



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
BEZMİALEM VAKIF ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

**FARKLI ENDOMOTOR EĞELERİNİN FARKLI ÇALIŞMA BOYLARINDA
KULLANILMASININ FORAMİNAL DEFORMASYONA ETKİSİ: TARAMALI
ELEKTRON MİKROSKOBU ÇALIŞMASI**

**ENDODONTİ ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ**

Fatma Nurefşan GÜRSOY

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Burak GÜNEŞER

NİSAN 2023

TEŞEKKÜR

Hekimlik mesleği ve hayata yaklaşımıyla bana örnek olan, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, gerekli tüm imkân ve olanakları sağlayarak desteğini esirgemeyen, sabır ve hoşgörüsüyle her zaman yanımda olan değerli hocam, tez danışmanım Doç. Dr. Mehmet Burak Güneşer'e,

Eğitimim süresince klinik ve akademik bilgilerini benimle paylaşan, değerli fikirleri, yol göstericiliği ve anlayışıyla bana özgüven veren, hayata yaklaşımını örnek almaya çalıştığım sevgili hocam Doç. Dr. Asiye Nur Şahin'e,

Uzmanlık eğitimim süresince tecrübe ve tavsiyeleriyle desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmamın planlanması ve yazımı sırasında beni aydınlatan, değerli fikirlerini, sabrını ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Betül Aycan Uysal'a

Uzmanlık eğitimim boyunca tecrübelerinden istifade ettiğim ve her zaman sorularımı hoşgörü ve güler yüzü ile cevaplayan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Gamze Nalcı'ya, Üniversite hayatıma başladığımdan itibaren her zaman her konuda destek alabileceğimi hissettiğim, sevgili hocam ve ablam Dr. Dt. Fatma Kaplan'a

Eğitimim sırasında desteğini benden esirgemeyen hocam Uzm. Dt. Fatma Begüm Peker'e

Birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum başta eşkıdemim Dt. Fuad Sadıqlı'ya, ve asistan arkadaşlarım Dt. Hümeysra Furuncu'ya, Uzm. Dt. Gözde Kotan'a, Uzm. Dt. Melike Özbek'e, Dt. Meryem Çakır'a, Uzm. Dt. Abdülkadir Tiftik'e, Uzm. Dt. Çağrı Ceyli'ye ve uzmanlık sürecimi güzelleştiren Endodonti kürsüsündeki tüm arkadaşlarıma,

Bu tezde ve hayatımın her noktasında tutunduğum, hep yanımda olduklarını bilmemin güven, rahatlık ve mutluluk verdiği canım arkadaşlarım, Nur Sena Arıkan'a, Sena Erduhan'a ve Mehmet Haktan Özsağır'a,

Çok sevgili babam Nurettin Gürsoy'a, annem Nejla Gürsoy'a ve kuzenim Mustafa Fatih Evren'e

En derin duygularıyla teşekkür ederim.

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlâl edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Fatma Nurefşan Gürsoy



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iii
BEYAN.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR VE SEMBOLLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Kök Kanallarının Şekillendirilmesi.....	3
2.2 Kök Kanal Anatomisi	5
2.2.1 Dentin-Sement Birleşimi (DSB)	8
2.2.2 Apikal Foramen (Majör Foramen).....	9
2.2.3 Apikal Daralım (Minör Foramen).....	11
2.3 Çalışma Boyu.....	12
2.4 Kök Kanal Tedavisinde Kullanılan Enstrümanlar	14
2.4.1 Birinci nesil döner eğeler	16
2.4.2 İkinci nesil döner eğeler.....	16
2.4.3 Üçüncü nesil döner eğeler.....	17
2.4.4 Dördüncü nesil döner eğeler	18
2.4.5 Beşinci nesil döner eğeler	19
2.5 Çalışmamızda Kullanılan NiTi Döner Eğe Sistemleri.....	20
2.5.1 VDW Rotate NiTi Döner Alet Sistemi.....	20
2.5.2 MikroMega One RECI NiTi Döner Alet Sistemi	21
2.6 Kök Dentininde Oluşan Defektler	22
2.7 Dentin Defektlerini İnceleme Yöntemleri	24
2.7.1 Mikro-Bilgisayarlı Tomografi (Mikro-BT).....	24
2.7.2 LED (Light Emitting Diode) Transillüminasyon	24
2.7.3 Stereomikroskop	25
2.7.4 Optik Koherens Tomografi	25
2.7.5 Kızılötesi Termografi.....	25

2.7.6	Kesit Alma	26
2.7.7	Endoskopi	26
2.7.8	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	26
3.	GEREÇ VE YÖNTEM	28
3.1	Power Analizi.....	28
3.2	Deney Gruplarının Hazırlanması	28
3.2.1	Dişlerin Seçimi.....	28
3.2.2	Örneklerin Hazırlanması	29
3.3	Kök Kanal Preparasyonu	30
3.3.1	Kök Kanal Preparasyonu Öncesi SEM ile Tarama	30
3.3.2	VDW Rotate NiTi Döner Alet Sistemi.....	32
3.3.3	MikroMega One RECI NiTi Döner Alet Sistemi ile Şekillendirme	33
3.3.4	Kök Kanal Preparasyonu Sonrası SEM ile Tarama.....	35
3.4	SEM Görüntülerinin Analizi.....	35
4.	BULGULAR	39
4.1	Alan değişimi (μm)	39
4.2	Dairesellik değişimi ($\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$)	40
4.3	Feret açısı ($\mu\text{m}/\mu\text{m}$)	45
5.	TARTIŞMA	47
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	56
7.	KAYNAKÇA	57

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

DSB	: Dentin-Sement Birleşimi
NiTi	: Nikel-Titanyum Alaşımı
CW	: Saat Yönünde
CCW	: Saat Yönünün Tersi Yönünde
VKK	: Vertikal Kök Kırığı
Mikro-BT	: Mikro-Bilgisayarlı Tomografi
LED	: Light Emitting Diode
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
NaOCl	: Sodyum Hipoklorit
mm	: milimetre
AF	: Apikal Foramen
AF-1 mm	: Apikal Foramenden 1 mm Geride
kV	: kilovolt
µm	: mikrometre
mL	: mililitre

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Alan değişimi	40
Tablo 4.2 Dairesellik değişimi.....	40
Tablo 4.3 Maksimum-minimum ferret oranı	46



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Şekillendirme öncesi hazırlanmış örnek diş.....	29
Şekil 4.1 MikroMega One RECI AF-1 mm grubuna ait şekillendirme öncesi bir örnek SEM görüntüsü.....	41
Şekil 4.2 MikroMega One RECI AF-1 mm grubuna ait şekillendirme sonrası bir örnek SEM görüntüsü.....	41
Şekil 4.3 MikroMega One RECI AF grubuna ait şekillendirme öncesi bir örnek SEM görüntüsü	42
Şekil 4.4 MikroMega One RECI AF grubuna ait şekillendirme sonrası bir örnek SEM görüntüsü	42
Şekil 4.5 VDW Rotate AF-1 mm grubuna ait şekillendirme öncesi bir örnek SEM görüntüsü ..	43
Şekil 4.6 VDW Rotate AF-1 mm grubuna ait şekillendirme öncesi bir örnek SEM görüntüsü ..	43
Şekil 4.7 VDW Rotate AF grubuna ait şekillendirme öncesi bir örnek SEM görüntüsü	44
Şekil 4.8 VDW Rotate AF grubuna ait şekillendirme sonrası bir örnek SEM görüntüsü.....	44
Şekil 4.9 Feret birimleri	45



FARKLI ENDOMOTOR EĞELERİNİN FARKLI ÇALIŞMA BOYLARINDA KULLANILMASININ FORAMİNAL DEFORMASYONA ETKİSİ: TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU ÇALIŞMASI

ÖZET

Bu tez çalışmasının amacı resiprokal hareket prensibi ile çalışan MikroMega One RECI ve rotasyon hareketi prensibiyle çalışan VDW Rotate ege sistemlerinin farklı çalışma boylarında kullanılarak eğerlerin foraminal deformasyona etkisini taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla *ex vivo* olarak değerlendirmektir.

