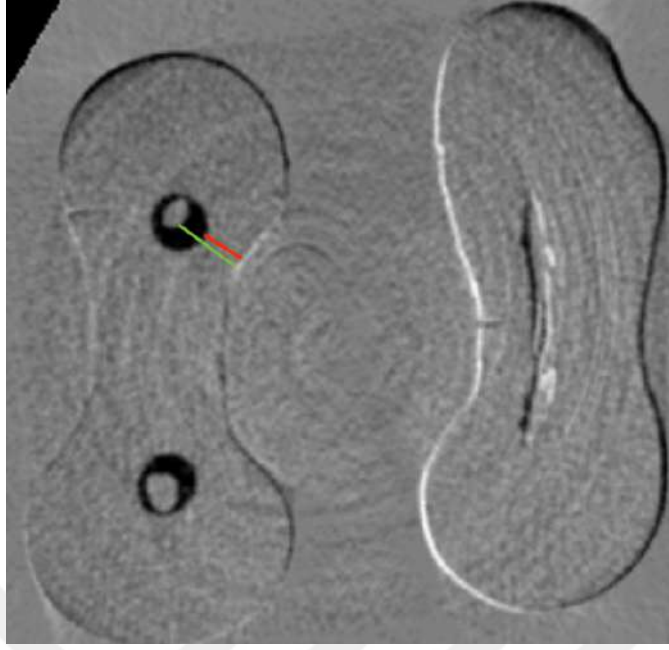
$$AT(BL \text{ yönde})=(B1-B2)-(L1-L2) \text{ ve } AT(MD \text{ yönde})=(M1-M2)-(D1-D2)$$

$$MY(BL \text{ yönde})=(B1-B2)/(L1-L2) \text{ ve } MY(MD \text{ yönde})=(M1-M2)/(D1-D2)$$

AT değerinin pozitif olması kanalın bukkal veya mezial yönde taşındığını, negatif olması ise kanalın ligual veya distal yönde taşındığını göstermektedir. AT değeri eğer sıfır bulunmuş ise kanalın her yönden eşit şekilde genişlediğini ifade eder.

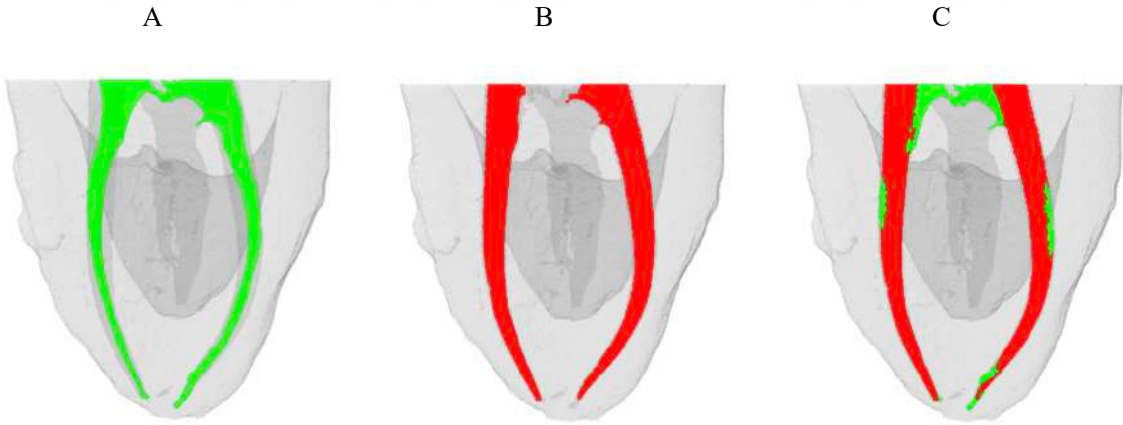
MY değeri bir oran ifade eder. MY değeri hesaplanırken küçük olan sayı pay kısmına yazılır. Bu değer 0 ile 1 arasında değişir. Bu değer 0'a yakın olması merkezden saptığını, 1'e yakın olması merkezde kaldığını ifade eder.

Şekillendirme öncesi ve şekillendirme sonrası alınan mikro bilgisayarlı tomografi görüntüleri DataViewer 1.5.4.0 yazılımının (Bruker mikro-BT) 3B kayıt fonksiyonu kullanılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda çıkarılan dentin hacim miktarı hesaplanmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır (Şekil 29).



Şekil 27. Şekillendirme Öncesi ve Sonrası Örnek Ölçümleri

Şekillendirme öncesi ve sonrası görüntülerin DataViewer 1.5.4.0 programı ile karşılaştırılması, yeşil çizgi M1 ve kırmızı çizgi M2 değerini göstermektedir.



Şekil 28. Çalışmamızda Kullanılan Dişlerin Kanal Hacimlerinin Temsili 3B Rekonstrüksiyonu A. Kök Kanal Genişletilmesi Yapılmadan Önce B. Kök Kanal Genişletilmesi Yapıldıktan Sonra C. Genişletilmeden Önceki ve Sonraki Görüntülerin Süperimpozisyonu

3.10. İstatistiksel Analiz

Çalışma verilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde SPSS 18.0 (SPSS Inc, Şikago, IL, ABD) istatistik paket programı kullanılmıştır. Verilerin normal dağılım gösterip göstermediği Shapiro-Wilk testi ile yapılmıştır. Değişkenler normallik varsayımını sağlamadığı durumda fark testlerinin yapılmasında nonparametrik analiz yöntemleri kullanılmıştır. Normallik varsayımını sağlayan değişkenler için ise öncelikle gruplar arası varyansın homojenliğinin test edilmesi amacıyla Levene test istatistikleri incelenmiştir. Levene testinin sonucuna göre homojen dağılım gösteren gruplar, istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı açısından parametrik bir test olan tek yönlü Anova testi ile değerlendirilmiştir. Levene testinin sonucuna göre homojen dağılım göstermeyen gruplar, istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı açısından non-parametrik bir test olan Kruskal-Wallis testi ile değerlendirilmiştir. Tüm verilerin değerlendirilmesinde %95 güven aralığı ($P=0.05$) uygulanmıştır.

4. BULGULAR

Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre meziodistal yönde apikale 1,2,3,5,7 mm uzaklıklarda ve bukkolingual yönde apikale 1,2,3,7 mm uzaklıklarda gruplar arasında kanal transportasyon değerleri açısından anlamlı bir fark gözlenmezken (Tablo 1,2,3,4,5,6,7,8,10) bukkolingual yönde 5 mm’de PN-KEK grubunda PN-TREK, WOG-GEK ve WOG-TREK gruplarından anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur (Tablo 9).

Mesiodistal yönde apikale 1,2,3 ve 7 mm uzaklıklarda kanal merkezleme oranları açısından anlamlı bir fark gözlenmezken (Tablo 11,12,13,15) mesiodistal yönde apikale 5 mm uzaklıkta WOG-GEK grubunda WOG-KEK grubuna, WOG-TREK grubunda WOG-KEK grubuna, WOG-TREK grubunda PN-GEK grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksek çıkmıştır (Tablo 14). Bukkingual yönde apikale 2,3,5 ve 7 mm uzaklıklarda kanal merkezleme yetenekleri açısından anlamlı bir fark gözlenmezken (Tablo 17,18,19,20) bukkolingual yönde apikale 1 mm uzaklıkta WOG-GEK grubunda PN-TREK grubuna, WOG-KEK grubunda PN-TREK grubuna, WOG-KEK grubunda PN-KEK grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur (Tablo 16).

Kaldırılan dentin miktarı açısından hem meziodistal hem de bukkolingual yönde her apikale 1,2,3,5 ve 7 mm uzaklıklarda gruplar arasında anlamlı fark bulunmamıştır (Tablo 21).

Tablo 1. Mesiodistal yönde apikal 1 mm’de transportasyona ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std. Sapma	p değeri
PNGEK	12	,005390	,209110	,0997350	,099430	,05753551	,615
PNKEK	12	,009470	,344380	,10378444	,047030	,11791793	
PNTREK	12	,008640	,164720	,0639849	,038390	,055639766	
WOGGEK	12	,003790	,161350	,0696111	,037630	,07510690	
WOGKEK	12	,009590	,111690	,04486222	,031960	,07999184	
WOGTREK	12	,007200	,138900	,07197444	,062280	,07654317	

Tablo 2. Mesiodistal yönde apikal 2 mm’de transportasyona ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std. Sapma	p değeri
PNGEK	12	,032640	1,143630	,2061230	,111210	,332273564	,629
PNKEK	12	,002510	,333750	,0894189	,054780	,100068774	
PNTREK	12	,000000	,119440	,0696819	,083160	,044060149	
WOGGEK	12	,000000	,216350	,09250667	,070000	,085365089	
WOGKEK	12	,001750	,703890	,13151333	,039260	,221196226	
WOGTREK	12	,018970	,289220	,08726333	,0465900	,086731577	

Tablo 3. Mesiodistal yönde apikal 3 mm’de transportasyona ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std. Sapma	p değeri
PNGEK	12	,037610	,99930	,1880690	,091900	,29022937	,366
PNKEK	12	,009920	,365060	,1471800	,104420	,11360007	
PNTREK	12	,023170	,365060	,09133222	,069580	,06916790	
WOGGEK	12	,003780	,186970	,08141444	,068730	,05261217	
WOGKEK	12	,042410	,131670	,07843556	,079840	,03148106	
WOGTREK	12	,005860	,260030	,07106667	,040440	,08623451	

Tablo 4. Mesiodistal yönde apikal 5 mm’de transportasyona ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,010220	,421100	,14515600	,11790	,11480379	,224
PNKEK	12	,038410	,210320	,1024200	,093830	,05872754	
PNTREK	12	,010870	,104850	,0642789	,076370	,04112333	
WOGGEK	12	,027500	,383490	,1394522	,074440	,12422115	
WOGKEK	12	,021480	,287180	,13633111	,082460	,09795472	
WOGTREK	12	,002610	,192440	,06761556	,023150	,074460405	

Tablo 5. Mesiodistal yönde apikal 7 mm’de transportasyona ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,008360	,325540	,17583520	,187810	,10279041	,938
PNKEK	12	,075660	,391680	,1824289	,147170	,100521503	
PNTREK	12	,011350	,263960	,16384222	,170140	,090747301	
WOGGEK	12	,010320	,375730	,13993667	,095260	,116451272	
WOGKEK	12	,003320	,432720	,18257667	,203980	,154543222	
WOGTREK	12	,037660	,257700	,14279333	,118930	,088265642	

Tablo 6. Bukkolingual yönde apikal 1 mm’de transportasyona ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,006630	,197050	,07713100	,063260	,05807411	,077
PNKEK	12	,012270	,435330	,11983333	,064850	,13777747	
PNTREK	12	,005070	,114630	,06821667	,067810	,03518938	
WOGGEK	12	,009440	,13733	,15251990	,161950	0,4577628	
WOGKEK	12	,018870	,212610	,10429667	,106410	,07777932	
WOGTREK	12	,114910	,560240	,2079000	,156720	,13608264	

Tablo 7. Bukkolingual yönde apikal 2 mm’de transportasyona ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,000930	,284310	,14154800	,125615	,086944336	,108
PNKEK	12	,037160	,395440	,11795556	,060340	,122906543	
PNTREK	12	,000000	,211330	,06460000	,041090	,063887757	
WOGGEK	12	,010350	,254660	,09724444	,072220	,073904427	
WOGKEK	12	,019360	,22500	,02517121	,134770	,074936114	
WOGTREK	12	,004410	,408890	,1230000	,072190	,140117126	

Tablo 8. Bukkolingual yönde apikal 3 mm’de transportasyona ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,008620	,208650	,10278200	,092910	,058560508	,292
PNKEK	12	,017580	,307760	,14750744	,151227	,115342054	
PNTREK	12	,047490	,156740	,10115222	,098470	,037741431	
WOGGEK	12	,013490	,188670	,07551778	,062430	,054512912	
WOGKEK	12	,003980	,153660	,08683222	,086140	,04740380	
WOGTREK	12	,073180	,331420	,14367778	,112530	,079786770	

Tablo 9. Bukkolingual yönde apikal 5 mm’de transportasyona ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,045780	,484020	,16684400	,098365	,14065746	,042*
PNKEK	12	,114340	,354390	,19307467	,182332	,07570019	
PNTREK	12	,002880	,297240	,08926667	,072650	,09309226	
WOGGEK	12	,023970	,219810	,09120111	,095710	,06641111	
WOGKEK	12	,040310	,353420	,14253444	,137500	,09342234	
WOGTREK	12	,034530	,185900	,10902444	,105630	,05745111	

Tablo 10. Bukkolingual yönde apikal 7 mm’de transportasyona ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,023750	,425530	,14215100	,103350	,129643224	,063
PNKEK	12	,055720	,767030	,25836111	,235500	,208989184	
PNTREK	12	,032250	,335350	,17933111	,163800	,110821756	
WOGGEK	12	,000620	,554560	,18478889	,075230	,190547865	
WOGKEK	12	,077670	,349060	,23011222	,262680	,093942638	
WOGTREK	12	,029050	,217830	,08916556	,083550	,059594768	

Tablo 11. Mesiodistal yönde apikal 1 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,04822	,58985	,3629081	0,3932891	,17917484	,084
PNKEK	12	,00510	,88789	,4236067	0,4422429	,32956184	
PNTREK	12	-,18121	,87314	,3202300	0,1829566	,40723480	
WOGGEK	12	,00460	,96836	,5837099	0,5458256	,30038186	
WOGKEK	12	,27535	,92460	,6015452	0,5769177	,23476617	
WOGTREK	12	,33121	,93885	,6492292	0,6521253	,21587207	

Tablo 12. Mesiodistal yönde apikal 2 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,02574	,64421	,2071177	0,10577	,22616265	,113
PNKEK	12	,00510	,97727	,5001898	0,40589	,31392639	
PNTREK	12	-,06920	1,00000	,4575505	0,475288	,35849002	
WOGGEK	12	,19486	1,00000	,5544842	0,443708	,34166436	
WOGKEK	12	,05034	,97927	,5388920	0,527661	,29279942	
WOGTREK	12	,14925	,82092	,5577717	0,645818	,23737994	

Tablo 13. Mesiodistal yönde apikal 3 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,11920	,99939	,5034157	0,42887	,25994708	,073
PNKEK	12	,08740	,95647	,3904753	0,308460	,28120057	
PNTREK	12	,03240	,79128	,3228160	0,251851	,27819964	
WOGGEK	12	,01349	,97095	,5372093	0,540375	,30403981	
WOGKEK	12	,20161	,68095	,5303291	0,597263	,15846287	
WOGTREK	12	,31799	,98121	,6920379	0,813191	,26394218	

Tablo 14. Mesiodistal yönde apikal 5 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,02933	,90492	,413368	0,37352	,28279375	,033*
PNKEK	12	,01564	,85392	,580008	0,72193	,27234988	
PNTREK	12	,12513	,91056	,607123	0,66375	,27086126	
WOGGEK	12	,08904	,90120	,648527	0,77116	,26331059	
WOGKEK	12	,01865	,83309	,340377	0,30236	,28325385	
WOGTREK	12	,44580	,98791	,760519	0,78373	,21028590	

Tablo 15. Mesiodistal yönde apikal 7 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,24889	,94558	,5087448	0,45446	,23637099	,720
PNKEK	12	,26113	,77807	,4593178	0,31512	,22073549	
PNTREK	12	,10716	,95362	,5234185	0,55399	,24992921	
WOGGEK	12	,24912	,94528	,5414068	0,48635	,25392334	
WOGKEK	12	,24044	,97997	,5898937	0,45452	,28820738	
WOGTREK	12	,23913	,87197	,6249733	0,6507	,21407164	

Tablo 16. Bukkolingual yönde apikal 1 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,04822	,58985	,2629081	0,27123	,17917484	,036*
PNKEK	12	,00510	,88789	,4236067	0,15575	,32956184	
PNTREK	12	-,18121	,87314	,3202300	0,07157	,40723480	
WOGGEK	12	,00460	,96836	,5837099	0,56789	,30038186	
WOGKEK	12	,27535	,92460	,6015452	0,54813	,23476617	
WOGTREK	12	,33121	,93885	,6492292	0,33374	,21587207	

Tablo 17. Bukkolingual yönde apikal 2 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,02574	,64421	,2071177	0,14139	,22616265	,209
PNKEK	12	,00510	,97727	,5001898	0,17558	,31392639	
PNTREK	12	-,06920	1,00000	,4575505	0,43726	,35849002	
WOGGEK	12	,19486	1,00000	,5544842	0,76644	,34166436	
WOGKEK	12	,05034	,97927	,5388920	0,25531	,29279942	
WOGTREK	12	,14925	,82092	,5577717	0,52653	,23737994	

Tablo 18. Bukkolingual yönde apikal 3 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,11920	,99939	,5034157	0,43856	,25994708	,055
PNKEK	12	,08740	,95647	,3904753	0,18152	,28120057	
PNTREK	12	,03240	,79128	,3228160	0,25975	,27819964	
WOGGEK	12	,01349	,97095	,5372093	0,72894	,30403981	
WOGKEK	12	,20161	,68095	,5303291	0,31119	,15846287	
WOGTREK	12	,31799	,98121	,6920379	0,49123	,26394218	

Tablo 19. Bukkolingual yönde apikal 5 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,02933	,90492	,4133678	0,3180	,28279375	,059
PNKEK	12	,01564	,85392	,5800077	0,2487	,27234988	
PNTREK	12	,12513	,91056	,6071234	0,3952	,27086126	
WOGGEK	12	,08904	,90120	,6485276	0,63152	,26331059	
WOGKEK	12	,01865	,83309	,3403771	0,56804	,28325385	
WOGTREK	12	,44580	,98791	,7605189	0,48961	,21028590	

Tablo 20. Bukkolingual yönde apikal 7 mm’de kanal merkezlemeye ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,24889	,94558	,5087448	0,28509	,23637099	,584
PNKEK	12	,26113	,77807	,4593178	0,25446	,22073549	
PNTREK	12	,10716	,95362	,5234185	0,30390	,24992921	
WOGGEK	12	,24912	,94528	,5414068	0,52698	,25392334	
WOGKEK	12	,24044	,97997	,5898937	0,30646	,28820738	
WOGTREK	12	,23913	,87197	,6249733	0,58821	,21407164	

Tablo 21. Kaldırılan dentin miktarına ait istatistikler

Gruplar	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Std Sapma	p değeri
PNGEK	12	,21736	1,50584	,9446873	0,96599	,3568041	,189
PNKEK	12	,72087	1,83658	1,177377	1,13142	,3746601	
PNTREK	12	,42268	1,79081	1,015817	1,15493	,4345373	
WOGGEK	12	,38363	1,99581	1,013040	1,09878	,4820061	
WOGKEK	12	,03862	1,47764	,6442696	0,63125	,5023764	
WOGTREK	12	,58717	1,84338	1,0942268	0,95253	,4713829	

5. TARTIŞMA

Kök kanal sisteminin şekillendirilmesi kanal tedavisinin en önemli aşamalarından birisidir. Kök kanal boşluğunun şekillendirilmesiyle irrigasyon solüsyonları ve medikamentlerin etkinliği artırılarak kanalın sızdırmaz bir şekilde tıkaçlanması hedeflenmektedir (Hülsmann et al. 2005). Doğru biyomekanik şekillendirmenin yapılabilmesi için bu işlemlerin biyolojik ve mekanik yönlerinin bilinmesi önemlidir. Eğimli kök kanallarında biyomekanik hedefler sağlanamaz ise şekillendirme işlemleri sırasında işlemsel hatalar ortaya çıkabilir. (Chole et al. 2016) Bu hatalardan bir tanesi de kanal transportasyonudur.

Kanal transportasyonu, kanal eğesinin şekillendirme esnasında orjinal haline dönme isteğinden dolayı kanalın eğimli kısmındaki dentini kaldırması olarak tanımlanmaktadır. (PETERS 2004) Kanal transportasyonu, şekillendirme esnasında kanal anatomisinin orjinal halinde dokunulmayan ve bunun sonucunda temizlenmemiş alanlara neden olmaktadır. (Schäfer and Dammaschke 2006) Bu durum özellikle enfekte kanallarda bulunan mikroorganizmaların yok edilmesini engelleyen prosedürel bir hatadır. (Hülsmann et al. 2005) Öte yandan kanal transportasyonu, fazla miktarda dentin dokusu kaldırılmasına neden olabilmekte ve kaldırılan bu dentin enfekte olan temizlenemeyen alanlarda birikerek tedavinin başarısını düşürebilmektedir. (Schäfer, Erler, and Dammaschke 2006) Apikal transportasyonun önlenmesi; daha az debris extrüzyonu, daha az postoperatif ağrı ve kök kanal dolgusunun sızdırmaz olmasını sağlar (Berutti et al. 2012).

Geleneksel giriş kavitelerine alternatif olarak diş dokularını mümkün olabildiğince korumak için minimal invaziv giriş kaviteleri tanımlanmıştır (Clark and J. Khademi 2010). Çeşitli çalışmalarda minimal invaziv kavite şekillerinin avantajı olarak dişin kırılma direncini artırdığı söylenmiştir (Bassir et al. 2013; Plotino et al. 2017; Yuan et al. 2016). Bu kaviteler avantaj sağlasa da kök kanal enstrümantasyonunu tehlikeye sokarak bir

dezavantajı beraberinde getirdiğini söyleyen çalışmalar mevcuttur (Alovisi et al. 2018; Prado et al. 2023; Rover et al. 2017). Bu da kanal tedavisinin başarısını düşürebilmektedir.

Kök kanalının genişletilmesi esnasında farklı giriş kavitesi tasarımlarının apikal transportasyon üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar mevcuttur. Ancak farklı giriş kavitesi tasarımlarında truss kavite şeklinin incelendiği çok az çalışma mevcut olup bu kaviteler üzerinde iki farklı kinematiğe sahip eğe sistemleri kullanılarak yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu bilgiler ışığında çalışmamızda farklı kinematiğe sahip eğelerin, üç farklı giriş kavitesi açılmış dişlerde kanal şekillendirme yeteneklerini değerlendirmek için apikal transportasyon, merkezde kalma yetenekleri ve kaldırılan dentin miktarı üzerine etkisi karşılaştırılmıştır.

Çalışmamızı sonuçlarına göre, gruplar arasında transportasyon açısından sadece bukkolingual yönde apikale 5 mm uzaklıktaki seviyede anlamlı farklılıklar bulunmuş olup geri kalan seviyelerde fark bulunmamıştır.

Kanal merkezleme açısından 2 seviyede gruplar arasında anlamlı farklılıklar bulunmuş olup geriye kalan seviyelerde fark bulunmamıştır.

Kaldırılan dentin miktarında ise hiçbir seviyede gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.

Çalışmamızın sonuçlarına göre sıfır hipotezi kısmi olarak reddedilmiştir.

Kök kanal şekillendirme yeteneğinin değerlendirildiği çalışmalarda, kanalın orijinal şeklinin korunup korunmadığı, kanal eğriliğinin düzleşme miktarı, basamak ve perforasyon oluşumu, apikal transportasyon, merkezde kalma yetenekleri değerlendirilmiştir (Campanella et al. 2020; Dhingra et al. 2014; Elnaghy and Elsaka 2016; Özyürek, Yılmaz, and Uslu 2017; Schneider 1971). Kök kanal eğesinin şekillendirme yeteneği, kanalın koronal kısmından başlayarak apikale doğru sürekli daralan koniklikte genişletebilmesini belirtir. Bunun asıl göstergesi merkezde kalma yeteneğidir. Merkezde kalma yeteneği kök kanal eğesinin şekillendirme esnasında kanal eksenini ile aynı hizada kalabilmesini

anlatmaktadır. Eğeler bu özellikleri basamak veya perforasyon gibi hatalar oluşturmadan göstermelidir (Huang et al. 2019). Çalışmamızda literatürdeki bu bilgiler ışığında kanal şekillendirme yeteneğini değerlendirmek adına kanal transportasyonu, kanal merkezleme oranı ve kaldırılan dentin miktarlarını inceledik.

Literatürde giriş kavitesi şekilleri üzerine yapılan çalışmalarda yetersiz açılan giriş kavitelerinin kök kanal enstrmanstasyonunu tehlikeye sokabileceğini ve kök kanal transportasyonuna sebep olabileceği gösterilmiştir (Jafarzadeh and Abbott 2007; Rover et al. 2017) Minimal invaziv kavitelerle yapılan çalışmalarda özellikle iki konu üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmaların çoğu kavite tasarımlarının dişin kırılma direnci üzerine etkisi olsa da kök kanal şekillendirme yeteneğindeki etkisini araştıran çalışmalar yapılmaya devam etmektedir.

Minimal invaziv kavitelerin amacı diş yapısını ve özellikle periservikal dentini korumaktır (Bveda and Kishen 2015). Geleneksel giriş kavitelerinin amacı ise kanala düz bir giriş sağlayıp şekillendirme etkinliğini arttırmak ve prosedürel hataların oluşmasını önlemektir (Patel and Rhodes 2007). ‘Koruma için genişletme’ felsefesiyle açılan kavitelere fazla miktarda dentin kaybına uğrayan dişler fonksiyonel kuvvetler karşısında kırılma eğilimi göstermektedir. (Bassir et al. 2013) Endodontik tedavi görmüş dişlerin kırılması ise genellikle dişin çekimi ile sonuçlanmaktadır. Geleneksel ve ultrakonservatif olarak hazırlanan giriş kavitelerinin kırılma direncini karşılaştıran birçok çalışma mevcuttur. Plotino ve ark. diş üzerinde yaptıkları çalışmada geleneksel, konservatif ve ultrakonservatif kavite dizaynlarının kırılma dayanımı bakımından karşılaştırılmıştır. Konservatif ve ultrakonservatif giriş kavitesi kırılma dayanımını benzer oranda etkilerken, geleneksel kavitelerin anlamlı derecede dişin kırılma direncini düşürdüğü grlmştir. (Plotino et al. 2017) Zhang ve ark. 1. Büyük azı dişlerinde yaptıkları genişletilmiş sonlu elemanlar analizi (extended finite element method) ile geleneksel, konservatif ve ultrakonservatif kavitelerin kırılma dayanımını karşılaştırmıştır. Geleneksel ve konservatif

kavitelerin kırılma dayanımları ultrakonservatif kaviteye sahip dişlere ve hiç dokunulmamış dişlere göre anlamlı ölçüde düşük bulunmuştur (Zhang et al. 2019). Yuan ve ark. alt büyük azı dişlerinde geleneksel ve minimal invaziv giriş kavitelerine bağlı olarak oklüzal stres dağılımını sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırmıştır. Minimal invaziv giriş kavitesi içeren dişlerde oklüzal ve servikal bölgede anlamlı olarak stres dağılımı düşük bulunmuştur (Yuan et al. 2016). Bahsedilen bu çalışmalarda anlatıldığı üzere literatürde minimal invaziv kavite şekillerinde yapılan çalışmaların birçoğu kırılma direnci üzerine etkisini inceleyen çalışmalardır. Bununla birlikte kanal şekillendirme üzerine etkisini inceleyen kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Biz de bu çalışmalara dayanarak endodontik tedavi yapılacak dişlerde, kırılma dayanımını ve sağkalım oranını artırdığı için minimal invaziv kavite şekillerinin kök kanal şekillendirmesi üzerindeki etkisini incelemeyi amaçladık.

Eğri kanallar; apikal transportasyon, basamak oluşumu, alet kırılması gibi prosedürel hataların görülme olasılığını arttırmaktadır. (Stewart et al. 2010; Yamamura et al. 2012) Kanal eğriliğinin derecesi arttıkça ve eğrilige ait yarıçap azaldıkça, kanalın düzleşme eğilimi ve transportasyon riski artar. (Bürklein and Schäfer 2012) Bu hatalar kanal tedavisinin başarısızlığına neden olabilir. (LIN et al. 2005) Kök eğiminin en fazla olduğu dişler, alt ve üst büyük azılardır. Transportasyon çalışmalarında da genellikle alt büyük azıların meziobukkal ve mesiolingual kökleri (Gergi et al. 2014; Junaide et al. 2014; Mokhtari et al. 2014) ve üst büyük azıların meziobukkal kökleri (Nabavizadeh et al. 2014; Peters and Paqué 2011; Zhao et al. 2013) kullanılmıştır. Klinik koşullarda üst büyük azıların %55,7'sinde 2. meziobukkal kanal bulunmaktadır. (Studebaker et al. 2018) Bu bilgiler ışığında daha doğru bir klinik değerlendirme sağlamak adına çalışmamızda, Schneider yöntemine göre kök eğimi 25°-35° arasında olan mandibular 1. molar dişlerin mezio-bukkal ve mezio-lingual kanallarını kullandık.

NiTi kök kanal aletleri geleneksel paslanmaz çelik aletlere göre kök kanalının anatomik formuna daha uyumlu biçimde daha hızlı şekillendirme yapılmasını sağlarlar. NiTi aletler kullanılarak şekillendirilmiş kanallarda daha düzgün koniklik açısı görülürken kanal transportasyonu riski azalmıştır (Anon n.d.a). Paslanmaz çelik ile NiTi el aletlerinin ve döner aletlerin karşılaştırılması ile yapılan bir çalışmada elde edilen sonuçlara göre; NiTi döner aletler çalışma boyunu daha çok korumuştur ve daha az apikal transportasyona sebep olmuştur. NiTi el aletlerinde deformasyon ve kırılma gözlenmemiştir (Bürklein and Schäfer 2012). NiTi enstrümanlarının preparasyon kabiliyetini etkileyen ana faktörlerden biri de enstrümanın yapıldığı alaşımdır (Gagliardi et al. 2015). WaveOne Gold eğesi, esnekliğin arttırılması için geliştirilmiş metalurji ve ısıtılma işlemin kullanıldığı Gold-Wire teknolojisiyle üretilen bir eğedir (Ruddle 2016). ProTaper Next eğesi ise ısıtılma işlem uygulanarak elde edilen M-Wire teknolojisiyle üretilmiş, daha fazla esnekliğe, yorulma direncine sahip ve kesme etkinliğini koruyan benzersiz yönlendirme hareketi olan bir eğe sistemidir (Baig et al. 2015; Soltan M et al. 2008). Yapılan bir çalışmada gold-wire, m-wire ve geleneksel NiTi alaışımının şekillendirme kabiliyeti karşılaştırılmış, gold-wire ve m-wire alaşımlar, alaşımların artan esnekliğine atfedilen önemli ölçüde daha az kanal transportasyonu sergilemiştir (Gagliardi et al. 2015). WaveOne gold resiproc hareket prensibiyle (Webber n.d.) , Protaper Next ise devamlı rotasyonel hareket prensibiyle çalışan eğelerdir (Ruddle et al. 2013). Bu nedenlerden dolayı çalışmamızda farklı kavite şekillerinin kanal şekillendirme yeteneklerini karşılaştırmak için yüksek esneklik gösteren farklı kinematiğe sahip bu iki eğeyi kullandık.