Çalışmamızda 60 adet apikal gelişimini tamamlamış mandibular premolar insan dişi kullanılmıştır. Kökler kronlarından uzaklaştırılarak 19 ± 1 mm boyunda olacak şekilde standardize edilmiştir. Preparasyon öncesi dişler SEM ile x300 büyütme altında incelenmiş ve apikal foramen açılım noktasından görüntü alınmıştır. Ardından örnekler kullanılan eğerlere ve apikal şekillendirmenin bitim noktalarına göre Grup 1: VDW Rotate ile apikal foramende (AF); Grup 2: VDW Rotate ile apikal foramenden 1 mm geride (AF-1mm); Grup 3: MikroMega One RECI ile apikal foramende ve Grup 4: MikroMega One RECI ile apikal foramenden 1 mm geride şekillendirilmek üzere dört gruba ayrılmıştır. Grup 1 ve Grup 2'deki dişlerin kök kanal preparasyonu VDW Rotate (VDW Dental, Almanya) NiTi döner ege sisteminin 15/.04, 20/.04, 25/.04 ve 35/.04 eğerleri kullanılarak yapılmıştır. Grup 3 ve Grup 4'teki dişlerin kök kanal preparasyonu ise One RECI (Micro-Mega®, Besançon, Fransa) NiTi döner ege sisteminin One G, 20/.04, 25/.04 ve 35/.04 eğerleri kullanılarak yapılmıştır. Şekillendirme esnasında her ege değişiminde kanallar 2 mL %2,5'lik NaOCl ile yıkanmıştır. Kanallar toplamda 15 mL NaOCl ile yıkanarak irrigasyon tamamlanmıştır. Şekillendirilmesi tamamlanan dişler ilk pozisyonlarında sabitlenerek yeniden SEM ile görüntüler alınmıştır. Preparasyon öncesi ve sonrası elde edilen SEM görüntüleri bir yazılım programı (Image j) yardımıyla foramen alanı, dairesellik ve Feret çap oranı hesaplanarak karşılaştırılmış ve foraminal deformasyon varlığı bu ölçümlere göre değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerin Shapiro Wilks testi ile parametrelerin (foramen alanı, dairesellik ve Feret çap oranı) normal dağılıma uygun olduğu saptanmış, Levene testi ile varyans homojenliğine bakılmıştır. İki yönlü varyans analizi ve ikili karşılaştırmalarda Bonferroni testi kullanılmıştır ($p=0,05$).

Elde edilen bulgulara göre iki farklı eğe sistemi kullanılarak farklı çalışma boylarında yapılan preparasyon sonucunda foramen alanlarının arttığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). VDW Rotate/AF grubunun VDW/AF-1 mm grubuna göre foramen alanının anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$). One RECI gruplarında ise her iki çalışma boyunda da foramen alanı açısından anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($p>0,05$). Tüm gruplarda dairesellik ve feret oranlarının istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olmadığı görülmüştür ($p>0,05$).

Yapılan bu *ex vivo* alışmanın sınırlılıkları dahilinde; VDW Rotate ve One RECI ile hem apikal foramende hem de apikal foramenin 1 mm gerisinde gerçekleştirilen kök kanal şekillendirmesinin apikal foramen deformasyonuna yol amadığı bulunmuştur.

Anahtar sözcükler: apikal foramen, çalışma boyu, foraminal deformasyon, resiprokasyon hareketi, rotasyon hareketi

THE EFFECT OF USING DIFFERENT ENDOMOTOR FILES IN DIFFERENT WORKING LENGTHS AT FORAMINAL DEFORMATION: A SCANNING ELECTRON MICROSCOPE STUDY

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the effect of the files on foraminal deformation *ex vivo* by using scanning electron microscope technique. For this objective, recently developed reciprocal file MicroMega One RECI and the VDW Rotate file systems working with the rotation motion principle are used at different distances of the root canal.

In this study, 60 mandibular premolar human teeth that have completed their apical development were used. Roots were removed from their crowns and standardized to be 19 ± 1 mm in length. Before preparation, the teeth were examined with SEM under x300 magnification and images were taken from the apical foramen opening point. Subsequently, divided into four groups according to the files used and the end points of the apical preparation, Group 1: VDW Rotate at the apical foramen (AF); Group 2: 1 mm behind the apical foramen with VDW Rotate (AF-1mm); Group 3: MicroMega One RECI at apical foramen and Group 4: MicroMega One RECI 1 mm behind the apical foramen. Root canal preparation of the teeth in Group 1 and Group 2 was performed using 15/.04, 20/.04, 25/.04 and 35/.04 files of the VDW Rotate (VDW Dental, Germany) NiTi rotary file system. Root canal preparation of the teeth in Group 3 and Group 4 was performed using One G, 20/.04, 25/.04 and 35/.04 files of the One RECI (Micro-Mega®, Besançon, France) NiTi rotary file system. During shaping process, the canals were irrigated with 2 mL of 2.5% NaOCl at each file change. Irrigation was completed by irrigated with each canal a total of 15 mL of NaOCl. The teeth, whose shaping was completed, were fixed in their initial positions and images were taken with SEM again. The SEM images obtained before and after the preparation were compared by calculating the foramen area, circularity and Feret diameter ratio with the help of a software program (Image j), and the presence of foraminal deformation was evaluated according to these measurements. It was determined that the parameters (foramen area, circularity and Feret diameter ratio) were in accordance with the normal distribution with the Shapiro Wilks test of the obtained data, and the homogeneity of variance was examined with the Levene test.

Bonferroni test was used for two-way analysis of variance and pairwise comparisons ($p=0.05$).

According to the findings, it was determined that foramen areas increased as a result of the preparation made at different working lengths using two different file systems ($p<0.05$). The foramen area was found to be significantly higher in the VDW Rotate/AF group compared to the VDW/AF-1mm group ($p<0.05$). In the One RECI groups, there was no significant difference in terms of foramen area in both study lengths ($p>0.05$). It was observed that there was no statistically significant difference between circularity and ferret ratios in all groups ($p>0.05$).

Within the limitations of this *ex vivo* study; it was found that root canal shaping performed both in the apical foramen and 1 mm behind the apical foramen with VDW Rotate and One RECI did not cause apical foramen deformation.

Keywords: apical foramen, working length, foraminal deformation, reciprocating movement, rotation movement

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kök kanal tedavisi dişin pulpa dokusunun çıkarılması, kanalların şekillendirilmesi ve genişletilmesi, irrigasyon solüsyonları ile dezenfekte edilmesi ve kök ucuna kadar kanalların hermetik bir şekilde doldurulması aşamalarını içermektedir [1].

Kök kanallarının biyomekanik hazırlığındaki amaç; kök kanalındaki mikroorganizmaların ve debrisin uzaklaştırılarak kanal dolgu materyali için kanalın orjinal anatomisine uygun form verilmesidir. Mekanik preparasyon esnasında perforasyon, apikal transportasyon, basamak oluşumu gibi komplikasyonlar meydana gelebilir. Bu gibi komplikasyonların yanı sıra mekanik preparasyon sonucunda kök dentininde çatlaklar oluşabilmektedir [2]. Preparasyon sırasında oluşan çatlaklar okluzal kuvvetlerin etkisi ile zamanla ilerleyerek vertikal kök kırığına dönüşebilirler [3-5].

Endodontik tedavinin en önemli basamaklarından biri kök kanallarının biyomekanik şekillendirilmesidir [6]. Uygun çalışma boyu tespiti, kök kanalının enstrümante edileceği noktayı belirleyerek endodontik tedavide başarılı bir yanıt alabilmeyi sağlayacak temel faktördür [7].

Çalışma boyunun apikal sınırının apikal foramene kadar uzatılmasının kök kanalının apikal üçlü bölgesinin dezenfeksiyonunu artırdığı iddia edilmiştir [8]. Bu aşamada apikal foramenin temizlenmesi daha büyük bir kanal aletiyle gerçekleştirilerek kök kanal enstrümantasyonu sırasında foraminal genişleme elde edilir [9, 10]. Böylece pulpal nekrozlu dişlerin endodontik tedavisinde apikal bölgede irrigasyonun etkisinin ve kök kanal dezenfeksiyonunun artırıldığı ileri sürülmüştür [11, 12]. Öte yandan özellikle eğimli kanalların şekillendirilmesinde foraminal genişlemenin sağlanması apikal foramenin deformasyonuna ve dolayısıyla yetersiz kök kanal dolgusuna neden olabilmektedir [13-15].

Kök kanallarının şekillendirilmesinde kullanılan nikel titanyum döner eğe sistemleri tedavi süresini kısaltması ve şekillendirme etkinliğinin artırılması sebebiyle tercih edilmektedir [16]. Farklı bıçak tasarımları, değişen uç konfigürasyonları ve farklı

hareket şekillerine sahip olan enstrümantasyon sistemleri, değişen derecelerde kanal duvarına zarar verebilmektedir [4]. Ancak dentinde mümkün olduğu kadar daha az hasar oluşturarak bu gibi istenmeyen durumların önüne geçebilmek amacıyla yeni eğe sistemleri geliştirilmektedir.

Nikel titanyum eğeler genellikle rotasyon ve resiprokasyon olmak üzere iki hareket prensibiyle çalışır. Rotasyon hareketi ile çalışan eğelerde oluşan defektlerin önlenmesi amacıyla resiprokasyon sistemi geliştirilmiştir [17]. Bu hareketin gerilim ve sıkışmanın neden olduğu döngüsel yorgunluk riskini azalttığı kabul edilmektedir [18, 19].

Kök kanallarının preparasyonu esnasında oluşabilecek defektlerin tespiti için birçok yöntem kullanılmıştır. Kesit alma, mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT), LED (Light Emitting Diode) transillüminasyon, stereomikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) bu yöntemler arasındadır [15, 20-22].