Alovisi ve arkadaşları; konservatif ve geleneksel giriş kavitelerinde yaptıkları bir çalışmada WaveOne Gold eğe sistemini kullanarak kanal merkezleme oranlarını incelemişler ve geleneksel kavitelerde şekillendirme sırasında, özellikle apikal seviyede, konservatif kaviteye kıyasla orijinal kanal anatomisinin daha iyi korunmasını sağladığını bulmuşlardır (Alovisi et al. 2018). Bizim çalışmamızda ise meziodistal yönde apikale 5 mm

uzaklıktaki seviyede WaveOne Gold eğelerinin kullanıldığı geleneksel kavitede konservatif kaviteden daha iyi kanal merkezleme sağladığı görülmüştür. Alovise ve arkadaşlarının çalışması, bizim çalışmamızın sonuçlarını desteklemektedir.

Barbosa ve ark.'ları geleneksel, konservatif ve truss endodontik erişim kaviteleri açılan alt molar dişlerin mesiobukkal ve mesiolingual kanallarındaki şekillendirme ve doldurma yeteneğini değerlendirmişlerdir. Her üç kavite tasarımı arasında kaldırılan dentin miktarı, kanal transportasyonu ve kanal merkezleme açısından hiçbir fark bulunmamıştır (Barbosa et al. 2020). Barbosa ve ark. bu çalışmada resiprokasyon hareketiyle çalışan eğe kullanmışlardır. Bizim çalışmamızdaki resiprokal hareketle çalışan WaveOne Gold eğe gruplarıyla karşılaştırdığımızda, transportasyon açısından bu çalışmayla yine benzer sonuçlar bulunmuştur. Yani WaveOne Gold eğesi kullanılan kavite grupları arasında anlamlı fark çıkmamıştır. Yine bizim çalışmamızda da Barbosa ve ark.'ın çalışmasıyla benzer şekilde kaldırılan dentin miktarı bakımından gruplar arasında anlamlı fark çıkmamıştır. Barbosa ve ark.'nın bu çalışması, bizim çalışmamızdaki hem transportasyon hem de kaldırılan dentin miktarları açısından sonuçlarımızı desteklemektedir. Bununla birlikte bizim çalışmamızda kanal merkezleme yeteneği yine WaveOne Gold eğesi kullanılan kavite grupları arasında geleneksel ve truss kavitede, konservatif kavite grubundan daha iyi bulunmuştur. Bu sonuçlara göre de Prado ve ark.'nın (Prado et al. 2023) çalışmasında da bulunduğu gibi geleneksel ve truss kavitelerin konservatif kavitelere göre daha iyi kanal merkezleme yeteneğine sahip olabileceğini ve kanalın orjinal konumunu daha iyi koruduğunu söyleyebiliriz.

Silva ve ark. nın yaptıkları bir çalışmada, farklı giriş kavitelerine sahip dişlerde, iki farklı resiprokal hareketle çalışan eğe sistemi (Resiproc Blue ve R-Motion) kullanarak kök kanal şekillendirmesini incelemişlerdir. Kök kanalı transportu için, enstrümantasyon protokolleri arasında geleneksel ve konservatif kavite grupları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Truss kavitede, RM eğe sistemi RB eğe sistemine kıyasla

en düşük transportasyon değerlerini sağlamıştır. Truss erişim kaviteleri (TREK), konservatif erişim kaviteleri (KEK) ($14,66 \pm 0,70$) ve geleneksel erişim kaviteleri (GEK) ($19,95 \pm 0,84$) ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstererek en düşük ortalama diş yapısı kaldırma yüzdesiyle ($5,51 \pm 0,74$) sonuçlanmıştır ($p < 0,05$). Bu çalışmaya göre minimal invaziv kavitelerin kök kanal şekillendirmesini bozabileceği ve endodontik tedavi başarısını düşürebileceği düşünülmektedir (Prado et al. 2023). Bu çalışmanın transportasyon ve kaldırılan dentin miktarı bulguları bizim bulgularımızı desteklememektedir. Bizim çalışmamızda ProTaper Next kullanılan konservatif kavite grubunda, ProTaper Next kullanılan truss kavite grubundan daha fazla transportasyon görülmüştür. Kaldırılan dentin miktarı açısından ise bütün gruplar arasında anlamlı fark çıkmamıştır. Bunun sebebi; Prado ve ark.'nın çalışmasında kullandığı eğelerin bizim kullandığımız eğelerden farklı kesit tasarımına ve farklı ısı işlem görmüş olmasından kaynaklanabilir.

Augusto ve ark.'nın geleneksel ve ultrakonservatif kavite şekillerinde aynı eğe sisteminin farklı uç boyutu ve farklı konikliğe sahip olan çeşitlerini kullanarak kanal şekillendirme özelliklerini karşılaştırdıkları çalışmada kanal transportasyonu ve kanal merkezleme yeteneği açısından anlamlı bir fark bulmamışlardır. Çıkarılan dentin yüzdesi bakımından ise apikal preparasyon boyutunun daha büyük olduğu gruplarda daha yüksek bulunmuş olup apikal preparasyon boyutunun aynı olduğu gruplar arasında bir fark bulunmamıştır (Augusto et al. 2020). Bizim bulduğumuz transportasyon miktarı ve kanal merkezleme yetenekleri bu çalışmayla uyuşmamaktadır. Çalışmamızda ProtaperNext kullanılan konservatif kavitelere , truss kavitelere kıyasla daha yüksek bulmuştuk. Bunun nedeni yine kullandığımız eğe sistemlerinin farklı yapısal veya üretimsel olarak farklı işlemlerden geçmiş olması olabilir. Ayrıca kullanılan dişlerin anatomik farklılıklarından da kaynaklanabilir. Yine bu çalışmadaki kaldırılan dentin miktarının apikal preparasyon

boyutunun aynı olduğu gruplar arasında fark çıkmaması, bizim çalışmamızdaki kaldırılan dentin miktarı bulgularını desteklemektedir.

Rover ve ark. nın üst molar dişlere açılan geleneksel ve konservatif kavite tasarımlarını karşılaştıran çalışmasında hem mesiobukkal hem distobukkal hem de distal kanallarındaki kanal transportasyon ve kanal merkezleme yetenekleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre geleneksel kavite grubunda konservatif kavite grubuna kıyasla palatinal kanallarda transportasyon değerlerinin anlamlı derecede düşük, merkezleme yeteneğinin ise anlamlı derecede daha iyi olduğu bulunmuştur (Rover et al. 2017). Bizim çalışmamızda transportasyon miktarı ProTaper Next kullanılan gruplarda konservatif kavitede truss kaviteye göre yüksek bulunmuştur. Merkezleme yeteneği açısından ise WaveOne Gold eğesi kullanılan geleneksel kavitelerde konservatif kavitelerden iyi bulunmuştur. Her iki durum da Rover ve ark.'nın çalışması bizim çalışmamızın bahsettiğimiz bulgularını desteklemektedir.

Albuquerque ve ark, bilgisayarlı tomografi (mikro-CT) kullanarak tek tip kavitede sadece eğelerin şekillendirme yeteneklerini karşılaştırdıkları çalışmada WaveOne Gold, Protaper Next, Prodesign Logic ve Vorteks Blue döner sistemleri ile kök enstrümantasyonu sonrası taşırılan dentin miktarlarını, kanal transportasyon ve kanal merkezleme değerlerini karşılaştırmışlardır. Gruplar arasında kanal transportasyonunda anlamlı bir farklılık görülmemiştir (de Albuquerque et al. 2019). Silva ve ark. yaptıkları bir çalışmada simüle edilmiş eğri kanallarda Resiproc Blue, Wave One Gold ve Protaper Next eğelerinin kanal şekillendirmesi üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır (Florentino Silva et al. 2018). Bu iki çalışmanın bulguları bizim bulgularımızı desteklememektedir. Kanal transportasyonu bizim çalışmamızda_bukkolingual yönde apikale 5 mm uzaklıkta Protaper Next kullanılan konservatif kavite grubunda, WaveOne Gold kullanılan truss ve geleneksel kavite grubuna göre anlamlı derecede yüksek çıkmıştır. Görüldüğü üzere ProTaper Next eğesi WaveOne Gold eğesinden daha fazla transportasyona sebep olmuştur. Bunun sebebi anlamlı farklılık

çıkan gruplarda farklı giriş kavitesi açılmasından veya eğelerin tasarım özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanabilir.

Shroff ark.'nın yaptığı review çalışmasının sonucunda gösterilmiştir ki, konservatif endodontik kaviterler kanal transportasyonu açısından geleneksel kavitelere göre risk oluşturmaktadır (Shroff et al. 2023). Bu çalışmanın bulguları bizim çalışmamızın bulgularını desteklemektedir. Bizim çalışmamızda bukkolingual yönde apikale 5 mm uzaklıktaki seviyede konservatif kavitede, geleneksel kaviteden daha fazla transportasyon görülmüştür. Bunun sebebi geleneksel kaviterlerde ve truss kaviterlerde kanal ağzlarına doğrudan bir giriş sağlanmasıyla açıklanabilir. Konservatif kaviterlerde ise kavite kenarları, kanal ağzlarına ve apikal bölgeye ulaşmakta zorluk çıkarabilir. Bu da iatrojenik hatalar ve kanal transportasyonu için risk oluşturmaktadır.

Rotasyonel ve resiprokal hareketli döner enstrümanların kanal transportasyonlarına etkisi çeşitli çalışmalarda karşılaştırılmıştır. Birçok çalışma resiprokal hareketin kanal transportasyonunu önlemede daha etkili olduğunu rapor ederken, bazı çalışmalar da rotasyonel hareketin daha az kanal transportasyonuna neden olduğunu rapor etmişlerdir (Dhingra 2015; Matos Maia Filho et al. 2015; Tambe et al. 2014). Çapar ve ark. farklı hareket prensibiyle çalışan 6 döner ege sistemlerini karşılaştırdıkları çalışmada, ege sistemlerinin kanal merkezleme yeteneğinde anlamlı bir fark çıkmamıştır. (Capar, Ertas, et al. 2014) Saber ve ark yaptıkları bir başka çalışmada 2 farklı resiprokal hareket yapan tek ege sistemi ile 1 rotasyonel hareket yapan tek ege sisteminin apikal transportasyon oranlarının karşılaştırıldığı çalışmada resiprokal hareket yapan eğelerin daha az apikal transportasyona neden olduğunu bildirmişlerdir (Saber, Nagy, and Schäfer 2015). Resiprokasyon ve rotasyonel hareket ile ilgili, kanal şekilleme yeteneği üzerine yapılan çalışmalarda literatürde çelişkili sonuçlar yer almaktadır. Bizim çalışmamızda resiprokal hareket yapan WaveOne Gold egesiyle açılan konservatif kaviterlerde, devamlı rotasyon hareketi yapan ProTaper Next egesiyle açılan konservatif kaviterlerde

bukkolingual yönde apikale 5 mm uzaklıktaki seviyede daha iyi merkezleme sağladığı bulunmuştur. Diğer yandan transportasyon açısından her üç kavite tipilerinin kendi içlerinde eğeler arasında bir fark görülmemiştir.

Kök kanal şekillendirmesini incelerken rezin bloklar veya çekilmiş insan dişleri üzerinde çalışmalar yapılabilmektedir. Resin bloklar kök kanallarının anatomisini standardize etmesi bakımından avantajlıdır (Schafer et al. 2002). Ancak karşımıza iki tane olumsuzluk çıkmaktadır. Bunlardan birincisi resin bloklar dentin sertliği, kanal düzensizlikleri ve apikal daralma gibi doğal diş özelliklerinden yoksundur. Bir diğeri ise şekillendirme sırasında çıkan ısının resin bloğu eritmesine bağlı olarak döner aletlerin gömülmesi ve alet kırıklarına sebep olabilmesidir (Lupi-Pegurier et al. 2002). Çekilmiş insan dişlerinde en büyük problem standardizasyondur. Ancak klinik duruma daha benzer olduğu ve KIBT ve mikro-BT ile üç boyutlu olarak incelenmeye olanak sağladığı için avantaj sağlamaktadır (Lupi-Pegurier et al. 2002)

Devamlı rotasyon hareketiyle çalışan ProTaper Next ve resiprokal hareketle çalışan WaveOne Gold eğelerinin şekillendirme yeteneklerinin resin bloklarda ve çekilmiş diş üzerinde değerlendiren bir çalışmada resin kanal bloklarında tam tur rotasyon hareketiyle çalışan ProTaper Next ege sisteminde apikal transportasyon anlamlı olarak daha az bulunmuş olmasına rağmen aynı çalışmada çekilmiş dişlerde anlamlı bir fark gözlenmemiştir. WaveOne Gold grubunda resin kanal bloklarında, çekilmiş diş grubuna kıyasla anlamlı olarak daha fazla apikal transportasyon izlenmiştir. Ancak çekilmiş diş grupları arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir. (Ahn, Kim, and Kim 2016)

Bu çalışmalara dayanarak, çalışmamızın klinik şartları daha iyi yansıtması adına çekilmiş insan dişleri üzerinde çalışmamızı gerçekleştirdik. Çekilmiş insan dişlerinin dezavantajı ise değişkenliğe sahip olmalarından dolayı standardizasyonu sağlayamamasıdır. Bu değişkenleri en aza indirmek için mandibular molar dişlerin mesial kanallarını kullandık. Aynı zamanda apikal foramen genişliklerini benzer olarak seçmek

için 10 K eği ile apikal patensi sağlanan ve 15 K eği ile apikale ulaşılamayan dişleri seçtik. Böylece standardizasyonu sağlamaya çalıştık. Her ne kadar bunu sağlamaya çalışsak ta dişleri tamamen standardize etmemiz mümkün değildir. Bu da çalışmamızın bir limitasyonudur.

Çeşitli yöntemler ile kök kanal şekillendirme etkinliği değerlendirilebilmektedir. Bu yöntemlerden bir tanesi, iki boyutlu periapikal röntgenler ile şekillendirme öncesi ve sonrası transportasyon, merkezde kalma gibi değerlerin karşılaştırmasına dayanmaktadır. (Karabucak et al. 2010) İki boyutta yapılan analizler ise kısıtlı miktarda bilgi sağlamaktadır. Bir diğer yöntem konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT)' dir. Bu yöntem ile numunelere zarar verilmeden üç boyutlu şekilde şekillendirme etkinliği (transportasyon, merkezde kalma, kaldırılan dentin miktarı) değerlendirilebilmektedir. (Ma et al. 2012) Konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin dezavantajı ise çeşitli artefaktların elde edilen görüntüyü bozabilmesidir. Mikro bilgisayarlı tomografi günümüzde bu parametrelerin değerlendirilmesinde altın standart olarak kabul edilmektedir (Peters et al. 2000) ve microCT ile bir mikrometreden daha küçük detaylar incelenebilmektedir. (Swain and Xue 2009) Mikro bilgisayarlı tomografi ile numuneler hiçbir zarar görmez. Analiz programları ile alınan görüntüler üzerinde şekillendirmeye dair birden çok parametre (transportasyon, merkezde kalma, enstrümente edilemeyen yüzey alanı, yapı model indeksi, kaldırılan dentin miktarı, toplam hacim değişimi, biriken dentin debris miktarı) değerlendirilebilir. (Yeri and E. A. 2015) Bu yöntemin en büyük dezavantajı diğer yöntemlere göre pahalı olması, teknik hassasiyet (numunelere hep aynı açıdan x ışını verilmesi, öncesi ve sonrası tomografilerin kusursuz biçimde üst üste çakıştırılmasını gerektirmesi) ve numunelerin görüntülenmesinin zaman almasıdır (tek numune için 60 dakika gibi bir süre gerektirmektedir). (Grande et al. 2012) Kök kanal şekillendirme yeteneğini değerlendiren yöntemler arasında daha kaliteli bir görüntü oluşturması ve bu sayede daha detaylı bir

şekilde değerlendirme yapabilmek için çalışmamızda görüntüleme yöntemi olarak mikro bilgisayarlı tomografi kullanmayı tercih ettik.

Merkezde kalma yeteneği kök kanal anatomisinden, kök kanal eğesinin tasarımından, alaşımından, kanal eğesi ile uygulanan şekillendirme tekniğinden etkilenmektedir (Bürklein and Schäfer 2013). Birçok çalışmada eğelerin kinematikleri, koniklikleri ve tasarım özelliklerinin kanal şekillendirme yeteneği üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Literatürde kök kanal şekillendirilmesinde tam tur rotasyon hareketinin, resiprokasyon hareketiyle çalışan eğelere kıyasla daha az apikal transportasyon oluşturduğunu gösteren çalışmalar vardır (Hasheminia et al. 2018; Marceliano-Alves et al. 2015; Marzouk and Ghoneim 2013; Simpsy et al. 2016). Aynı zamanda resiprokasyon hareketinin, tam tur rotasyon hareketine kıyasla kök kanal anatomisi daha iyi koruduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur (Arslan et al. 2016; Dhingra et al. 2014; Franco et al. 2011; Jain, Gupta, and Agrawal 2018; Saber et al. 2015; Tambe et al. 2014). Ayrıca kök kanal şekillendirmesinde tam tur rotasyon ve resiprokasyon hareketlerinin etkisinin olmadığını gösteren çalışmalar da mevcuttur (Bürklein et al. 2012; Capar, Ertas, et al. 2014; Junaid et al. 2014; Mesgarani et al. 2018; Singh et al. 2019; You et al. 2011; Zanesco et al. 2017)

Minimal invazif endodontik preparasyon prensipleriyle uyumlu olmasına rağmen, farklı hareket prensipleriyle çalışan ege sistemleri kullanılarak yapılan enstrümantasyon; patojenik bakterilerin, enfekte dentin ve pulpa kalıntılarının sınırlı eliminasyonu ile ilişkilendirilebilir ve tedavi sonrası hastalık riskini artırabileceğini düşündürebilir. Bu nedenle çalışmamızda, farklı giriş kavitesi tasarımlarının ve farklı hareket prensibiyle çalışan eğelerin kullanımının kanal şekillendirme yeteneği üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçladık.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, alt büyük azı dişlerinde geleneksel, konservatif ve truss kavite şekillerinde Wave One Gold Primary ve Protaper Next X1/X2 eğeleri ile şekillendirme yapılmıştır.

Alt büyük azı dişlerinde konservatif kavitede kullanılan Protaper Next eğe sistemi ile truss kavitede kullanılan Protaper Next eğe sistemi ve truss kavitede kullanılan WaveOne Gold eğe sistemine göre bukkolingual yönde apikale 5 mm uzaklıktaki alanda istatistiksel olarak anlamlı derecede daha fazla kanal transportasyonu ile şekillendirme yapılmıştır ($p<0,05$).

Alt büyük azı dişlerinde WaveOne Gold ile şekillendirilen geleneksel ve truss kavitelere göre; WaveOne Gold ile şekillendirilen truss kavitelere Protaper Next ile şekillendirilen geleneksel kavitelere göre meziodistal yönde 5 mm'de daha iyi kanal merkezleme sağlandığı bulunmuştur ($p<0,05$). Yine WaveOne Gold ile şekillendirilen geleneksel ve konservatif kavitelere Protaper Next ile şekillendirilen truss kavitelere göre; WaveOne Gold ile şekillendirilen konservatif kavitelere Protaper Next ile şekillendirilen konservatif kavitelere göre bukkolingual 1 mm'de daha iyi kanal merkezleme sağlandığı bulunmuştur ($p<0,05$).

Gruplar arasında kaldırılan dentin miktarları kıyaslandığında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. ($p>0,05$)

Farklı giriş kavitesi tasarımlarında farklı eğe sistemlerini kullanarak Mikrobilgisayarlı Tomografi ile kanal şekillendirme yeteneklerini karşılaştırdığımız mevcut çalışmanın koşulları ve sınırlamaları dahilinde:

- Eğri kanallarda Protaper Next eğesi ile en fazla transportasyon konservatif endodontik kavitede görülmüştür.
- Eğri kanallarda Wave One Gold eğesi ile kanal merkezleme yeteneği en düşük konservatif kavitede görülmüştür.

- Kavite çeşitlerinin karşılaştırılmasında transportasyon ve kaldırılan dentin miktarında eğeler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Kanal merkezleme yeteneği ise konservatif kavitelerde Wave One Gold eğesinde, Protaper Next eğesinden yüksek bulunmuştur.



KAYNAKLAR

- Aboud, Lilian Rachel de Lima, Bernardo Camargo dos Santos, Ricardo Tadeu Lopes, Leonardo Aboud Costa Viana, and Miriam Fátima Zaccaro Scelza. 2018. "Effect of Aging on Dentinal Crack Formation after Treatment and Retreatment Procedures: A Micro-CT Study." *Brazilian Dental Journal* 29(6):530–35. doi: 10.1590/0103-6440201802134.
- Abou-Rass, Marwan, Alfred L. Frank, and Dudley H. Glick. 1980. "The Anticurvature Filing Method to Prepare the Curved Root Canal." *The Journal of the American Dental Association* 101(5):792–94. doi: 10.14219/jada.archive.1980.0427.
- Adigüzel, Mehmet, and Ismail Davut Capar. 2017. "Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of WaveOne and WaveOne Gold Small, Primary, and Large Instruments." *Journal of Endodontics* 43(4):623–27. doi: 10.1016/j.joen.2016.11.021.
- Ahn, So-Yeon, Hyeon-Cheol Kim, and Euseong Kim. 2016. "Kinematic Effects of Nickel-Titanium Instruments with Reciprocating or Continuous Rotation Motion: A Systematic Review of In Vitro Studies." *Journal of Endodontics* 42(7):1009–17. doi: 10.1016/j.joen.2016.04.002.
- Alacam T. 2012. "Giriş Kavitesi Preparasyonu ve Pulpa Anatomileri." in *Endodonti*, edited by Alacam T. İskitler/ Ankara.
- de Albuquerque, Mônica S., Armiliana S. Nascimento, Ivan O. Gialain, Eliane A. de Lima, Jeysiellen Af Nery, Poliana R. de Souza Araujo, Rebeca F. de Menezes, Augusto S. Kato, and Rodivan Braz. 2019. "Canal Transportation, Centering Ability, and Dentin Removal after Instrumentation: A Micro-CT Evaluation." *The Journal of Contemporary Dental Practice* 20(7):806–11.

- AL-OMARI, M. A. O., P. M. H. DUMMER, and R. G. NEWCOMBE. 1992. "Comparison of Six Files to Prepare Simulated Root Canals. Part 1." *International Endodontic Journal* 25(2):57–66. doi: 10.1111/j.1365-2591.1992.tb00738.x.
- AL-OMARI, M. A. O., P. M. H. DUMMER, R. G. NEWCOMBE, R. DOLLER, and F. HARTLES. 1992. "Comparison of Six Files to Prepare Simulated Root Canals. Part 2." *International Endodontic Journal* 25(2):67–81. doi: 10.1111/j.1365-2591.1992.tb00739.x.
- AL-Omiri, M. K., and A. M. AL-Wahadni. 2006. "An Ex Vivo Study of the Effects of Retained Coronal Dentine on the Strength of Teeth Restored with Composite Core and Different Post and Core Systems." *International Endodontic Journal* 39(11):890–99. doi: 10.1111/j.1365-2591.2006.01166.x.
- Alovisi, Mario, Damiano Pasqualini, Edoardo Musso, Elena Bobbio, Carlotta Giuliano, Davide Mancino, Nicola Scotti, and Elio Berutti. 2018. "Influence of Contracted Endodontic Access on Root Canal Geometry: An In Vitro Study." *Journal of Endodontics* 44(4):614–20. doi: 10.1016/j.joen.2017.11.010.
- Alrahabi, M., and M. S. Zafar. 2018. "Assessment of Apical Transportation Caused by Nickel-Titanium Rotary Systems with Full Rotation and Reciprocating Movements Using Extracted Teeth and Resin Blocks with Simulated Root Canals: A Comparative Study." *Nigerian Journal of Clinical Practice* 21(6):772–77. doi: 10.4103/njcp.njcp_200_17.
- American Association of Endodontists. 2012. *Glossary of Endodontic Terms*. Vol. 8.
- ANJUM, S. Arbiya, HEGDE, and Swaroop. 2019. "Minimally Invasive Endodontics-A Review."
- Anon. 2006. "Quality Guidelines for Endodontic Treatment: Consensus Report of the European Society of Endodontology." *International Endodontic Journal* 39(12):921–30. doi: 10.1111/j.1365-2591.2006.01180.x.

- Anon. n.d.-a. "https://www.kerrdental.com/tr-tr/endodontik-ueruenler/tf-adaptive-sistemi-endodontik-sekillendirme."
- Anon. n.d.-b. *Peet J van Der Vyver and Michael J Scianamblo Illustrate the Use of Protaper Next Instruments in Difficult and Challenging Endodontic Cases Clinical Guidelines for the Use of Protaper Next Instruments: Part Two.*
- Arslan, Hakan, Damla O. Kirici, Ahmet D. Uygun, Ruslan Khalilov, Yahya Güven, Ertuğrul Karataş, and Halit Aladağ. 2016. "Apical Transportation of ProGlider and ProTaper Next Activated with Different Motions." *The International Journal of Artificial Organs* 39(12):625–28. doi: 10.5301/ijao.5000552.
- Asundi, A, and A. Kishen. 2000. "Stress Distribution in the Dento-Alveolar System Using Digital Photoelasticity." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine* 214(6):659–67. doi: 10.1243/0954411001535688.
- Asundi, Anand, and Anil Kishen. 2000. "A Strain Gauge and Photoelastic Analysis of in Vivo Strain and in Vitro Stress Distribution in Human Dental Supporting Structures." *Archives of Oral Biology* 45(7):543–50. doi: 10.1016/S0003-9969(00)00031-5.
- Augusto, C. M., A. F. A. Barbosa, C. C. Guimarães, C. O. Lima, C. M. Ferreira, L. M. Sassone, and E. J. N. L. Silva. 2020. "A Laboratory Study of the Impact of Ultraconservative Access Cavities and Minimal Root Canal Tapers on the Ability to Shape Canals in Extracted Mandibular Molars and Their Fracture Resistance." *International Endodontic Journal* 53(11):1516–29. doi: 10.1111/iej.13369.
- Baig, ArshiaR, Rajesh Kubde, Chetana Makade, Swapnil Pandey, DeepaDeepak Shori, and PratimaRamakrishna Shenoi. 2015. "Stereomicroscopic Evaluation of Dentinal Defects

- Induced by New Rotary System: 'ProTaper NEXT.'" *Journal of Conservative Dentistry* 18(3):210. doi: 10.4103/0972-0707.154045.
- Barbosa, A. F. A., E. J. N. L. Silva, B. P. Coelho, C. M. A. Ferreira, C. O. Lima, and L. M. Sassone. 2020. "The Influence of Endodontic Access Cavity Design on the Efficacy of Canal Instrumentation, Microbial Reduction, Root Canal Filling and Fracture Resistance in Mandibular Molars." *International Endodontic Journal* 53(12):1666–79. doi: 10.1111/iej.13383.
- Bassir, Mahshid Mohammadi, Akram Labibzadeh, and Fatemeh Mollaverdi. 2013. "The Effect of Amount of Lost Tooth Structure and Restorative Technique on Fracture Resistance of Endodontically Treated Premolars." *Journal of Conservative Dentistry : JCD* 16(5):413–17. doi: 10.4103/0972-0707.117494.
- El Batouty, Kariem M., and Waleed E. Elmallah. 2011. "Comparison of Canal Transportation and Changes in Canal Curvature of Two Nickel-Titanium Rotary Instruments." *Journal of Endodontics* 37(9):1290–92. doi: 10.1016/j.joen.2011.05.024.
- Belograd M. 2014. *The Genius 2 Is Coming*.
- Bergmans, L., J. Van Cleynenbreugel, M. Wevers, and P. Lambrechts. 2001. "A Methodology for Quantitative Evaluation of Root Canal Instrumentation Using Microcomputed Tomography." *International Endodontic Journal* 34(5):390–98. doi: 10.1046/j.1365-2591.2001.00413.x.
- Berutti, Elio, Giorgio Chiandussi, Davide Salvatore Paolino, Nicola Scotti, Giuseppe Cantatore, Arnaldo Castellucci, and Damiano Pasqualini. 2012. "Canal Shaping with WaveOne Primary Reciprocating Files and ProTaper System: A Comparative Study." *Journal of Endodontics* 38(4):505–9. doi: 10.1016/j.joen.2011.12.040.

- BLUM, J., P. MACHTOU, C. RUDDLE, and J. MICALLEF. 2003. "Analysis of Mechanical Preparations in Extracted Teeth Using ProTaper Rotary Instruments: Value of the Safety Quotient." *Journal of Endodontics* 29(9):567–75. doi: 10.1097/00004770-200309000-00007.
- Bouska, Jason, Bruce Justman, Anne Williamson, Christopher DeLong, and Fang Qian. 2012. "Resistance to Cyclic Fatigue Failure of a New Endodontic Rotary File." *Journal of Endodontics* 38(5):667–69. doi: 10.1016/j.joen.2012.01.016.
- Bóveda, Carlos, and Anil Kishen. 2015a. "Contracted Endodontic Cavities: The Foundation for Less Invasive Alternatives in the Management of Apical Periodontitis." *Endodontic Topics* 33(1):169–86. doi: 10.1111/etp.12088.
- Bóveda, Carlos, and Anil Kishen. 2015b. "Contracted Endodontic Cavities: The Foundation for Less Invasive Alternatives in the Management of Apical Periodontitis." *Endodontic Topics* 33(1):169–86. doi: 10.1111/etp.12088.
- Bramante, Clóvis Monteiro, Alceu Berbert, and Roberto Pinheiro Borges. 1987. "A Methodology for Evaluation of Root Canal Instrumentation." *Journal of Endodontics* 13(5):243–45. doi: 10.1016/S0099-2399(87)80099-7.
- Brantley, W. A., T. A. Svec, M. Iijima, J. M. Powers, and T. H. Grentzer. 2002. "Differential Scanning Calorimetric Studies of Nickel Titanium Rotary Endodontic Instruments." *Journal of Endodontics* 28(8):567–72. doi: 10.1097/00004770-200208000-00001.
- Buehler, W. J., J. V. Gilfrich, and R. C. Wiley. 1963. "Effect of Low-Temperature Phase Changes on the Mechanical Properties of Alloys near Composition TiNi." *Journal of Applied Physics* 34(5):1475–77. doi: 10.1063/1.1729603.