Bu tez çalışmasının amacı apikal foramen ve apikal foramenden 1 mm geride olarak belirlenen çalışma boylarında yeni geliştirilen rotasyon hareketi prensibiyle çalışan VDW Rotate ve resiprokal hareket prensibi ile çalışan MikroMega One RECI eğe sistemleri kullanılarak eğelerin foraminal deformasyona etkisini SEM yardımıyla *ex vivo* olarak değerlendirmektir.

Bu çalışmanın hipotezi: ‘‘Rotasyon ve resiprokal hareketle çalışan eğe sistemleri ile apikal foramen ve apikal foramenden 1 mm geride belirlenen çalışma boylarında şekillendirilen kanallarda foraminal deformasyon oluşacaktır.’’ şeklinde belirlenmiştir.

Literatürde bildiğimiz kadarıyla bu eğe sistemlerinin foraminal deformasyona etkilerini araştıran benzer bir çalışma bulunmamaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Kök Kanallarının Şekillendirilmesi

Kök kanal tedavisinin en önemli amacı, apikal periodontitisin önlenmesi veya tedavisi için kök kanal sistemlerinde mikroorganizmaları ve patolojik debris miktarını en aza indirmektir. Kemomekanik debridman veya kök kanal sistemlerinin temizlenmesi işlemi, şekillendirme öncesi ve sırasında kök kanal sistemindeki tüm içeriğin çıkarılması olarak tanımlanmıştır [23]. Grossman mekanik temizliği kanal tedavisinin en önemli parçası olarak tanımlamıştır [24]. Schilder ayrıca temizleme ve şekillendirme aşamalarını başarılı bir endodontik tedavinin temeli olarak görmüştür [25].

Teknik olarak enstrümantasyon ve irrigasyonun amacı, kök kanal sisteminden tüm nekrotik ve vital organik dokuların yanı sıra bazı sert dokuları uzaklaştırmak ve kanal sisteminin debridmanını sağlamak, kanal içi ilaçlar ve kök kanal dolgusu için uygun şekli vermektir [26].

Daha kapsamlı şekillendirilen kök kanallarının prognozu iyileştireceğini varsaymak mantıklı olsa da kanal şekillendirme derecesinin kök kanal tedavisinin başarısı ile mutlak korelasyonu gösterilmemiştir. Bununla birlikte, bu bulgular, apikal temizlemenin kök kanal tedavisinin başarısını arttırmaya yardımcı güvenli ve etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir [27].

Kök kanal sisteminin apikal kısmı, potansiyel olarak periradiküler inflamasyona neden olabilecek mikroorganizmaları barındırabilir ve bu nedenle, enfekte kök kanal sistemlerinin tedavisinde patojenlerin uzaklaştırılmasını en üst düzeye çıkaran tedavi müdahaleleri oldukça önemlidir [28]. Nair ve ark. uzun süreli tedaviden sonra bile apikal mikrofloranın endodontik tedavi başarısızlıklarında önemli bir rol oynayabileceğini bulmuşlardır [29]. Bu nedenle kanal şekillendirilmesi sırasında buradaki yoğun enfekte olmuş dentini çıkarmak gerekmektedir.

Apikal preparasyon için Weine tarafından öne sürülen şekillendirme yöntemine göre [30] kök kanalının apikal kısmının, ilk eğenin sıkıştığı yerden üç boyut daha büyük olacak şekilde genişletilmesi gerekmektedir. Ancak sıkışan ilk eğenin üç numara büyüğüne kadar eğelemenin dentini çevresel olarak yeterince uzaklaştırıp uzaklaştırmayacağına şüpheli olduğunu ortaya koyan çalışmalar da mevcuttur [31-34]. Buchanan klinik görüşlerine dayanarak minimal apikal preparasyonu (örneğin #20 veya #25) savunmuştur [35-38]. Kanal boyutunun büyütülmesinin apikal transportasyon veya basamak oluşmasına neden olabileceğini öne sürmüştür. Bu teknikler daha çok iyatrojenik enstrümantasyon komplikasyonlarının önlenmesi için minimal apikal hazırlığa odaklanmaktadır [23].

Kök kanal enstrümantasyonunun nihaî amacı, kök kanal sistemindeki bakterileri ortadan kaldırmaktır [39-41]. Kanal sisteminin anatomik karmaşıklıklarını derinlemesine temizleme ve şekillendirme yeteneği, endodontik başarının birincil amacıdır [42]. Yapılan çalışmalar, daha büyük ege boyutlarına enstrümantasyonun endodontik tedavi için artan istatistiksel başarıya önemli ölçüde katkıda bulunmadığını göstermiştir. Bununla birlikte, bu çalışmalar genellikle geriye dönüktür veya başka faktörlere (örn. örneklem büyüklüğü) sahiptir [43-45]. Ayrıca, bu çalışmaların çoğu, klinik başarı açısından kanal veya apikal bölgede önemli bir genişletmenin etkisini spesifik olarak değerlendirmemektedir. Daha spesifik çalışmalar, daha büyük apikal preparasyonun bakteri sayısını azalttığı genel sonucunu desteklemektedir [46-50]. Buna ilave olarak daha büyük apikal genişletmenin başarıyı destekleyebilecek daha temiz kanallar sağladığını da göstermişlerdir. Özellikle apikal bölgede kanalların temizlenmemesi tedavi başarısızlığına neden olabilir [28, 29].

Öte yandan öneminin bilinmesine rağmen apikal bölgenin anatomisi ve çapı ile ilgili kapsamlı çalışmaların sayısı sınırlıdır [51-55]. Apikal preparasyon boyutlarının gerektiği kadar büyük olmaktansa mümkün olduğu kadar küçük tutulması gerektiğine dair klinik felsefe, mevcut bilimsel literatürü göz ardı eder ve esas olarak klinik görüşe dayalı gibi görünmektedir [35-38, 56].

Diğer çalışmalar sınırlı bir yaş grubu veya örneklem büyüklüğü ile sınırlıdır. Bu bölgedeki anatomi çok karmaşık ve değişken olduğundan, çoğu çalışma kanalın bu

bölgesinin gerçek horizontal boyutlarını yansıtmamaktadır [31]. Apikal daralmanın şekli ve boyutu hakkında daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Literatür ayrıca, kök kanal sistemlerinin artıkları uzaklaştırmak ve kanalın apikal üçte birlik kısmının uygun şekilde irrigasyonunu sağlamak için yeterince genişletilmesi gerektiğini göstermiştir. Araştırmalar, yeterli miktarda irrigasyon solüsyonunun kökün apikal üçte birlik kısmına ulaşması için kanalların en az 35 numaraya kadar genişletilmesi gerektiğini göstermiştir [57]. Ram ve Chow kendi yaptıkları çalışmalarda maksimum irrigasyonun apikal debrisye ulaşması için kanalların #40 eğe boyutuna genişletilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır [58, 59]. Shuping ve ark. ve Siqueira ve ark. bu görüşü doğrulamışlardır [60, 61].

Daha büyük enstrümantasyon boyutları sadece uygun irrigasyona izin vermekle kalmaz, aynı zamanda kanal sisteminde kalan bakterileri önemli ölçüde azaltır. Orstavik ve ark. #45 numaralı eğe ile şekillendirmenin bakteri üremesini 10 kat azalttığını göstermiştir [62]. Dalton ve ark. ayrıca artan eğe boyutuyla birlikte bakteri azalmasının arttığını göstermiştir [63]. Sjögren ve ark. yaptığı çalışmada, 40 numaralı eğin bakterileri daha küçük boyutlu eğelerden daha etkili bir şekilde azalttığını bildirmiştir [64]. Bu bulgulara karşı Yared ve Dagher #25 numaralı eğin mikroorganizmaları azaltmak için #40 numaralı eğe kadar etkili olduğunu bildirmiştir [65].

2.2 Kök Kanal Anatomisi

Kök apikal bölgesi anatomik ve histolojik olarak apikal daralım, dentin-sement birleşimi (DSB) ve apikal foramen şeklinde üç ana noktadan oluşmaktadır. Kuttler yaptığı apikal anatomi ile ilgili çalışmada kanalın girişinden apikal daralıma kadar kanalın daraldığını belirtmiştir. Apikal daralım noktası apikal foramen noktasına göre 0.5-1.5 mm daha koronalde bulunmaktadır. Apikal daralım noktası kanalın en küçük çapa sahip olduğu noktadır. Apikal daralım noktası, genişletme, şekillendirme, temizleme, dezenfekte etme ve doldurma gibi endodontik prosedürlerin sonlanma noktasıdır [54].

Endodontik işlemler apikal daralım noktasında sonlandırılmadığında taşkın preparasyon veya taşkın dolum meydana gelerek endodontik tedavinin başarısı olumsuz etkilenmektedir.