- Bürklein, S., S. Benten, and E. Schäfer. 2013. "Shaping Ability of Different Single-file Systems in Severely Curved Root Canals of Extracted Teeth." *International Endodontic Journal* 46(6):590–97. doi: 10.1111/iej.12037.
- Bürklein, S., K. Hinschitza, T. Dammachke, and E. Schäfer. 2012. "Shaping Ability and Cleaning Effectiveness of Two Single-file Systems in Severely Curved Root Canals of Extracted Teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper." *International Endodontic Journal* 45(5):449–61. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01996.x.
- Bürklein, Sebastian, and Edgar Schäfer. 2012. "Apically Extruded Debris with Reciprocating Single-File and Full-Sequence Rotary Instrumentation Systems." *Journal of Endodontics* 38(6):850–52. doi: 10.1016/j.joen.2012.02.017.
- Bürklein, Sebastian, and Edgar Schäfer. 2013. "Critical Evaluation of Root Canal Transportation by Instrumentation." *Endodontic Topics* 29(1):110–24. doi: 10.1111/etp.12043.
- Bürklein, Sebastian, and Edgar Schäfer. 2015. "Minimally Invasive Endodontics." *Quintessence International (Berlin, Germany: 1985)* 46(2):119–24. doi: 10.3290/j.qi.a33047.
- Campanella, Vincenzo, Leonardo Gianni, Antonio Libonati, and Gianni Gallusi. 2020. "Shaping Ability of Reciproc R25 File and Mtwo System Used in Continuous and Reciprocating Motion." *The Journal of Contemporary Dental Practice* 21(2):171–77.
- Çapar, I. D., and H. Arslan. 2016. "A Review of Instrumentation Kinematics of Engine-driven Nickel–Titanium Instruments." *International Endodontic Journal* 49(2):119–35. doi: 10.1111/iej.12432.

- Capar, Ismail Davut, Huseyin Ertas, Evren Ok, Hakan Arslan, and Elif Tarim Ertas. 2014. "Comparative Study of Different Novel Nickel-Titanium Rotary Systems for Root Canal Preparation in Severely Curved Root Canals." *Journal of Endodontics* 40(6):852–56. doi: 10.1016/j.joen.2013.10.010.
- Capar, Ismail Davut, Erhan Ozcan, Hakan Arslan, Huseyin Ertas, and Hale Ari Aydinbelge. 2014. "Effect of Different Final Irrigation Methods on the Removal of Calcium Hydroxide from an Artificial Standardized Groove in the Apical Third of Root Canals." *Journal of Endodontics* 40(3):451–54. doi: 10.1016/j.joen.2013.10.019.
- Carter, J. M., S. E. Sorensen, R. R. Johnson, R. L. Teitelbaum, and M. S. Levine. 1983. "Punch Shear Testing of Extracted Vital and Endodontically Treated Teeth." *Journal of Biomechanics* 16(10):841–48. doi: 10.1016/0021-9290(83)90008-8.
- Castellucci A. 2004. "Access Cavity and Endodontic Anatomy." Pp. 245–329 in *Endodontics*.
- Cheung, G. S. P., and B. W. Darvell. 2007. "Fatigue Testing of a NiTi Rotary Instrument. Part 1: Strain–Life Relationship." *International Endodontic Journal* 40(8):612–18. doi: 10.1111/j.1365-2591.2007.01262.x.
- Chole, Dr Dayananad, Dr Pratik Ashok Burad, Dr Shashank Kundoor, Dr Srinivas Bakle, Dr Amarnath Devagirkar, and Dr Rucha Deshpande. 2016a. "Canal Transportation- A Threat in Endodontics: A Review." *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences* 15(07):64–72. doi: 10.9790/0853-150786472.
- Chole, Dr Dayananad, Dr Pratik Ashok Burad, Dr Shashank Kundoor, Dr Srinivas Bakle, Dr Amarnath Devagirkar, and Dr Rucha Deshpande. 2016b. "Canal Transportation- A Threat in Endodontics: A Review." *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences* 15(07):64–72. doi: 10.9790/0853-150786472.

- Ciobanu, Ionela Elisabeta, Darian Rusu, Stefan-Ioan Stratul, Andreea Cristina Didilescu, and Corina Marilena Cristache. 2016. "Root Canal Stripping: Malpractice or Common Procedural Accident-An Ethical Dilemma in Endodontics." *Case Reports in Dentistry* 2016:4841090. doi: 10.1155/2016/4841090.
- Clark, David, and John Khademi. 2010. "Modern Molar Endodontic Access and Directed Dentin Conservation." *Dental Clinics of North America* 54(2):249–73. doi: 10.1016/j.cden.2010.01.001.
- Clark, David, and John A. Khademi. 2010. "Case Studies in Modern Molar Endodontic Access and Directed Dentin Conservation." *Dental Clinics of North America* 54(2):275–89. doi: 10.1016/j.cden.2010.01.003.
- Clark, David, John Khademi, and Eric Herbranson. 2013. "Fracture Resistant Endodontic and Restorative Preparations." *Dentistry Today* 32(2):118, 120–23.
- Cohen, S., and K. M. Hargreaves. 2006. *Pathways of the Pulp*.
- Coleman, Chris L., and Timothy A. Svec. 1997. "Analysis of Ni-Ti versus Stainless Steel Instrumentation in Resin Simulated Canals." *Journal of Endodontics* 23(4):232–35. doi: 10.1016/S0099-2399(97)80053-2.
- Corsentino, Giacomo, Eugenio Pedullà, Laura Castelli, Marzia Liguori, Valentina Spicciarelli, Marco Martignoni, Marco Ferrari, and Simone Grandini. 2018. "Influence of Access Cavity Preparation and Remaining Tooth Substance on Fracture Strength of Endodontically Treated Teeth." *Journal of Endodontics* 44(9):1416–21. doi: 10.1016/j.joen.2018.05.012.

- Darcey, James, Carly Taylor, Reza Vahid Roudsari, Sarra Jawad, and Mark Hunter. 2015. "Modern Endodontic Planning Part 2: Access and Strategy." *Dental Update* 42(8):709–20. doi: 10.12968/denu.2015.42.8.709.
- De-Deus, Gustavo, Emmanuel João Nogueira Leal Silva, Victor Talarico Leal Vieira, Felipe Gonçalves Belladonna, Carlos Nelson Elias, Gianluca Plotino, and Nicola Maria Grande. 2017. "Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files." *Journal of Endodontics* 43(3):462–66. doi: 10.1016/j.joen.2016.10.039.
- Dhingra, Anil, Rohit Kochar, Satyabrata Banerjee, and Punit Srivastava. 2014. "Comparative Evaluation of the Canal Curvature Modifications after Instrumentation with One Shape Rotary and Wave One Reciprocating Files." *Journal of Conservative Dentistry* 17(2):138. doi: 10.4103/0972-0707.128049.
- Dhingra, Anil. 2015. "Evaluation of Single File Systems Reciproc, Oneshape, and WaveOne Using Cone Beam Computed Tomography –An In Vitro Study." *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*. doi: 10.7860/JCDR/2015/12112.5803.
- Dietrich, Matthew A., Timothy C. Kirkpatrick, and John M. Yaccino. 2012. "In Vitro Canal and Isthmus Debris Removal of the Self-Adjusting File, K3, and WaveOne Files in the Mesial Root of Human Mandibular Molars." *Journal of Endodontics* 38(8):1140–44. doi: 10.1016/j.joen.2012.05.007.
- Elizabeth M., Saunders. 2005. "Hand Instrumentation in Root Canal Preparation." *Endodontic Topics* 10(1):163–67. doi: 10.1111/j.1601-1546.2005.00127.x.

- Elnaghy, A. M. 2014. "Cyclic Fatigue Resistance of <sc>P</Sc> Ro <sc>T</Sc> Aper <sc>N</Sc> Ext Nickel-titanium Rotary Files." *International Endodontic Journal* 47(11):1034–39. doi: 10.1111/iej.12244.
- Elnaghy, AmrM, and ShaymaaE Elsaka. 2016. "Shaping Ability of ProTaper Gold and ProTaper Universal Files by Using Cone-Beam Computed Tomography." *Indian Journal of Dental Research* 27(1):37. doi: 10.4103/0970-9290.179812.
- Estrela, Carlos, Daniel de Almeida Decurcio, Giampiero Rossi-Fedele, Julio Almeida Silva, Orlando Aguirre Guedes, and Álvaro Henrique Borges. 2018. "Root Perforations: A Review of Diagnosis, Prognosis and Materials." *Brazilian Oral Research* 32(suppl 1):e73. doi: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0073.
- Estrela, Carlos, Jesus Djalma Pécora, Cyntia R. A. Estrela, Orlando A. Guedes, Brunno S. F. Silva, Carlos José Soares, and Manoel Damião Sousa-Neto. 2017. "Common Operative Procedural Errors and Clinical Factors Associated with Root Canal Treatment." *Brazilian Dental Journal* 28(2):179–90. doi: 10.1590/0103-6440201702451.
- Feldkamp, Lee A., Steven A. Goldstein, Michael A. Parfitt, Gerald Jesion, and Michael Kleerekoper. 1989. "The Direct Examination of Three-Dimensional Bone Architecture in Vitro by Computed Tomography." *Journal of Bone and Mineral Research* 4(1):3–11. doi: 10.1002/jbmr.5650040103.
- Florentino Silva, Priscila, Esio Coelho, Nayane Chagas Carvalho Alves, Silmara Andrade Silva, Fábio Cavalcanti Pereira, and Diana Santana Albuquerque. 2018. "Canal Transportation and Centering Ability of Reciproc Blue, WaveOne Gold and ProTaper Next in Simulated Curved Canals." *Iranian Endodontic Journal* 13(4):498–502. doi: 10.22037/iej.v13i4.21790.

- Franco, Vittorio, Cristiano Fabiani, Silvio Taschieri, Augusto Malentacca, Monica Bortolin, and Massimo Del Fabbro. 2011. "Investigation on the Shaping Ability of Nickel-Titanium Files When Used with a Reciprocating Motion." *Journal of Endodontics* 37(10):1398–1401. doi: 10.1016/j.joen.2011.06.030.
- Frank, A. L., and F. S. Weine. 1973. "Nonsurgical Therapy for the Perforative Defect of Internal Resorption." *Journal of the American Dental Association (1939)* 87(4):863–68. doi: 10.14219/jada.archive.1973.0526.
- Fuss, Z., and M. Trope. 1996. "Root Perforations: Classification and Treatment Choices Based on Prognostic Factors." *Endodontics & Dental Traumatology* 12(6):255–64. doi: 10.1111/j.1600-9657.1996.tb00524.x.
- Gagliardi, Jason, Marco Aurélio Versiani, Manoel Damião de Sousa-Neto, Andres Plazas-Garzon, and Bettina Basrani. 2015. "Evaluation of the Shaping Characteristics of ProTaper Gold, ProTaper NEXT, and ProTaper Universal in Curved Canals." *Journal of Endodontics* 41(10):1718–24. doi: 10.1016/j.joen.2015.07.009.
- Gambarini, G., G. Plotino, N. M. Grande, D. Al-Sudani, M. De Luca, and L. Testarelli. 2011. "Mechanical Properties of Nickel–Titanium Rotary Instruments Produced with a New Manufacturing Technique." *International Endodontic Journal* 44(4):337–41. doi: 10.1111/j.1365-2591.2010.01835.x.
- Gambarini, Gianluca, Roberto Gerosa, Massimo De Luca, Manish Garala, and Luca Testarelli. 2008. "Mechanical Properties of a New and Improved Nickel-Titanium Alloy for Endodontic Use: An Evaluation of File Flexibility." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 105(6):798–800. doi: 10.1016/j.tripleo.2008.02.017.

- Gambarini, Gianluca, Nicola Maria Grande, Gianluca Plotino, Francesco Somma, Manish Garala, Massimo De Luca, and Luca Testarelli. 2008. "Fatigue Resistance of Engine-Driven Rotary Nickel-Titanium Instruments Produced by New Manufacturing Methods." *Journal of Endodontics* 34(8):1003–5. doi: 10.1016/j.joen.2008.05.007.
- Gambarini, Gianluca, Gianluca Plotino, GianPaolo Sannino, Nicola Maria Grande, Alessio Giansiracusa, Lucila Piasecki, Ulisses Xavier da Silva Neto, Dina Al-Sudani, and Luca Testarelli. 2015. "Cyclic Fatigue of Instruments for Endodontic Glide Path." *Odontology* 103(1):56–60. doi: 10.1007/s10266-013-0138-x.
- Gambill, James M., Marden Alder, and Carlos E. del Rio. 1996. "Comparison of Nickel-Titanium and Stainless Steel Hand-File Instrumentation Using Computed Tomography." *Journal of Endodontics* 22(7):369–75. doi: 10.1016/S0099-2399(96)80221-4.
- Gavini, Giulio, Celso Luiz Caldeira, Eduardo Akisue, George Táccio de Miranda Candeiro, and Dirce Akemi Sacaguti Kawakami. 2012. "Resistance to Flexural Fatigue of Reciproc R25 Files under Continuous Rotation and Reciprocating Movement." *Journal of Endodontics* 38(5):684–87. doi: 10.1016/j.joen.2011.12.033.
- Gavini, Giulio, Marcelo dos Santos, Celso Luis Caldeira, Manoel Eduardo de Lima Machado, Laila Gonzales Freire, Elaine Faga Iglecias, Ove Andrea Peters, and George Táccio de Miranda Candeiro. 2018. "Nickel–Titanium Instruments in Endodontics: A Concise Review of the State of the Art." *Brazilian Oral Research* 32(suppl 1). doi: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0067.
- Gergi, R., N. Osta, G. Bourbouze, C. Zgheib, R. Arbab-Chirani, and A. Naaman. 2015. "Effects of Three Nickel Titanium Instrument Systems on Root Canal Geometry Assessed by

- Micro-computed Tomography." *International Endodontic Journal* 48(2):162–70. doi: 10.1111/iej.12296.
- Gergi, Richard, Reza Arbab-Chirani, Nada Osta, and Alfred Naaman. 2014. "Micro-Computed Tomographic Evaluation of Canal Transportation Instrumented by Different Kinematics Rotary Nickel-Titanium Instruments." *Journal of Endodontics* 40(8):1223–27. doi: 10.1016/j.joen.2014.01.039.
- GORNI, F., and M. GAGLIANI. 2004. "The Outcome of Endodontic Retreatment: A 2-Yr Follow-Up." *Journal of Endodontics* 30(1):1–4. doi: 10.1097/00004770-200401000-00001.
- Grande, Nicola M., Gianluca Plotino, Gianluca Gambarini, Luca Testarelli, Ferdinando D'Ambrosio, Raffaella Pecci, and Rossella Bedini. 2012. "Present and Future in the Use of Micro-CT Scanner 3D Analysis for the Study of Dental and Root Canal Morphology." *Annali Dell'Istituto Superiore Di Sanita* 48(1):26–34. doi: 10.4415/ANN_12_01_05.
- Guelzow, A., O. Stamm, P. Martus, and A. M. Kielbassa. 2005. "Comparative Study of Six Rotary Nickel–Titanium Systems and Hand Instrumentation for Root Canal Preparation." *International Endodontic Journal* 38(10):743–52. doi: 10.1111/j.1365-2591.2005.01010.x.
- Guldborg, R. E., R. T. Ballock, B. D. Boyan, C. L. Duvall, A. S. P. Lin, S. Nagaraja, M. Oest, J. Phillips, B. D. Porter, G. Robertson, and W. R. Taylor. 2003. "Analyzing Bone, Blood Vessels, and Biomaterials with Microcomputed Tomography." *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* 22(5):77–83. doi: 10.1109/MEMB.2003.1256276.
- Guldborg, Robert E., Angela S. P. Lin, Rhima Coleman, Galen Robertson, and Craig Duvall. 2004. "Microcomputed Tomography Imaging of Skeletal Development and Growth."