Buna karşılık Grove 1930 yılında yaptığı çalışmada endodontik tedavilerinin sonlanma noktası olarak dentin ve sementin birleştiği noktayı belirlemiş ve uyguladığı tedavileri pulpanın periodontal membran ile birleştiği noktada sonlandırmıştır [66].

Kök kanal tedavisi işlemlerinin bitirilmesi gereken referans noktaları olarak DSB, apikal foramen, apikal daralım noktaları belirlenmiştir. Bu noktalar radyografik apeksin koronalinde bulunmaktadırlar [52].

Tedavi edilecek dişle ilgili genel kök kanal morfolojisi ve o dişte gözlenen morfolojik varyasyonların bilinmesi endodontik başarı için temel bir gerekliliktir. Yapılan çalışmalarla şekillendirme için kullanılacak preparasyon tekniğinden ziyade apikal anatominin, apikal geometrideki varyasyonların ve preparasyon sırasında dentinde meydana gelecek değişikliklerin bilinmesi gerektiği vurgulanmıştır [67-69].

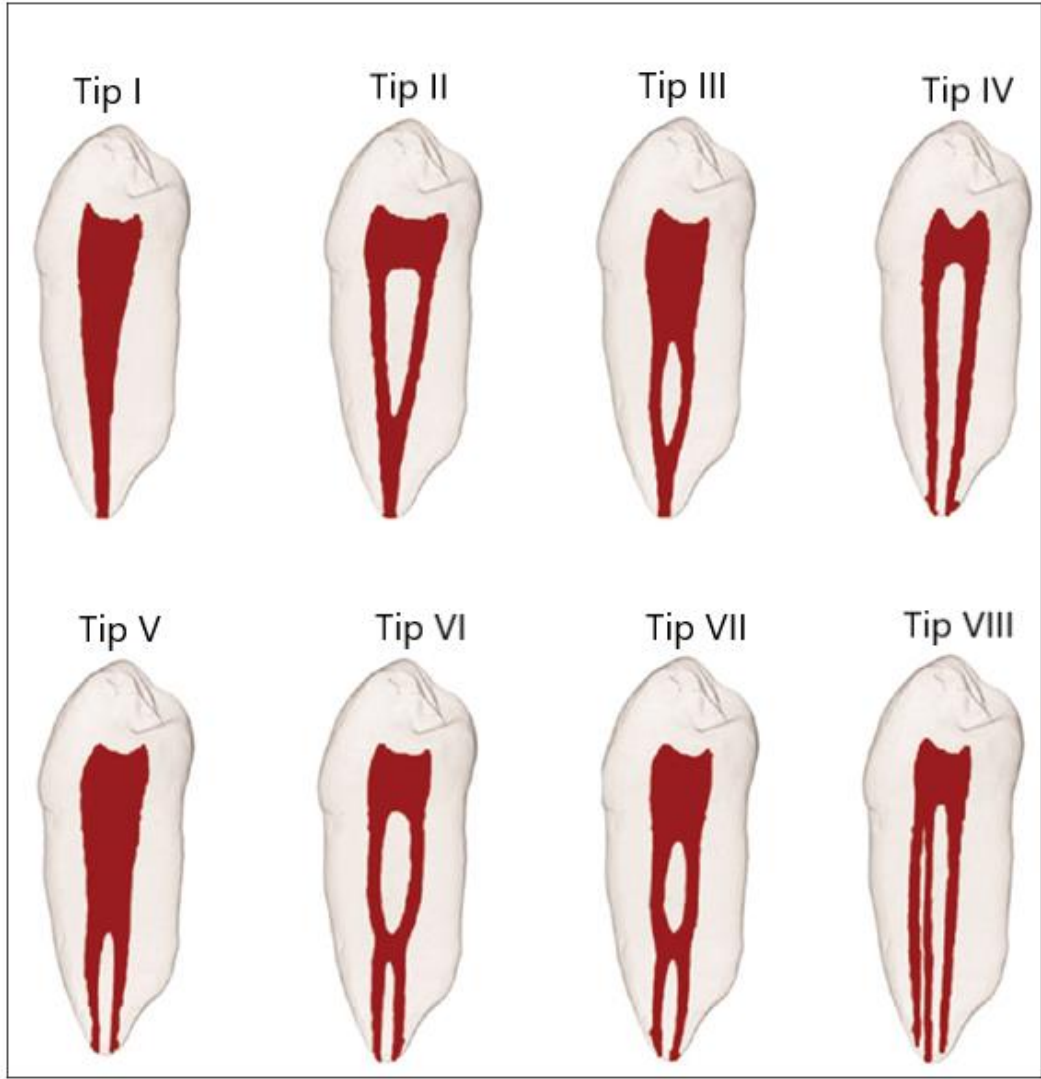
1912'de Preiswerk, 1913'te Fasoli ve Arlotta ve 1917'de Hess ve Zurcher yaptıkları çalışmalarda kök kanal anatomisinin tek kanal ve tek apikal foramenden oluştuğunu iddia etmişlerdir [70-72]. Güncel literatürde ise kök ucuna doğru daralan ve tek foramenle sonlanan kanalların istisna olduğu anlaşılmıştır. Çok sayıda foramen, ekstra kanallar, deltalar, kanallar arası bağlantılar, C kanallar ve aksesuar kanallar birçok çalışmada belirtilmiştir.

Kök kanal sisteminin kompleks morfolojisini Weine 4 ana tipte sınıflandırılmıştır [73]:

- 1- Pulpa odasından apekse kadar tek kanal olarak devam eden kanallar,
- 2- Pulpa odasından iki kanal olarak ayrılıp, daha sonra birleşerek tek kanal olarak apekste sonlanan kanallar,
- 3- Pulpa odasından apekse kadar iki ayrı kanal olarak devam eden kanallar,
- 4- Pulpa odasından tek kanal olarak başlayıp daha sonra ikiye ayrılıp apekste iki kanal olarak sonlanan kanallar.

Kök kanal morfolojileri ile ilgili en kapsamlı çalışma Vertucci tarafından yapılmıştır ve 8 tip kök kanal konfigurasyonu tanımlanmıştır (Şekil 2.1)[74]:

- 1- Pulpa odasından apekse kadar tek kanal olarak uzanan kanallar.
- 2- Pulpa odasından iki kanal olarak başlayıp, kökün herhangi bir seviyesinde birleşip tek kanal olarak apekse ulaşan kanallar.
- 3- Pulpa odasından tek kanal olarak başlayıp, önce iki kanala ayrılan, daha sonra tekrar birleşip tek kanal olarak apekse ulaşan kanallar.
- 4- Pulpa odasından apekse kadar iki ayrı kanal olarak devam eden kanallar.
- 5- Pulpa odasından tek kanal olarak başlayıp daha sonra iki kanala ayrılan ve iki ayrı foramen olarak apekse ulaşan kanallar.
- 6- Pulpa odasından iki kanal olarak başlayıp kökün orta seviyelerinde birleşen sonra tekrar iki kanala ayrılıp iki foramenle sonlanan kanallar.
- 7- Pulpa odasından tek kanal olarak başlayıp iki kanala ayrılan sonra tekrar birleşip daha sonra iki ayrı kanal halinde apekse kadar ulaşan kanallar.
- 8- Pulpa odasından apekse kadar üç ayrı kanal olarak seyreden kanallar.



Şekil 2.21 Vertucci kök kanal konfigürasyon sınıflandırması [75]

2.2.1 Dentin-Sement Birleşimi (DSB)

Diş gelişimi tamamlandığında en apikalinde sekonder sement bulunur. Kökün ucundan kanalın içine doğru uzanan sement dokusu içeride dentin ile birleşir [66].

DSB, sement ile dentinin birleştiği nokta olmakla birlikte aynı zamanda periodontal dokuların başlangıç noktasıdır. Kök kanalındaki DSB noktasının yeri değişkenlik göstermektedir. Yapılan çalışmalarda DSB ile apikal daralım noktalarının çakıştığını söyleyen araştırmacılar olduğu gibi bazı çalışmalarda DSB noktasının apikal forameniden yaklaşık 1 mm koronalde olduğu gösterilmiştir [76].

DSB noktasının klinik olarak belirlenmesi mümkün değildir ancak sadece histolojik çalışmalar ile tespit edilmesi mümkündür [77]. Bunun yanı sıra, mikroskopik çalışmalarda da DSB noktası tespit edilebilmektedir [78-82].

DSB noktasının, apeks ile arasındaki maksimum mesafe 2,5 mm olarak belirlenirken apikal foramene göre en az 0,3 mm daha koronalde olduğu belirtilmiştir [66, 73, 83, 84].

DSB endodontik tedavi prosedürlerinin sonlanması gereken nokta olarak tanımlanmıştır [73, 79]. DSB'de sonlanan tedavi ile mikroorganizmaların periapikale taşmasını ve doku sıvılarının da kanal içine girişini engellemek amaçlanır. Ancak klinik olarak saptanamayan DSB noktasında tedaviyi bitirebilmek çok mümkün değildir [77, 80, 82, 85, 86].

2.2.2 Apikal Foramen (Majör Foramen)

Apikal foramen anatomisi, yaş ve sert doku birikimine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Apikal foramen her zaman dişin anatomik apeksinde bulunmaz ve yaklaşık olarak köklerin %50-98'inde apikal foramen ile anatomik apeks arasında 0-3 mm mesafe bulunmaktadır [54, 87, 88].

Yapılan bir çalışmada ön dişlerde apikal foramenin anatomik apekse ortalama mesafesinin 0,36 mm olduğu rapor edilmiştir [89]. Yaşa göre apikal foramen noktasının konumunu değerlendiren bir çalışmada, genç grupta apikal foramen - apeks arası ortalama mesafenin 0,48 mm, yaşlı grupta ise ortalama 0,6 mm olduğu sonucuna ulaşılmıştır [54]. Ön ve arka dişlerde apikal foramen - apeks arası mesafeyi kıyaslayan başka bir çalışmada ise anterior grupta 0,3 mm, posterior grupta 0,43 mm mesafe ölçülmüştür [88, 90].

Bunların sonucunda apikal foramen- anatomik apeks arası mesafenin arka ve daha yaşlı dişlerde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Apikal foramen-apikal daralım arası ortalama mesafe ise genç dişlerde 0,5 mm ve yaşlı dişlerde 0.8 mm olarak rapor edilmiştir [54, 89, 91].

Apikal foramen noktası ile anatomik apeksin çakışmasının nadir olduğu yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. Apikal foramen noktası, anatomik apeksin koronalinde yer alır ve %17-100 gibi geniş bir aralıkta değişmektedir. Ancak genel olarak, apikal foramen ile anatomik apeks arasındaki ortalama mesafenin 1 mm'den az olacağı düşünülmektedir. Bir başka çalışmada anatomik apeks - apikal foramen arası ortalama mesafenin genç dişlerde 0,5 mm iken daha yaşlı dişlerde 0.67 mm olduğu bildirilmiştir [54]. Artan yaşla birlikte kök ucunda sement birikimi nedeniyle yaşlı hastaların dişlerinde anatomik apeks ve apikal foramen arası mesafe artmaktadır.

Bazı çalışmalarda apikal foramenin güvenilir bir apikal stop olduğu ve kök kanal tedavisinin apikal foramen noktasında bitirilmesi gerektiği öne sürülmüştür [77, 92]. Ancak apikal foramenin konumunun tam tespiti sadece histolojik çalışmalar ile mümkündür [88].

Apikal sonlanma noktası olarak radyografik apeks noktasını kabul eden çalışmalara göre şekillendirme ve kanal dolumunun radyografik apeks hizasına kadar tamamlanmasıyla apikaldeki tüm dallanmaların dâhil edilebileceği düşünülmüştür. Öte yandan bu düşüncüyü destekleyen sonuçlar uzun vadeli değildir [93].

Apikal sonlanma noktası olarak radyografik apeksin belirlenmesi, apikal foramen noktası ve radyografik apeksin çakışmaması nedeniyle, apikal foramen noktasının ilerisinde taşkın şekillendirme ile sonuçlanabilmektedir [94]. *In vitro* yapılan bir çalışmada; dişlerin yarısında radyografik apekse göre kanala yerleştirilen ege apikal foramen noktasından ta

şmaktadır [73]. Aynı şekilde *in vivo* bir çalışmada, radyografik apekse yerleştirilen ege apikal foramen noktasının ilerisinde yer almaktadır [95].

Apikal foramen noktasının sıklıkla kökün bukkal veya lingual yüzeyinde konumlanması nedeniyle periapikal radyografilerle yapılan çalışmalarda genel olarak apikal foramenin lokalizasyonu yanlış tespit edilebilmektedir. Buna ilave olarak periapikal radyografilerdeki iki boyutlu görüntü yetersiz kalmaktadır [96, 97]. Apikal foramen noktasının konumu elektronik apeks bulucuların doğruluğunu etkileyebilmektedir [98, 99].

Ayrıca kök rezorpsiyonlarında apikal foramen noktası rezorbe olmaktadır [42]. Bu nedenle çalışma boyu belirlenirken apikal foramen noktasının referans olarak belirlenmesi güvenilir değildir [82, 100].

2.2.3 Apikal Daralım (Minör Foramen)

Apikal daralım noktasının konumu da değişkenlik göstermektedir. Apikal daralım-apikal foramen arası ortalama mesafe 0,4-1,2 mm arasında bulunmuştur. Apikal daralım noktası sıklıkla DSB hizasında veya dentinde yer alırken, sementte konumlandığı da gözlenmiştir [54]. Apikal daralım noktasının daima DSB'nin koronalinde konumlandığı gösterilmiştir [81].

Apikal daralım geleneksel tekli daralma, açılı darlık, çoklu darlık (multikonstriksiyon) ve paralel daralma olarak dört konfigürasyona sahiptir (Şekil 2.2). Yaygın olarak tekli daralma ve açılı darlık gözlenmektedir [89].

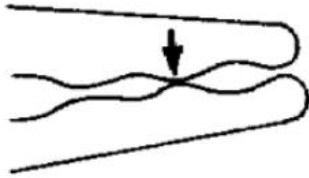
TİP A: "GELENEKSEL" TEK DARALIM



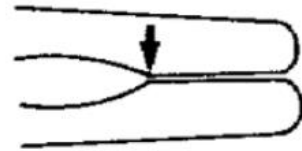
TİP B: AÇILI DARALIM



TİP C: ÇOKLU DARALIM



TİP D: PARALEL DARALIM



Şekil 2.2.32 Apikal daralım çeşitleri [89]

Kök rezorpsiyonu ve periapikal patoloji varlığında apikal bölgenin şeklinin değiştiği ve apikal daralımın kaybolduğu gösterilmiştir [73, 77, 89, 101].

Apikal daralım bölgesinin enine kesitlerinde düzensizlikler ve şekil farklılıkları gözlenmiştir. Oval, uzun oval, yay ve yuvarlak şekiller bulunmuştur. Araştırmacılar, apikal daralımların %25 oranında uzun oval olduğunu tespit etmiştir [100].

2.3 Çalışma Boyu

Kök kanal tedavisi prosedürleri, kök kanal sistemi içinde sınırlandırılmalıdır [7]. Çalışma uzunluğu, bir koronal referans noktası ile kanal şekillendirilmesinin ve dolununun bitmesi gereken nokta arasındaki mesafe olarak tanımlanır [102]. Doğru bir çalışma boyu ile kök kanal tedavisinin başarılı sonuçlanması beklenir [28, 103] ve böylece postoperatif ağrı önlenir [104]. Bu nedenle, çalışma boyu mümkün olduğu kadar hassas bir şekilde ölçülmelidir [105].

Kök kanalının ana apikal açıklığının (apikal foramen) ideal anatomisi, minör apikal çap (apikal daralma, kök kanalının apikal kısmı en dar çapa sahip) ve bu noktadan itibaren apikal foramene doğru kademeli olarak genişleyen huni görünümünde tarif edilmiştir [54, 102]. Ancak çoğu zaman apikal foramen anatomisi bu idealize edilmiş forma uymamaktadır [96, 106]. Apikal foramen, diş tipine bağlı olarak birçok kez dişin uzun ekseninden sapar [73, 96, 106, 107] ve hastanın yaşı, dişin fonksiyonel aktivitesi [54, 108, 109] ve patolojik değişiklikler [110, 111] sebebiyle genişleyebilir. Ayrıca foramen sayısı 1 ile 16 arasında değişebilirken, apikal foramen ile anatomik kök ucu arasındaki mesafe $0,20\pm 3,80$ mm arasında değişiklik gösterebilir. Apikal foramen anatomisindeki bu varyasyonlar, çalışma boyunun klinik olarak tanımlanmasını pratik olarak imkânsız hale getirir [112].

Bu anatomik karışıklığa ek olarak, şekillendirmenin apikal sonlanma noktasının konumu ile ilgili tartışmalar vardır. Bazı yazarlar dentin sement birleşimini kök kanal preparasyonunun uygun sonlandırma noktası olarak önermektedir [73, 97]. Ancak DSB, sadece çekilmiş dişlerde histolojik olarak saptanabilen histolojik bir bölgedir [105]. Ek olarak, DSB oldukça düzensizdir ve sementin kök kanalına uzanımı önemli ölçüde değişebilir [7, 82].