- Birth Defects Research Part C: Embryo Today: Reviews* 72(3):250–59. doi: 10.1002/bdrc.20016.
- Gutmann JL, and Fan B. 2016. “Tooth Morphology, Isolation and Access.” Pp. 130–80 in *Cohen’s Pathways of the Pulp*. Vol. 11, edited by Hargreaves KM and Berman LH.
- Haapasalo, Markus, and Ya Shen. 2013. “Evolution of Nickel–Titanium Instruments: From Past to Future.” *Endodontic Topics* 29(1):3–17. doi: 10.1111/etp.12049.
- Hartmann, R. C., O. A. Peters, J. A. P. de Figueiredo, and G. Rossi-Fedele. 2018. “Association of Manual or Engine-driven Glide Path Preparation with Canal Centring and Apical Transportation: A Systematic Review.” *International Endodontic Journal* 51(11):1239–52. doi: 10.1111/iej.12943.
- Hashem, Ahmed Abdel Rahman, Angie Galal Ghoneim, Reem Ahmed Lutfy, Manar Yehia Foda, and Gihan Abdel Fatah Omar. 2012. “Geometric Analysis of Root Canals Prepared by Four Rotary NiTi Shaping Systems.” *Journal of Endodontics* 38(7):996–1000. doi: 10.1016/j.joen.2012.03.018.
- Hasheminia, Seyed Mohsen, Alireza Farhad, Mahnaz Sheikhi, Parisa Soltani, Seyedeh Sareh Hendi, and Masoumeh Ahmadi. 2018. “Cone-Beam Computed Tomographic Analysis of Canal Transportation and Centering Ability of Single-File Systems.” *Journal of Endodontics* 44(12):1788–91. doi: 10.1016/j.joen.2018.09.011.
- Hou, XM., Y. Yahata, Y. Hayashi, A. Ebihara, T. Hanawa, and H. Suda. 2011. “Phase Transformation Behaviour and Bending Property of Twisted Nickel-Titanium Endodontic Instruments.” *International Endodontic Journal* 44(3):253–58. doi: 10.1111/j.1365-2591.2010.01818.x.

- Huang, Zhuwei, Jingjing Quan, Jia Liu, Wen Zhang, Xiaolei Zhang, and Xiaoli Hu. 2019. "A Microcomputed Tomography Evaluation of the Shaping Ability of Three Thermally-Treated Nickel-Titanium Rotary File Systems in Curved Canals." *Journal of International Medical Research* 47(1):325–34. doi: 10.1177/0300060518801451.
- Hülsmann, M., M. Schade, and F. Schäfers. 2001. "A Comparative Study of Root Canal Preparation with HERO 642 and Quantec SC Rotary Ni–Ti Instruments." *International Endodontic Journal* 34(7):538–46. doi: 10.1046/j.1365-2591.2001.00431.x.
- Hülsmann, Michael, Ove A. Peters, and Paul M. H. Dummer. 2005. "Mechanical Preparation of Root Canals: Shaping Goals, Techniques and Means." *Endodontic Topics* 10(1):30–76. doi: 10.1111/j.1601-1546.2005.00152.x.
- Iacono, F., C. Pirani, L. Generali, G. Bolelli, P. Sassatelli, L. Lusvarghi, M. G. Gandolfi, L. Giorgini, and C. Prati. 2017. "Structural Analysis of HyFlex <sc>EDM</sc> Instruments." *International Endodontic Journal* 50(3):303–13. doi: 10.1111/iej.12620.
- Ingle JI, Bakland LK, and Baumgartner JC. 2008. "Retreatment of NonHealing Endodontic Therapy and Management of Mishaps." Pp. 1122–23 in *Ingle's endodontics 6th ed.* Hamilton, Ontario; Lewiston, NY.
- Ingle JI, H. V. ., Hawrish CE, Glickmann GN, Serene T, Rosenberg PL, Buchanan LS, West JD, Ruddle CJ, Camp JH, Roane JB, Cecchini CM. 2001. *Endodontics Cavity Preparation.* Hamilton, London:
- Işık V. 2020. "Nikel Titanyum Döner Aletlerin Metalürjik Gelişimi, Küçükay ES, Editör. Endodontide Döner Alet Sistemleri-Hangi Sistem, Nerede, Neden?" *Türkiye Klinikleri*, 1. BASKI:13–20.

- Jafarzadeh, Hamid, and Paul V. Abbott. 2007. "Ledge Formation: Review of a Great Challenge in Endodontics." *Journal of Endodontics* 33(10):1155–62. doi: 10.1016/j.joen.2007.07.015.
- Jain, Aditi, Asmita Singh Gupta, and Rupika Agrawal. 2018. "Comparative Analysis of Canal-Centering Ratio, Apical Transportation, and Remaining Dentin Thickness between Single-File Systems, i.e., OneShape and WaveOne Reciprocation: An in Vitro Study." *Journal of Conservative Dentistry : JCD* 21(6):637–41. doi: 10.4103/JCD.JCD_101_18.
- Junaid, Alanna, Laila Gonzales Freire, Carlos Eduardo da Silveira Bueno, Isabel Mello, and Rodrigo Sanches Cunha. 2014. "Influence of Single-File Endodontics on Apical Transportation in Curved Root Canals: An Ex Vivo Micro-Computed Tomographic Study." *Journal of Endodontics* 40(5):717–20. doi: 10.1016/j.joen.2013.09.021.
- KANCHAN Hegde et al. 2018. "Unusual Ways Usual Destination',," *International Journal of Current Medical and Pharmaceutical Research*.
- Karabucak, Bekir, Adam Joseph Gatan, Chinchai Hsiao, and Mian Khalid Iqbal. 2010. "A Comparison of Apical Transportation and Length Control between EndoSequence and Guidance Rotary Instruments." *Journal of Endodontics* 36(1):123–25. doi: 10.1016/j.joen.2009.09.015.
- Kim, Hyeon-Cheol, Jiwan Yum, Bock Hur, and Gary Shun-Pan Cheung. 2010. "Cyclic Fatigue and Fracture Characteristics of Ground and Twisted Nickel-Titanium Rotary Files." *Journal of Endodontics* 36(1):147–52. doi: 10.1016/j.joen.2009.09.037.
- Kim, Jin-Woon, Jung-Hong Ha, Gary Shun-Pan Cheung, Antheunis Versluis, Sang-Won Kwak, and Hyeon-Cheol Kim. 2014. "Safety of the Factory Preset Rotation Angle of

- Reciprocating Instruments.” *Journal of Endodontics* 40(10):1671–75. doi: 10.1016/j.joen.2014.06.002.
- Krishan, Rajesh, Frank Paqué, Arezou Ossareh, Anil Kishen, Thuan Dao, and Shimon Friedman. 2014. “Impacts of Conservative Endodontic Cavity on Root Canal Instrumentation Efficacy and Resistance to Fracture Assessed in Incisors, Premolars, and Molars.” *Journal of Endodontics* 40(8):1160–66. doi: 10.1016/j.joen.2013.12.012.
- Kuhn, J. L., S. A. Goldstein, L. A. Feldkamp, R. W. Goulet, and G. Jasion. 1990. “Evaluation of a Microcomputed Tomography System to Study Trabecular Bone Structure.” *Journal of Orthopaedic Research* 8(6):833–42. doi: 10.1002/jor.1100080608.
- Lam, T. V., D. J. Lewis, D. R. Atkins, R. H. Macfarlane, R. M. Clarkson, M. G. Whitehead, P. J. Brockhurst, and A. J. Moule. 1999. “Changes in Root Canal Morphology in Simulated Curved Canals Over-Instrumented with a Variety of Stainless Steel and Nickel Titanium Files.” *Australian Dental Journal* 44(1):12–19. doi: 10.1111/j.1834-7819.1999.tb00530.x.
- LAMBRIANIDIS, THEODOROS. 2006. “Ledging and Blockage of Root Canals during Canal Preparation: Causes, Recognition, Prevention, Management, and Outcomes.” *Endodontic Topics* 15(1):56–74. doi: 10.1111/j.1601-1546.2009.00235.x.
- Landis, Eric N., and Denis T. Keane. 2010. “X-Ray Microtomography.” *Materials Characterization* 61(12):1305–16. doi: 10.1016/j.matchar.2010.09.012.
- Larsen, C. Michael, Ikuya Watanabe, Gerald N. Glickman, and Jianing He. 2009. “Cyclic Fatigue Analysis of a New Generation of Nickel Titanium Rotary Instruments.” *Journal of Endodontics* 35(3):401–3. doi: 10.1016/j.joen.2008.12.010.

- LIM, K. C., and J. WEBBER. 1985. "The Effect of Root Canal Preparation on the Shape of the Curved Root Canal." *International Endodontic Journal* 18(4):233–39. doi: 10.1111/j.1365-2591.1985.tb00449.x.
- LIN, LOUIS M., PAUL A. ROSENBERG, and JARSHEN LIN. 2005. "Do Procedural Errors Cause Endodontic Treatment Failure?" *The Journal of the American Dental Association* 136(2):187–93. doi: 10.14219/jada.archive.2005.0140.
- López, Fernanda Ullmann, Juliana Andréa Corrêa Travessas, Elaine Fachin, Vania Fontanella, and Fabiana Grecca. 2009. "Apical Transportation: Two Assessment Methods." *Australian Endodontic Journal: The Journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 35(2):85–88. doi: 10.1111/j.1747-4477.2008.00133.x.
- Lupi-Pegurier, L., M. F. Bertrand, M. Muller-Bolla, J. P. Rocca, and M. Bolla. 2002a. "Periapical Status, Prevalence and Quality of Endodontic Treatment in an Adult French Population." *International Endodontic Journal* 35(8):690–97. doi: 10.1046/j.1365-2591.2002.00547.x.
- Lupi-Pegurier, L., M. F. Bertrand, M. Muller-Bolla, J. P. Rocca, and M. Bolla. 2002b. "Periapical Status, Prevalence and Quality of Endodontic Treatment in an Adult French Population." *International Endodontic Journal* 35(8):690–97. doi: 10.1046/j.1365-2591.2002.00547.x.
- Ma, Jingzhi, Ahmed Jawad Al-Ashaw, Ya Shen, Yuan Gao, Yan Yang, Chengfei Zhang, and Markus Haapasalo. 2012. "Efficacy of ProTaper Universal Rotary Retreatment System for Gutta-Percha Removal from Oval Root Canals: A Micro-Computed Tomography Study." *Journal of Endodontics* 38(11):1516–20. doi: 10.1016/j.joen.2012.08.001.

- Mannan, G., E. R. Smallwood, and K. Gulabivala. 2001. "Effect of Access Cavity Location and Design on Degree and Distribution of Instrumented Root Canal Surface in Maxillary Anterior Teeth." *International Endodontic Journal* 34(3):176–83. doi: 10.1046/j.1365-2591.2001.00359.x.
- Mantri, Shiv P., Ravi Kapur, Niharika A. Gupta, and Charu A. Kapur. 2012. "Type III Apical Transportation of Root Canal." *Contemporary Clinical Dentistry* 3(1):134–36. doi: 10.4103/0976-237X.94565.
- Maqbool, Manahil, Tahir Yusuf Noorani, Jawaad Ahmed Asif, Saleem D. Makandar, and Nafij Bin Jamayet. 2020. "Controversies in Endodontic Access Cavity Design: A Literature Review." *Dental Update* 47(9):747–54. doi: 10.12968/denu.2020.47.9.747.
- Marceliano-Alves, M. F. V., M. D. Sousa-Neto, S. R. Fidel, L. Steier, J. P. Robinson, J. D. Pécora, and M. A. Versiani. 2015. "Shaping Ability of Single-file Reciprocating and Heat-treated Multifile Rotary Systems: A Micro- <sc>CT</sc> Study." *International Endodontic Journal* 48(12):1129–36. doi: 10.1111/iej.12412.
- Marchesan, Melissa A., Adam Lloyd, David J. Clement, Joseph D. McFarland, and Shimon Friedman. 2018. "Impacts of Contracted Endodontic Cavities on Primary Root Canal Curvature Parameters in Mandibular Molars." *Journal of Endodontics* 44(10):1558–62. doi: 10.1016/j.joen.2018.07.008.
- Martín-Micó, Milagros, Leopoldo Forner-Navarro, and Amelia Almenar-García. 2009. "Modification of the Working Length after Rotary Instrumentation: A Comparative Study of Four Systems." *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal* 14(3):E153-7.