Apikal daralma uzun süredir şekillendirme ve dolunun bitim noktası olarak savunulmuştur [42, 113]. Teoride kanalın en dar kısmı, pulpanın sonlandığı ve periodonsiyumun başladığı yerdir. Ricucci şekillendirmenin apikal daralmada

sonlanması gerektiğini savunmuştur çünkü bu sonlanmanın aşılması yara iyileşmesini geciktirebilmektedir veya endodontik tedavinin sonucu üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir [7]. Daralmanın ötesinden periapikal dokulara taşırılan malzemeler veya ilaçlar, iltihaplanmaya ve yabancı cisim reaksiyonuna sebep olabilmektedir. Ricucci ve Langeland apikal daralmanda enstrümantasyon ve obtürasyonun en iyi prognoza sahip olduğunu göstermiştir [86]. Ancak, apikal daralmanın her zaman mevcut olmayabileceğini veya kolayca tanımlanamayacağını belirtmekte fayda vardır [42, 89].

Weine yaptığı çalışmada, çalışma boyu tespiti için ortalama uzunluklar belirlemiştir [73]. Kemik veya kök rezorpsiyonu olmayan durumlarda çalışma boyunun radyografik apeksten 1 mm, sadece kemik rezorpsiyonu olan vakalarda çalışma boyunun radyografik apeksten 1.5 mm, hem kemik hem de kök rezorpsiyonu mevcut olduğunda çalışma boyunun radyografik apeksten 2 mm kısa olacak şekilde belirlenmesi gerektiğini belirlemiştir [73].

Yapılan çalışmalarda vital dişler için endodontik tedavinin radyografik apeksin 2-3 mm koronalinde bitirilmesinin kabul edilebileceği klinik ve biyolojik olarak kanıtlanmıştır [28, 52].

Ancak devital dişlerde nekrotik doku artıkları ve mikroorganizmalar apikal üçlüden tamamen uzaklaştırılmazsa iyileşme gerçekleşmemektedir. Bu nedenle devital dişlerde radyografik apeks ve 2 mm koronaline kadar bitirilen tedavilerde başarılı sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir [28, 52, 114].

Apeksten 2 mm'den fazla koronalde veya radyografik apeksin ötesinde bitirilen tedavilerde başarı %20 oranında azalmıştır. Taşkın şekillendirme ve dolumu önleyebilmek için çalışma boyunun radyografik apeksin 1-2 mm koronalinde bitirilmesi önerilmektedir.

Endodontik tedavilerin kanalın en küçük apikal boyutunu belirten apikal daralım noktasında bitirilmesi doku hasarını minime indirmiştir [86, 115]. Avrupa Endodonti Derneği 2006 yılında hazırladığı metinde çalışma boyunun apikal daralım noktasına mümkün olduğunca yakın olması gerektiğini açıklamıştır [116]. Apikal daralım

noktasından uzakta şekillendirme yapıldığında apikal bölgede temizlenemeyen alanlar kalacaktır [54, 80, 115]. Apikal daralım noktasının radyografide tespiti zor olduğundan dolayı yapılan çoğu çalışmada apikal daralım radyografik apeksin 1 mm koronalinde olduğu kabul edilmiştir. Kuttler isimli araştırmacı endodontik tedavinin apikal daralıma en yakın nokta olduğunu düşünerek kanal dolumunun apikal foramenden 0,5 mm koronalde bitirilmesini önermiştir [54]

Çalışma boyunca yapılan hata, eksik veya taşkın şekillendirme ve kanal dolumu ile sonuçlanır. Taşkın yapılan tedavi periapikal bölgede enflamasyon, ağrı ve düşük prognozla sonuçlanabilir. Eksik şekillendirme ve dolumda ise kanalda uzaklaştırılmayan enfekte mikroorganizmalar kalır ve tedavi başarısı olumsuz etkilenir. Çalışma boyunun doğru belirlenmesiyle bu olumsuzluklar engellenebilir [1].

2.4 Kök Kanal Tedavisinde Kullanılan Enstrümanlar

Kök kanal enstrümantasyonu, aseptik çalışma koşulları altında endodontik enstrümanlar ve irrigasyon solüsyonları kullanılarak gerçekleştirilir. Kök kanalı enstrümantasyonu, elde tutulan veya motorlu (döner) aletler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Geçen yüzyılın son on yılına kadar endodontik aletler paslanmaz çelikten imal ediliyordu. Paslanmaz çelik eğeler, alet boyutu arttıkça artan doğal bir sertliğe sahiptir. Sonuç olarak, eğimli bir kök kanalı şekillendirilirken, geri yükleme kuvvetleri el aletini orijinal şekline döndürmeye çalışır. Bu nedenle, eğimli kanallarda paslanmaz çelik aletler kullanılmadan önce ön eğim verilmelidir. Ancak bu durum aletlerin dönme hareketinde kullanılmasını önlemektedir. Çok sert bir alet dışbükey tarafta içbükey tarafa göre daha fazla kesecek ve böylece eğriyi düzleştirecektir.

1960'ların başlarında Silver Springs, Maryland, ABD'deki Naval Ordnance Laboratuvarı'ndaki uzay programı için manyetik olmayan, tuza dayanıklı, su geçirmez alaşımları araştıran bir metalürji uzmanı olan W. F. Buehler tarafından bir nikel-titanyum alaşımı geliştirildi [117]. Bu intermetalik alaşımın termodinamik özelliklerinin, spesifik, kontrollü ısı işlem uygulandığında şekil hafızası etkisi üretebildiği bulundu [117]. Alaşım, malzemenin oluşturulduğu elementlerin kısaltması olan (Nikel için “ni”, titanyum için “ti” ve Naval Ordnance Laboratuvarı için “nol”) Nitinol şeklinde adlandırıldı. Nitinol, benzersiz şekil hafızası ve süper esneklik

özelliklerine sahip olduğu bulunan nikel ve titanyumun metaller arası alaşım ailesine verilen addır.

Kök kanal tedavisinde kullanılan nikel-titanyum alaşımları yaklaşık %56 nikel ve %44 titanyum içerir. Bazı NiTi alaşımlarında, nikelin küçük bir yüzdesi (ağırlıkça <%2) kobalt ile ikame edilebilir. Ortaya çıkan kombinasyon, ana bileşenlerin birebir atomik oranıdır ve diğer metalik sistemlerde olduğu gibi, alaşım çeşitli kristalografik formlarda bulunabilir. Bu alaşımlar için jenerik terim 55- Nitinol'dür ve alaşımın mekanik özellikleri ile kristalografik düzenlemesinde benzersiz ve önemli değişikliklere neden olan atomik bağ türlerini değiştirme konusunda doğal bir yeteneğe sahiptirler. Bu değişiklikler, sıcaklık ve stresin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkar. Klinik diş hekimliği ile ilgili iki benzersiz özellik; şekil hafızası ve süper elastisite NiTi alaşımındaki östenitten martenzite geçişin bir sonucu olarak ortaya çıkar [118].

NiTi alaşımından üretilen döner aletlerinin kök kanal tedavisi için değerli bir yardımcı olduğu kanıtlanmıştır. NiTi aletleri oldukça esnek ve elastiktir [118]. NiTi döner eğeler, endodontik çelik aletlere bağlı olan iyatrojenik alet komplikasyonlarını neredeyse ortadan kaldırmıştır. NiTi enstrümanları yirmi yılı aşkın bir süre önce piyasaya sürüldü. İlk ortaya çıktıklarından bu yana enstrüman tasarımı önemli ölçüde değişmişti ve alaşım işlemenin yanı sıra imalatta da ilerleme kaydedilmiştir. Klinik prosedürler ve ideal çalışma parametreleri yeni enstrümanlar sunulmaya devam ettikçe hala geliştirilmektedir. Yeni sürümlerin hızla kullanıma sunulmasıyla klinisyen, bireysel bir vaka için en uygun eğeyi ve tekniği seçmekte zorlanabilir. NiTi enstrümanları en zorlu anatomik sınırlarda bile kırılmaya karşı direnç sergilerken etkili bir şekilde kesen bir enstrüman üretmek için farklı tasarımlarda bir devrim geçirdi. Tüm eğe sistemlerinin yararları ve zayıflıkları olduğu her zaman akılda tutulmalıdır. Enstrüman özellikleri alaşım tipi, koniklik derecesi ve enine kesit tasarımına göre değişiklik gösterir.

Nitinol teller süper-elastik davranışları ile deformasyondan önceki orijinal şekillerine geri dönebilmektedir [119, 120]. Alaşım, paslanmaz çeliğe kıyasla daha fazla sertliğe ve daha düşük elastikiyet modülüne sahip olduğundan [121-123], eğimli kök kanalları

şekillendirilirken NiTi aletlerinin kullanılması avantaj olabilir. Çünkü NiTi eğeler geleneksel alaşımlarda olduğu kadar kalıcı şekilde kolay deforme olmamaktadır [124].

NiTi alaşımı üretimi, vakumlu eritme, pres dövme, döner dövme ve tel haddelemeden oluşan çok karmaşık bir süreçtir. NiTi endodontik aletlerin üretimi, paslanmaz çelik aletlere göre daha karmaşıktır, çünkü eğelerin bükülmek yerine işlenmesi gerekir. NiTi alaşımının süper esnekliği alaşım üretim esnasında kalıcı bir deformasyona uğramadan spirali koruyamayacağı anlamına gelir. Aletleri geleneksel bir şekilde bükme girişimleri muhtemelen aletin kırılmasına neden olur [124]. Üretim sırasındaki diğer zorluklar arasında kesici kenarlarda bu aletlerin kesme kabiliyetini zayıflatabilecek ve potansiyel olarak korozyon sorunlarına neden olabilecek yüzey düzensizliklerinin ve metal parlamasının ortadan kaldırılması yer alır.