- Marzouk, Abeer M., and Angie G. Ghoneim. 2013. "Computed Tomographic Evaluation of Canal Shape Instrumented by Different Kinematics Rotary Nickel-Titanium Systems." *Journal of Endodontics* 39(7):906–9. doi: 10.1016/j.joen.2013.04.023.
- Matos Maia Filho, Etevaldo, Cláudia de Castro Rizzi, Matheus Bandeca Coelho, Sara Freitas Santos, Luzia Mayanne Oliveira Costa, Ceci Nunes Carvalho, Rudys Rodolfo de Jesus Tavares, and Janir Alves Soares. 2015. "Shaping Ability of Reciproc, UnicOne, and Protaper Universal in Simulated Root Canals." *The Scientific World Journal* 2015:1–6. doi: 10.1155/2015/690854.
- McCoy, Todd. 2015. "Managing Endodontic Instrument Separation." *Journal of Veterinary Dentistry* 32(4):262–65. doi: 10.1177/089875641503200412.
- Mesgarani, Abbas, Mahmoud Reza Hamidi, Sina Haghanifar, Shabnam Naiemi, and Ali Bijani. 2018. "Comparison of Apical Transportation and Centering Ability of Mtwo and Reciproc R25 in Severely Curved Canals Using Cone-Beam Computed Tomography." *Dental Research Journal* 15(1):57–62. doi: 10.4103/1735-3327.223620.
- Metzger, Zvi, Ehud Teperovich, Raviv Zary, Raphaela Cohen, and Rafael Hof. 2010. "The Self-Adjusting File (SAF). Part 1: Respecting the Root Canal Anatomy—A New Concept of Endodontic Files and Its Implementation." *Journal of Endodontics* 36(4):679–90. doi: 10.1016/j.joen.2009.12.036.
- Michetti, Jérôme, Delphine Maret, Jean-Philippe Mallet, and Franck Diemer. 2010. "Validation of Cone Beam Computed Tomography as a Tool to Explore Root Canal Anatomy." *Journal of Endodontics* 36(7):1187–90. doi: 10.1016/j.joen.2010.03.029.
- Mokhtari, Hadi, Mahdi Niknami, Aydin Sohrabi, Ehsan Habibivand, Hamid Reza Mokhtari Zonouzi, Saeed Rahimi, and Vahid Zand. 2014. "Cone-Beam Computed Tomography

- Comparison of Canal Transportation after Preparation with BioRaCe and Mtwo Rotary Instruments and Hand K-Flexofiles." *Iranian Endodontic Journal* 9(3):180–84.
- Moore, Brent, Konstantinos Verdelis, Anil Kishen, Thuan Dao, and Shimon Friedman. 2016. "Impacts of Contracted Endodontic Cavities on Instrumentation Efficacy and Biomechanical Responses in Maxillary Molars." *Journal of Endodontics* 42(12):1779–83. doi: 10.1016/j.joen.2016.08.028.
- muni, hajer. 2020. "Debridement Efficiency Of Different Irrigating Protocols In Truss Cavity Access Preparation." *Egyptian Dental Journal* 66(3):1883–92. doi: 10.21608/edj.2020.30740.1129.
- MURDOCH-KINCH, CAROL ANNE, and MARY ELLEN McLEAN. 2003. "Minimally Invasive Dentistry." *The Journal of the American Dental Association* 134(1):87–95. doi: 10.14219/jada.archive.2003.0021.
- Nabavizadeh, Mohammadreza, Abbas Abbaszadegan, Leila Khojastepour, Mohsen Amirhosseini, and Ebrahim Kiani. 2014. "A Comparison of Apical Transportation in Severely Curved Canals Induced by Reciproc and BioRaCe Systems." *Iranian Endodontic Journal* 9(2):117–22.
- NAGY, C. D., K. BARTHA, M. BERNÁTH, E. VERDES, and J. SZABÓ. 1997. "The Effect of Root Canal Morphology on Canal Shape Following Instrumentation Using Different Techniques." *International Endodontic Journal* 30(2):133–40. doi: 10.1046/j.1365-2591.1997.00049.x.
- Neelakantan, Prasanna, Khadija Khan, Geoffrey Pak Hei Ng, Chui Ying Yip, ChengFei Zhang, and Gary Shun Pan Cheung. 2018. "Does the Orifice-Directed Dentin Conservation Access Design Debride Pulp Chamber and Mesial Root Canal Systems of Mandibular

- Molars Similar to a Traditional Access Design?" *Journal of Endodontics* 44(2):274–79. doi: 10.1016/j.joen.2017.10.010.
- Niemi, Tuomas K., Melissa A. Marchesan, Adam Lloyd, and Robert J. Seltzer. 2016. "Effect of Instrument Design and Access Outlines on the Removal of Root Canal Obturation Materials in Oval-Shaped Canals." *Journal of Endodontics* 42(10):1550–54. doi: 10.1016/j.joen.2016.07.011.
- NICHOLLS, E. 1962. "Treatment of Traumatic Perforations of the Pulp Cavity." *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology* 15:603–12. doi: 10.1016/0030-4220(62)90180-9.
- Oswald, R. J. 1979. "Procedural Accidents and Their Repair." *Dental Clinics of North America* 23(4):593–616.
- Özyürek, Taha. 2016. "Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc, WaveOne, and WaveOne Gold Nickel-Titanium Instruments." *Journal of Endodontics* 42(10):1536–39. doi: 10.1016/j.joen.2016.06.019.
- Özyürek, Taha, Koray Yılmaz, and Gülşah Uslu. 2017. "Shaping Ability of Reciproc, WaveOne GOLD, and HyFlex EDM Single-File Systems in Simulated S-Shaped Canals." *Journal of Endodontics* 43(5):805–9. doi: 10.1016/j.joen.2016.12.010.
- Panitvisai, Piyanee, Pimnalin Parunnit, Chankhrit Sathorn, and Harold H. Messer. 2010. "Impact of a Retained Instrument on Treatment Outcome: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Journal of Endodontics* 36(5):775–80. doi: 10.1016/j.joen.2009.12.029.
- Paqué, Frank, and Ove A. Peters. 2011. "Micro-Computed Tomography Evaluation of the Preparation of Long Oval Root Canals in Mandibular Molars with the Self-Adjusting File." *Journal of Endodontics* 37(4):517–21. doi: 10.1016/j.joen.2010.12.011.

- Patel, S., and J. Rhodes. 2007. "A Practical Guide to Endodontic Access Cavity Preparation in Molar Teeth." *British Dental Journal* 203(3):133–40. doi: 10.1038/bdj.2007.682.
- Pedullà, Eugenio, Nicola M. Grande, Gianluca Plotino, Alfio Pappalardo, and Ernesto Rapisarda. 2011. "Cyclic Fatigue Resistance of Three Different Nickel-Titanium Instruments after Immersion in Sodium Hypochlorite." *Journal of Endodontics* 37(8):1139–42. doi: 10.1016/j.joen.2011.04.008.
- Pedullà, Eugenio, Fabio Lo Savio, Simona Boninelli, Gianluca Plotino, Nicola M. Grande, Guido La Rosa, and Ernesto Rapisarda. 2016. "Torsional and Cyclic Fatigue Resistance of a New Nickel-Titanium Instrument Manufactured by Electrical Discharge Machining." *Journal of Endodontics* 42(1):156–59. doi: 10.1016/j.joen.2015.10.004.
- Pereira, E. S. J., I. F. C. Peixoto, A. C. D. Viana, I. I. Oliveira, B. M. Gonzalez, V. T. L. Buono, and M. G. A. Bahia. 2012. "Physical and Mechanical Properties of a Thermomechanically Treated NiTi Wire Used in the Manufacture of Rotary Endodontic Instruments." *International Endodontic Journal* 45(5):469–74. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01998.x.
- Pereira, Erika S. J., Renata O. Gomes, Agnès M. F. Leroy, Rupinderpal Singh, Ove A. Peters, Maria G. A. Bahia, and Vicente T. L. Buono. 2013. "Mechanical Behavior of M-Wire and Conventional NiTi Wire Used to Manufacture Rotary Endodontic Instruments." *Dental Materials* 29(12):e318–24. doi: 10.1016/j.dental.2013.10.004.
- Pereira, Érika Sales Joviano, Ana Cecília Diniz Viana, Vicente Tadeu Lopes Buono, Ove A. Peters, and Maria Guiomar de Azevedo Bahia. 2015. "Behavior of Nickel-Titanium Instruments Manufactured with Different Thermal Treatments." *Journal of Endodontics* 41(1):67–71. doi: 10.1016/j.joen.2014.06.005.

- PETERS, O. 2004. "Current Challenges and Concepts in the Preparation of Root Canal Systems: A Review." *Journal of Endodontics* 30(8):559–67. doi: 10.1097/01.DON.0000129039.59003.9D.
- Peters, O. A., A. Laib, P. Rügsegger, and F. Barbakow. 2000. "Three-Dimensional Analysis of Root Canal Geometry by High-Resolution Computed Tomography." *Journal of Dental Research* 79(6):1405–9. doi: 10.1177/00220345000790060901.
- Peters, Ove A., Claudia Boessler, and Frank Paqué. 2010. "Root Canal Preparation with a Novel Nickel-Titanium Instrument Evaluated with Micro-Computed Tomography: Canal Surface Preparation over Time." *Journal of Endodontics* 36(6):1068–72. doi: 10.1016/j.joen.2010.02.023.
- Peters, Ove A., Stefan Kappeler, Willi Bucher, and Fred Barbakow. 2002. "Engine-Driven Preparation Of Curved Root Canals: Measuring Cyclic Fatigue And Other Physical Parameters*." *Australian Endodontic Journal* 28(1):11–17. doi: 10.1111/j.1747-4477.2002.tb00361.x.
- Peters, Ove A, Koka, and Ravi S. 2008. "Preparation of Coronal and Radicular Spaces." in *Ingle Endodonti*, edited by Ingle J., Bnkland, Leif K., Baumgartner, and J. Craig.
- Peters, Ove A., and Frank Paqué. 2011. "Root Canal Preparation of Maxillary Molars With the Self-Adjusting File: A Micro-Computed Tomography Study." *Journal of Endodontics* 37(1):53–57. doi: 10.1016/j.joen.2010.08.047.
- Pirani, Chiara, Oddone Ruggeri, Pier Paolo Cirulli, Gian Andrea Pelliccioni, Maria Giovanna Gandolfi, and Carlo Prati. 2014. "Metallurgical Analysis and Fatigue Resistance of WaveOne and ProTaper Nickel–Titanium Instruments." *Odontology* 102(2):211–16. doi: 10.1007/s10266-013-0113-6.

Pitt Ford, HE, TR Pitt Ford, and JS Rhodes. 2002. *Endodontics*. CRC Press.

Plotino, Gianluca, Nicola M. Grande, Elisabetta Cotti, Luca Testarelli, and Gianluca Gambarini. 2014. "Blue Treatment Enhances Cyclic Fatigue Resistance of Vortex Nickel-Titanium Rotary Files." *Journal of Endodontics* 40(9):1451–53. doi: 10.1016/j.joen.2014.02.020.

Plotino, Gianluca, Nicola Maria Grande, Almira Isufi, Pietro Ioppolo, Eugenio Pedullà, Rossella Bedini, Gianluca Gambarini, and Luca Testarelli. 2017. "Fracture Strength of Endodontically Treated Teeth with Different Access Cavity Designs." *Journal of Endodontics* 43(6):995–1000. doi: 10.1016/j.joen.2017.01.022.

Prado, Heitor Silva, Igor Bassi Ferreira Petean, Natália Junqueira Saud Franco, Rafael Verardino Camargo, Kleber Kildare Teodoro de Carvalho, Jardel Francisco Mazzi-Chaves, Fabiane Carneiro Lopes-Olhê, Yara Teresinha Corrêa Silva-Sousa, Aline Evangelista Souza-Gabriel, and Manoel Damião Sousa-Neto. 2023. "Impact of Access Cavities on Root Canal Preparation, Restorative Protocol Quality, and Fracture Resistance of Teeth." *Brazilian Oral Research* 37. doi: 10.1590/1807-3107BOR-2023.VOL37.0096.

Prichard, J. 2012. "Rotation or Reciprocation: A Contemporary Look at NiTi Instruments?" *British Dental Journal* 212(7):345–46. doi: 10.1038/sj.bdj.2012.268.

Pruett, John P., David J. Clement, and David L. Carnes. 1997. "Cyclic Fatigue Testing of Nickel-Titanium Endodontic Instruments." *Journal of Endodontics* 23(2):77–85. doi: 10.1016/S0099-2399(97)80250-6.

- Ree, Marga, and Richard S. Schwartz. 2010. "The Endo-Restorative Interface: Current Concepts." *Dental Clinics of North America* 54(2):345–74. doi: 10.1016/j.cden.2009.12.005.
- Reeh, Ernest S., Harold H. Messer, and William H. Douglas. 1989. "Reduction in Tooth Stiffness as a Result of Endodontic and Restorative Procedures." *Journal of Endodontics* 15(11):512–16. doi: 10.1016/S0099-2399(89)80191-8.
- Regan J, and Guttman J. 2004. *Preparation of the Root Canal System. In: Harty's Endodontics in Clinical Practice.*
- Rezaei Dastjerdi, Maryam, Kamran Amirian Chaijan, and Saeid Tavanafar. 2015. "Fracture Resistance of Upper Central Incisors Restored with Different Posts and Cores." *Restorative Dentistry & Endodontics* 40(3):229. doi: 10.5395/rde.2015.40.3.229.
- Roda, R. S. 2001. "Root Perforation Repair: Surgical and Nonsurgical Management." *Practical Procedures & Aesthetic Dentistry : PPAD* 13(6):467–72; quiz 474.
- Roperto, Renato, Yara T. Sousa, Tatiane Dias, Ricardo Machado, Rodrigo D. Perreira, Graziela B. Leoni, Regina G. Palma-Dibb, Monise P. Rodrigues, Carlos J. Soares, Sorin Teich, and Manoel D. de Sousa-Neto. 2019. "Biomechanical Behavior of Maxillary Premolars with Conservative and Traditional Endodontic Cavities." *Quintessence International (Berlin, Germany : 1985)* 50(5):350–56. doi: 10.3290/j.qi.a42369.
- Rover, Gabriela, Felipe Gonçalves Belladonna, Eduardo Antunes Bortoluzzi, Gustavo De-Deus, Emmanuel João Nogueira Leal Silva, and Cleonice Silveira Teixeira. 2017a. "Influence of Access Cavity Design on Root Canal Detection, Instrumentation Efficacy, and Fracture Resistance Assessed in Maxillary Molars." *Journal of Endodontics* 43(10):1657–62. doi: 10.1016/j.joen.2017.05.006.

- Rover, Gabriela, Felipe Gonçalves Belladonna, Eduardo Antunes Bortoluzzi, Gustavo De-Deus, Emmanuel João Nogueira Leal Silva, and Cleonice Silveira Teixeira. 2017b. "Influence of Access Cavity Design on Root Canal Detection, Instrumentation Efficacy, and Fracture Resistance Assessed in Maxillary Molars." *Journal of Endodontics* 43(10):1657–62. doi: 10.1016/j.joen.2017.05.006.
- Ruddle, C. J. 2001. "The ProTaper Endodontic System: Geometries, Features, and Guidelines for Use." *Dentistry Today* 20(10):60–67.
- Ruddle, Clifford J. 2016. "Single-File Shaping Technique: Achieving a Gold Medal Result." *Dentistry Today* 35(1):98, 100, 102–3.
- Ruddle, Clifford J., Pierre Machtou, and John D. West. 2013. "The Shaping Movement: Fifth-Generation Technology." *Dentistry Today* 32(4):94, 96–99.
- Saber, S. E. D. M., M. M. Nagy, and E. Schäfer. 2015. "Comparative Evaluation of the Shaping Ability of Wave One, Reciproc and Wave One Single-file Systems in Severely Curved Root Canals of Extracted Teeth." *International Endodontic Journal* 48(1):109–14. doi: 10.1111/iej.12289.
- Santosh, Sneha Susan, Suma Ballal, and Velmurugan Natanasabapathy. 2021. "Influence of Minimally Invasive Access Cavity Designs on the Fracture Resistance of Endodontically Treated Mandibular Molars Subjected to Thermocycling and Dynamic Loading." *Journal of Endodontics* 47(9):1496–1500. doi: 10.1016/j.joen.2021.06.020.
- Sasov, A., and Van Dyck D. 1998. "Desktop X-Ray Microscopy and Microtomography." *Journal of Microscopy* 191(2):151–58.