2.4.1 Birinci nesil döner eğeler

İlk döner 0,02 konik NiTi aleti Dr. John McSpadden tarafından tasarlandı ve 1992'de piyasaya çıktı. Bu aletler diş hekimlerinin aletlere bakışını değiştirmeye başlasa da, eğe kırılmasıyla ilgili sorunlar vardı. 1994 yılında Dr. Johnson tarafından ProFile 0.04 konik serisi olarak bilinen bir eğe dizisi tanıtıldı. Kısa bir süre sonra ProFile 0.06 taperlı eğeler ve "Orifis Şekillendiriciler" geldi. Enine kesit şekilleri, konik bir NiTi telinin şaftı etrafında eşit aralıklı üç U-şekilli oluğun işlenmesiyle yapılmıştır. Bu "klasik" tasarım için her bir oluğun yanında "radyal alan" denen alanı sağlayan topraklanmamış bir alan kalmıştı. Bu düz alan eğenin dentinde kilitlemesini önlerken, kesim pasif kayma hareketiyle gerçekleşmektedir. Dr. Johnson daha yüksek konik eğeleri yaparak ISO 0,02 konik eğeler paradigmasını kırdı. LightSpeed uzun, ince kesmeyen şaftı ve kısa ön kesici kısmı nedeniyle diğerlerinden farklı bir alet olarak tanıtıldı. Aynı tasarım ilkeleri yakın zamanda geliştirilen ve frezlemeyle değil preslemeyle üretilen LSX aleti (Discus Dental, Culver City, CA) için de geçerlidir. Eğeler apikal preparasyon için kullanılır ve aletin esnekliğini de artıran küçük çaplı pürüzsüz bir şaftın varlığından dolayı kanal uzunluğunun çoğunu kesmez [125].

2.4.2 İkinci nesil döner eğeler

Tüm birinci nesil NiTi döner eğeler pasif kesme radyal alanına ve çalışma uzunluğu boyunca sabit konikliğe sahip olup şekillendirmenin tamamlanması için önemli sayıda

eğe gerektirmektedir. 1990'ların sonunda yeni nesil NiTi döner eğeler piyasaya çıktı. Bu nesil aletlerin kritik farkları, radyal alanları olmayan aktif kesici kenarlara sahip olmaları ve kanal şekillendirmek için daha az alet gerektirmesidir. Kesme bıçağı ile aletin uzun eksenindeki açının birinci nesil eğelere göre daha düşük olması kullanım sırasında vidalama eğilimini büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu nesil NiTi eğeleri, diğer tüm pasif veya aktif NiTi kesme aletlerinin aksine, tek bir eğe üzerinde birden çok artan ve azalan boyuta sahip olan ProTaper (Dentsply Tulsa) döner eğelerini içerir. ProTaper sistemi üç şekillendirme eğesi ve üç bitirme eğesi olarak altı adet eğeden oluşur [125].

Birinci nesil döner sistemler, nötr veya hafif negatif rake açlarına sahipti. Birkaç ikinci nesil sistem, daha yüksek kesme verimliliği sağlayan pozitif rake açlarıyla tasarlandı [125].

Pasif ve aktif sabit konikli NiTi aletleriyle ilişkili ortaya çıkan vida etkisini ve konik kilitlenmeyi engellemek için EndoSequence (Brasseler, Savannah, GA, ABD) ve BioRaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre) dönüşümlü temas noktaları olan eğeler üretilmiştir [126]. Bu özelliğin konik kilitlenmeyi azaltması amaçlanmış olsa da bu eğelerin aktif bölümleri üzerinde hala sabit bir koniklik vardır. BioRaCe aletleri, yüzey kusurlarını azaltmayı ve aletlerin mekanik özelliklerini iyileştirmeyi amaçlayan geleneksel taşlama işleminden sonra tescilli bir bitirme işlemine (elektro-parlatma) tabi tutulur [127].

NiTi aletinin yüzey durumunun yorulma direncine katkıda bulunduğu öne sürülmüştür çünkü çoğu yorulma kırılması, yüksek gerilim genliği veya yüzey kusurlarının varlığında yüzeyden çekirdeklenir [128]. Bu dönemde üreticiler eğe kırılmasına karşı direnci artırmak için başka yöntemlere odaklanmaya başladılar. NiTi aletlerinin yüzeyini döngüsel yorgunluğa karşı direnci ve kesme verimliliğini iyileştirme girişimleri iyon implantasyonu [129-131] ve elektro-parlatma dâhil olmak üzere çeşitli stratejilerle sonuçlanmıştır [132-134].

2.4.3 Üçüncü nesil döner eğeler

Isıl işlem (ısıtma işlemi) NiTi alaşımlarının geçiş sıcaklıklarını ayarlamaya ve NiTi endodontik eğelerin yorulma direncini değiştirmeye yönelik en temel yaklaşımlardan

biridir. 2007'den bu yana NiTi alaşımlarının mikro yapısını optimize etmek için birkaç yeni termomekanik işleme ve üretim teknolojisi geliştirilmiştir [135-138]. Son zamanlarda HyFlex CM (HyFlex; Coltene Whaledent, Cuyahoga Falls, OH), K3XF (SybronEndo, Orange, CA), ProFile GT Series X (GTX; Dentsply Tulsa Dental Specialties, OK), ProFile Vortex (Vortex) ve Vortex Blue (Dentsply Tulsa), TYPHOON™ Infinite Flex NiTi (TYP CM; Clinician's Choice Dental Products, New Milford, CT) ve Twisted Files (TF'ler; SybronEndo) gibi birkaç yeni termomekanik olarak işlenmiş endodontik NiTi eğesi tanıtıldı.

M-wire (SportsWire, Langley, OK) 2007 yılında piyasaya sürüldü. NiTi boş tellere bir dizi ısıtma işlemi uygulanarak üretilmiştir. M-telli enstrümanlar arasında Dentsply firmasına ait ProFile GT Series X, ProFile Vortex ve Vortex Blue yer alır. Yeni M-wire NiTi malzemesini kullanan ve piyasada bulunan ilk endodontik döner eğe sistemi GT Series X eğeleridir.

2.4.4 Dördüncü nesil döner eğeler

Kök kanallarını şekillendirmek için kullanılan ve ticari olarak temin edilebilen çok sayıdaki eğe NiTi'den üretilir ve mekanik olarak sürekli rotasyon hareketiyle kullanılır. Bununla birlikte, tekrarlayan ileri geri hareket olarak tanımlanan resiprokasyon hareketi, 1958'den beri paslanmaz çelik eğeleri için klinik olarak kullanılmıştır. Başlangıçta tüm resiprokasyon ile hareket eden motor ve ilgili el aletleri, eğeleri saat yönünde 90°'lik (CW) büyük ve eşit açılarda saat yönünde ve saat yönünün tersine (CCW) dönüyordu. Zamanla, pazardaki hemen hemen tüm ileri geri hareket eden sistemler daha küçük ve eşit CW/CCW dönüş açıları kullanmaya başladı. Şu anda, M4 (SybronEndo), Endo-Eze AET (Ultradent) ve Endo-Express (Essential Dental Systems) küçük, eşit 30° CW/CCW dönüş açıları kullanan resiprokasyon ile hareket eden sistemlerin örnekleridir.

Resiprokasyon teknolojisindeki yenilikler, kanalları şekillendirmek için dördüncü nesil aletlerin gelişimini sağladı. Klinik deneyim ve gelecekteki çalışmalar bu nesil enstrümanların ve ilgili teknolojinin uzun süredir umut edilen tek eğe tekniği vaadini yerine getirip getirmediğini belirleyecektir.

Örneğin resiprokasyon hareketi ile çalışan eğe sistemlerinden biri olan RECİPROC (VDW Dental, Almanya) döner eğe sisteminin 11 mm'lik kısa bir şaftının olması 13 mm veya daha uzun şafta sahip diğer birçok alete kıyasla azı dişlerine daha iyi bir erişim sağlar. Enine kesit tasarımını S şeklindedir. Üç Resiprok eğesi dar kanallar için R25 (25/0.08); orta kanallar için R40 (40/0.06) ve geniş kanallar için R50 (50/0.05) olmak üzere giderek azalan bir konikliğe sahiptir.