- SATTAPAN, B., G. NERVO, J. PALAMARA, and H. MESSER. 2000. "Defects in Rotary Nickel-Titanium Files After Clinical Use." *Journal of Endodontics* 26(3):161–65. doi: 10.1097/00004770-200003000-00008.
- Saunders W, and Saunders E. n.d. *Root Canal Instrumentation*.
- Schäfer, E. 1997. "Root Canal Instruments for Manual Use: A Review." *Dental Traumatology* 13(2):51–64. doi: 10.1111/j.1600-9657.1997.tb00011.x.
- SCHAFER, E., C. DIEZ, W. HOPPE, and J. TEPEL. 2002. "Roentgenographic Investigation of Frequency and Degree of Canal Curvatures in Human Permanent Teeth." *Journal of Endodontics* 28(3):211–16. doi: 10.1097/00004770-200203000-00017.
- Schäfer, E., M. Erler, and T. Dammaschke. 2006. "Comparative Study on the Shaping Ability and Cleaning Efficiency of Rotary Mtwo Instruments. Part 2. Cleaning Effectiveness and Shaping Ability in Severely Curved Root Canals of Extracted Teeth." *International Endodontic Journal* 39(3):203–12. doi: 10.1111/j.1365-2591.2006.01075.x.
- SCHÄFER, EDGAR, and TILL DAMMASCHKE. 2006. "Development and Sequelae of Canal Transportation." *Endodontic Topics* 15(1):75–90. doi: 10.1111/j.1601-1546.2009.00236.x.
- Schilder H. 1974. "Cleaning and Shaping the Root Canal." *Dent Clin North Am*.
- Schneider, Sam W. 1971. "A Comparison of Canal Preparations in Straight and Curved Root Canals." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 32(2):271–75. doi: 10.1016/0030-4220(71)90230-1.
- Sedgley, Christine M., and Harold H. Messer. 1992. "Are Endodontically Treated Teeth More Brittle?" *Journal of Endodontics* 18(7):332–35. doi: 10.1016/S0099-2399(06)80483-8.

- Seltzer, S., I. Sinai, and D. August. 1970. "Periodontal Effects of Root Perforations before and during Endodontic Procedures." *Journal of Dental Research* 49(2):332–39. doi: 10.1177/00220345700490022301.
- Shabbir, Juzer, Tazeen Zehra, Naheed Najmi, Arshad Hasan, Madiha Naz, Lucila Piasecki, and Adham A. Azim. 2021. "Access Cavity Preparations: Classification and Literature Review of Traditional and Minimally Invasive Endodontic Access Cavity Designs." *Journal of Endodontics* 47(8):1229–44. doi: 10.1016/j.joen.2021.05.007.
- Shen, Ya, Hui-min Zhou, Yu-feng Zheng, Les Campbell, Bin Peng, and Markus Haapasalo. 2011. "Metallurgical Characterization of Controlled Memory Wire Nickel-Titanium Rotary Instruments." *Journal of Endodontics* 37(11):1566–71. doi: 10.1016/j.joen.2011.08.005.
- Shen, Ya, Hui-min Zhou, Yu-feng Zheng, Bin Peng, and Markus Haapasalo. 2013. "Current Challenges and Concepts of the Thermomechanical Treatment of Nickel-Titanium Instruments." *Journal of Endodontics* 39(2):163–72. doi: 10.1016/j.joen.2012.11.005.
- Shroff, Manan, Karkala Venkappa Kishan, Nimisha Shah, and Purnima Saklecha. 2023. "Impact of Contracted Endodontic Cavities on Instrumentation Efficacy—A Systematic Review." *Australian Endodontic Journal* 49(1):202–12. doi: 10.1111/aej.12679.
- Silva, A. A., F. G. Belladonna, G. Rover, R. T. Lopes, E. J. L. Moreira, G. De-Deus, and E. J. N. L. Silva. 2020. "Does Ultraconservative Access Affect the Efficacy of Root Canal Treatment and the Fracture Resistance of Two-rooted Maxillary Premolars?" *International Endodontic Journal* 53(2):265–75. doi: 10.1111/iej.13219.
- Silva, E. J. N. L., K. P. Pinto, C. M. Ferreira, F. G. Belladonna, G. De-Deus, P. M. H. Dummer, and M. A. Versiani. 2020. "Current Status on Minimal Access Cavity Preparations: A

- Critical Analysis and a Proposal for a Universal Nomenclature.” *International Endodontic Journal* 53(12):1618–35. doi: 10.1111/iej.13391.
- Simpsey, Gurram Samuel, Girija S Sajjan, Padmaja Mudunuri, Jyothi Chittem, Nalam N. V. D. Prasanthi, and Pankaj Balaga. 2016. “Shaping Ability of Reciprocating Motion of WaveOne and HyFlex in Moderate to Severe Curved Canals: A Comparative Study with Cone Beam Computed Tomography.” *Journal of Conservative Dentistry* 19(6):578. doi: 10.4103/0972-0707.194028.
- Singh, Shalini, Tarun Gupta, Vinisha Pandey, Harshit Singhania, Pooja Pandey, and Shweta Gangavane. 2019. “Shaping Ability of Two-Shape and ProTaper Gold Files by Using Cone-Beam Computed Tomography.” *The Journal of Contemporary Dental Practice* 20(3):330–34.
- Soltan M, Elbyomi M, and Eid G. 2008. “Comparative Study of the Efficacy of Two Newly Introduced Rotary Nickel Titanium Instruments in Shaping of Curved Root Canals. .” *Cairo Dental Journal* 44:7456.
- Stewart, Jeffrey T., Shawn Lafkowitz, Keith Appelbaum, and Gary Hartwell. 2010. “Distortion and Breakage of Liberator, EndoSequence, and ProFile Systems in Severely Curved Roots of Molars.” *Journal of Endodontics* 36(4):729–31. doi: 10.1016/j.joen.2009.11.029.
- Studebaker, Ben, Lars Hollender, Lloyd Mancl, James D. Johnson, and Avina Paranjpe. 2018. “The Incidence of Second Mesio Buccal Canals Located in Maxillary Molars with the Aid of Cone-Beam Computed Tomography.” *Journal of Endodontics* 44(4):565–70. doi: 10.1016/j.joen.2017.08.026.

- Swain, Michael V, and Jing Xue. 2009a. "State of the Art of Micro-CT Applications in Dental Research." *International Journal of Oral Science* 1(4):177–88. doi: 10.4248/IJOS09031.
- Swain, Michael V, and Jing Xue. 2009b. "State of the Art of Micro-CT Applications in Dental Research." *International Journal of Oral Science* 1(4):177–88. doi: 10.4248/IJOS09031.
- Tambe, VarshaHarshal, PradnyaSunil Nagmode, Sathish Abraham, Mahendra Patait, PratikVinod Lahoti, and Neha Jaju. 2014. "Comparison of Canal Transportation and Centering Ability of Rotary Protaper, One Shape System and Wave One System Using Cone Beam Computed Tomography: An in Vitro Study." *Journal of Conservative Dentistry* 17(6):561. doi: 10.4103/0972-0707.144605.
- TAMSE, A., Z. FUSS, J. LUSTIG, and J. KAPLAVI. 1999. "An Evaluation of Endodontically Treated Vertically Fractured Teeth." *Journal of Endodontics* 25(7):506–8. doi: 10.1016/S0099-2399(99)80292-1.
- Tang, Weirong, Younong Wu, and Roger J. Smales. 2010. "Identifying and Reducing Risks for Potential Fractures in Endodontically Treated Teeth." *Journal of Endodontics* 36(4):609–17. doi: 10.1016/j.joen.2009.12.002.
- Tepel, Joachim, Edgar Schäfer, and Wolfgang Hoppe. 1997. "Properties of Endodontic Hand Instruments Used in Rotary Motion. Part 3. Resistance to Bending and Fracture." *Journal of Endodontics* 23(3):141–45. doi: 10.1016/S0099-2399(97)80262-2.
- TESTORI, T., M. BADINO, and M. CASTAGNOLA. 1993. "Vertical Root Fractures in Endodontically Treated Teeth: A Clinical Survey of 36 Cases." *Journal of Endodontics* 19(2):87–90. doi: 10.1016/S0099-2399(06)81202-1.

- Thompson, S. A. 2000. "An Overview of Nickel–Titanium Alloys Used in Dentistry." *International Endodontic Journal* 33(4):297–310. doi: 10.1046/j.1365-2591.2000.00339.x.
- Torabinejad M, Fouad A, and Shabahang S. 2020. *Endodontics E-Book: Principles and Practice*.
- Torabinejad M., and Walton RE. 2009. *Endodontics Principles and Practice*. Vol. 4.
- TSESIS, IGOR, and ZVI FUSS. 2006. "Diagnosis and Treatment of Accidental Root Perforations." *Endodontic Topics* 13(1):95–107. doi: 10.1111/j.1601-1546.2006.00213.x.
- Uygun, A. D., E. Kol, M. K. C. Topcu, F. Seckin, I. Ersoy, and M. Tanriver. 2016. "Variations in Cyclic Fatigue Resistance among ProTaper Gold, ProTaper Next and ProTaper Universal Instruments at Different Levels." *International Endodontic Journal* 49(5):494–99. doi: 10.1111/iej.12471.
- Venturi, M., C. Prati, G. Capelli, M. Falconi, and L. Breschi. 2003. "A Preliminary Analysis of the Morphology of Lateral Canals after Root Canal Filling Using a Tooth-Clearing Technique." *International Endodontic Journal* 36(1):54–63. doi: 10.1046/j.0143-2885.2003.00613.x.
- Vertucci, F. J., and J. E. Haddix. 2011. "Chapter 7. Tooth Morphology and Access Cavity Preparation." Pp. 136–222 in *Cohen's pathways of the pulp*. Vol. 10, edited by Cohen S. and Hargreaves KM.
- VERTUCCI, F. J., J. E. HADDIX, and L. R. BRITTO. 2006. "Tooth Morphology and Access Cavity Preparation." Pp. 148–232 in *Pathways of the pulp*. Vol. 9, edited by K. K. Cohen S.

- Walia, Harmeet, William A. Brantley, and Harold Gerstein. 1988. "An Initial Investigation of the Bending and Torsional Properties of Nitinol Root Canal Files." *Journal of Endodontics* 14(7):346–51. doi: 10.1016/S0099-2399(88)80196-1.
- Wang, Frederick E., Stanley J. Pickart, and Harvey A. Alperin. 1972. "Mechanism of the TiNi Martensitic Transformation and the Crystal Structures of TiNi-II and TiNi-III Phases." *Journal of Applied Physics* 43(1):97–112. doi: 10.1063/1.1660844.
- Webber, Julian. n.d. *Shaping Canals with Confidence: WaveOne GOLD Single-File Reciprocating System*. Vol. 6.
- Weine FS. 2003. *Endodontic Therapy*.
- Wildev, William L., and E. Steve Senia. 1989. "A New Root Canal Instrument and Instrumentation Technique: A Preliminary Report." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 67(2):198–207. doi: 10.1016/0030-4220(89)90332-0.
- Wu, Min-Kai, Athena R'oris, Dimitris Barkis, and Paul R. Wesselink. 2000. "Prevalence and Extent of Long Oval Canals in the Apical Third." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 89(6):739–43. doi: 10.1067/moe.2000.106344.
- Yahata, Yoshio, Yoshiko Masuda, and Takashi Komabayashi. 2017. "Comparison of Apical Centring Ability between Incisal-shifted Access and Traditional Lingual Access for Maxillary Anterior Teeth." *Australian Endodontic Journal* 43(3):123–28. doi: 10.1111/aej.12190.
- Yamamura, Brandon, Timothy C. Cox, Belal Heddaya, Natasha M. Flake, James D. Johnson, and Avina Paranjpe. 2012. "Comparing Canal Transportation and Centering Ability of

- EndoSequence and Vortex Rotary Files by Using Micro-Computed Tomography.” *Journal of Endodontics* 38(8):1121–25. doi: 10.1016/j.joen.2012.04.019.
- Yeri, and E.A. 2015. ““Mikro Bilgisayarlı Tomografi ve Endodontik Araştırmalardaki Yeri.”” *Turkiye Klinikleri J Endod-Special Topics* 1 3239.
- You, Sung-Yeop, Hyeon-Cheol Kim, Kwang-Shik Bae, Seung-Ho Baek, Kee-Yeon Kum, and WooCheol Lee. 2011. “Shaping Ability of Reciprocating Motion in Curved Root Canals: A Comparative Study with Micro-Computed Tomography.” *Journal of Endodontics* 37(9):1296–1300. doi: 10.1016/j.joen.2011.05.021.
- Young, GR, P. Parashos, and HH Messer. 2007. “The Principles of Techniques for Cleaning Root Canals.” *Australian Dental Journal* 52(s1). doi: 10.1111/j.1834-7819.2007.tb00526.x.
- Yuan, Keyong, Chenguang Niu, Qian Xie, Wenxin Jiang, Li Gao, Zhengwei Huang, and Rui Ma. 2016. “Comparative Evaluation of the Impact of Minimally Invasive Preparation vs. Conventional Straight-Line Preparation on Tooth Biomechanics: A Finite Element Analysis.” *European Journal of Oral Sciences* 124(6):591–96. doi: 10.1111/eos.12303.
- ZanESCO, Caroline, Marcus Vinicius Reis Só, Sabrina Schmidt, Vania Regina Camargo Fontanella, Renata Grazziotin-Soares, and Fernando Branco Barletta. 2017. “Apical Transportation, Centering Ratio, and Volume Increase after Manual, Rotary, and Reciprocating Instrumentation in Curved Root Canals: Analysis by Micro-Computed Tomographic and Digital Subtraction Radiography.” *Journal of Endodontics* 43(3):486–90. doi: 10.1016/j.joen.2016.11.006.
- Zanza, Alessio, Maurilio D’Angelo, Rodolfo Reda, Gianluca Gambarini, Luca Testarelli, and Dario Di Nardo. 2021. “An Update on Nickel-Titanium Rotary Instruments in

- Endodontics: Mechanical Characteristics, Testing and Future Perspective—An Overview.” *Bioengineering* 8(12):218. doi: 10.3390/bioengineering8120218.
- Zhang, Yiyi, Yuxuan Liu, Yahu She, Ye Liang, Fei Xu, and Changyun Fang. 2019. “The Effect of Endodontic Access Cavities on Fracture Resistance of First Maxillary Molar Using the Extended Finite Element Method.” *Journal of Endodontics* 45(3):316–21. doi: 10.1016/j.joen.2018.12.006.
- Zhao, Dan, Ya Shen, Bin Peng, and Markus Haapasalo. 2013. “Micro–Computed Tomography Evaluation of the Preparation of Mesio Buccal Root Canals in Maxillary First Molars with Hyflex CM, Twisted Files, and K3 Instruments.” *Journal of Endodontics* 39(3):385–88. doi: 10.1016/j.joen.2012.11.030.
- Zhou, Hui-min, Ya Shen, Wei Zheng, Li Li, Yu-feng Zheng, and Markus Haapasalo. 2012. “Mechanical Properties of Controlled Memory and Superelastic Nickel-Titanium Wires Used in the Manufacture of Rotary Endodontic Instruments.” *Journal of Endodontics* 38(11):1535–40. doi: 10.1016/j.joen.2012.07.006.
- Zogheib, Carla, Germain Sfeir, Gianluca Plotino, Gustavo De Deus, Maha Daou, and Issam Khalil. 2018. “Impact of Minimal Root Canal Taper on the Fracture Resistance of Endodontically Treated Bicuspid.” *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry* 8(2):179. doi: 10.4103/jispcd.JISPCD_88_18.
- Zuolo, M. L., A. A. Zaia, F. G. Belladonna, E. J. N. L. Silva, E. M. Souza, M. A. Versiani, R. T. Lopes, and G. De-Deus. 2018. “Micro-CT Assessment of the Shaping Ability of Four Root Canal Instrumentation Systems in Oval-shaped Canals.” *International Endodontic Journal* 51(5):564–71. doi: 10.1111/iej.12810.

Zupanc, J., N. Vahdat-Pajouh, and E. Schäfer. 2018. "New Thermomechanically Treated NiTi Alloys – a Review." *International Endodontic Journal* 51(10):1088–1103. doi: 10.1111/iej.12924.