Eğe tasarımı ve çalışma yönteminde yeni bir yaklaşımı temsil eden SAF (SAF; ReDent-Nova, Raanana, İsrail) hafif aşındırıcı bir yüzeye sahip, hassas NiTi kafesten bir silindir olarak tasarlanmış içi boş bir sistemdir [139]. Geleneksel NiTi döner eğelerden farklı olarak SAF sistemi, mekanik şekillendirme boyunca eş zamanlı irrigasyona izin veren içi boş bir pistonlu alet kullanır. Üretici SAF'ın kök kanalına yerleştirildiğinde, kanal şekline üç boyutlu olarak uyum sağlayabildiğini iddia etmektedir [140]. Alet transline (içeri-dışarı) hareketle kullanılır ve kafes ipliklerinin aşındırıcı yüzeyi, dentinin üniform bir şekilde çıkarılmasını destekler [139].

2.4.5 Beşinci nesil döner eğeler

Beşinci nesil şekillendirme eğeleri, ağırlık merkezi ve/veya dönme merkezi kaydırılacak şekilde tasarlanmıştır. Rotasyonda eğenin aktif uzunluğu boyunca hareket eden mekanik bir hareket dalgası üretir. Herhangi bir ProTaper eğesinin kademeli konik tasarımına benzer şekilde bu tasarım da eğe ile dentin arasındaki bağlantıyı en aza indirmeye hizmet eder [141]. Bu teknolojinin varyasyonlarını sunan eğe markalarının ticari örnekleri Revo-S, One Shape® (Micro-Mega®, Besançon, Fransa) ve ProTaper Next'tir (PTN; Dentsply Tulsa Dental Specialties/ Dentsply Maillefer, İsviçre).

Revo-S NiTi alet sistemi üç şekillendirme aleti içerir. Revo-S'nin asimetric kesiti, "yılan benzeri" bir hareketle penetrasyonu kolaylaştırır ve alet üzerindeki burulma gerilimini azaltmayı amaçlar. Üretici, bu sekansın, üretilen dentin kalıntılarının yukarı doğru çıkarılmasını iyileştirerek kök kanal temizliğini optimize eden kesme, debris eliminasyonu ve temizleme döngüsüne sahip olduğunu iddia etmektedir.

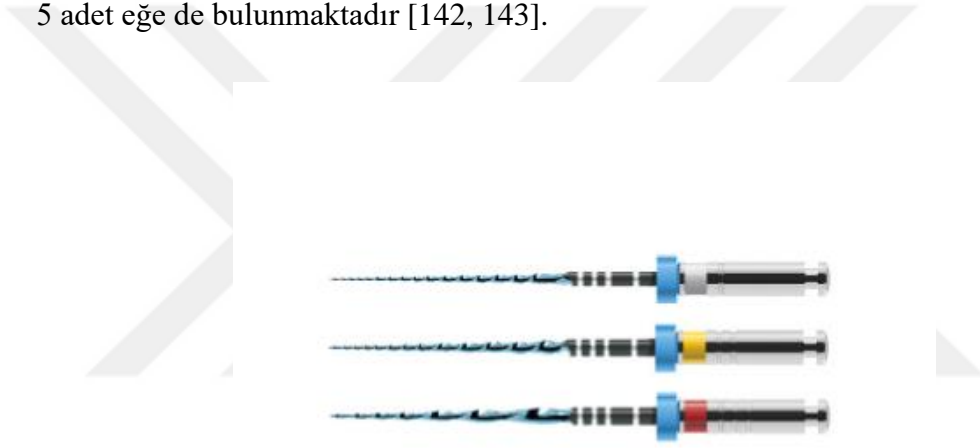
Mikro-Mega'dan (Besançon, Fransa) alınan One Shape eğe, kök kanal preparasyonları için sürekli rotasyonda olan tek eğe NiTi aletidir. One Shape aleti, kanalın üç

bölgesinde optimum kesme işlemine sahip bıçak boyunca değişken bir enine kesit sunar. Birinci bölge, değişken bir uç-son teknoloji tasarımı sunar; ikincisi, geçişten önce kademeli olarak üçten iki kesici kenara değişen bir enine kesite sahiptir ve sonuncusu (koronal) iki kesici kenara sahiptir.

2.5 Çalışmamızda Kullanılan NiTi Döner Eğe Sistemleri

2.5.1 VDW Rotate NiTi Döner Alet Sistemi

VDW Rotate eğe sistemi (VDW Dental, Almanya) 2019 yılında kanalın doğal anatomisini koruyarak şekillendirme yapan döner eğe sistemi olarak tanıtılmıştır (Şekil 2.3). Sistemde temel olarak 3 boy eğe mevcuttur. Daha geniş kanallar için ilave 5 adet eğe de bulunmaktadır [142, 143].



Şekil 2.5.13 VDW Rotate döner eğe sistemi

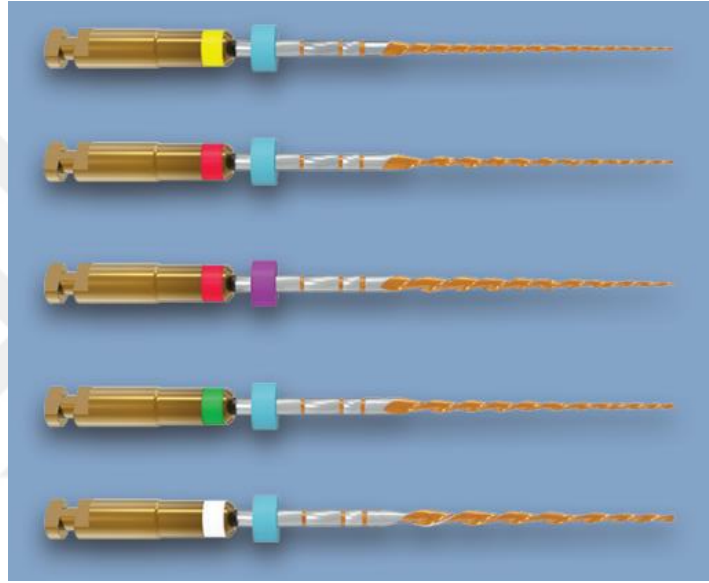
Rotate, özel bir ısıl işlem görmüş NiTi alaşımı sayesinde azaltılmış sayıda eğe dizisine ve artırılmış alet esnekliğine sahip döner alet sistemidir. Rotate eğelerinin NiTi kısmı iki farklı renge sahiptir. Yivsiz şaft boyunca gri bir renk vardır ve yivli kısım mavi renktedir. Üreticiye göre rengin farklılaşması, ısıl işlem sırasında oluşan oksit tabakasının bir sonucudur. Bu oksit tabakasının kalınlığı yivler ve şaftın geri kalanı arasında farklıdır. İki kalınlıktaki oksit tabakası ışıkla farklı reaksiyona girdiği için iki farklı renk oluşur [144].

Eğeler sadece bir kez ısıl işleme tabi tutulur. Yivli kısım ile mil arasında ısıl işlem farkı yoktur. Rotate, kesme verimliliğini optimize etmek ve vida etkilerini sınırlamak için

çift bıçaklı uyarlanmış S kesit tasarımına sahiptir. “S”nin merkezlenmesi, rotate alet sistemi içindeki farklı büyüklükteki aletler arasında değişiklik gösterir [144].

2.5.2 MikroMega One RECI NiTi Döner Alet Sistemi

MikroMega markasının 2021 yılında piyasaya sürdüğü One RECI eğe sistemi C.Wire ısıl işlemi uygulanarak üretilmiştir (Şekil 2.4). Resiprokasyon hareketi ile çalışan eğe sistemi 170 derece saat yönünün tersine 60 derece saat yönüne olacak şekilde hareket etmektedir.



Şekil 2.5.24 MikroMega One RECI döner eğe sistemi

MikroMega One RECI kök kanal şekillendirme için resiprokasyon hareketi ile kullanılan bir eğe sistemidir. C.Wire yöntemi kullanılarak ısıl işlem görmüş NiTi metalden yapılan bu eğe yüksek esneklik ve kesme yeteneğine sahiptir. Önceki araştırmalar resiprokasyon eğe sistemlerinin kök dentin duvarıyla teması azaltarak eğeye binen stresi azalttığını göstermiştir. Böylece eğelerin kırılma riskinin azaldığı düşünülmektedir [19, 145-147]. Resiprokal eğelerin yeterli şekillendirme yeteneğine sahip oldukları ve orijinal kanal şeklini koruyabildikleri gösterilmiştir [19]. Ayrıca resiprokal eğe sistemlerinin temizleme etkinliği geleneksel rotasyon hareketi ile çalışan döner eğe sistemleri ile karşılaştırılabilir görünmektedir [148]. Kinematığın eğe tasarımına olan etkisini anlamak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

2.6 Kök Dentininde Oluşan Defektler

Eğimli kanallarda esnek olmayan paslanmaz çelik aletlerin kullanılması, kök kanalın orijinal şeklinde iyatrojenik hasara neden olabilmektedir [149]. Kanal transportasyonu, basamak oluşumu veya perforasyon şeklinde görülen [25] bu hasarları önlemek için şekil hafızalı ve süper elastikiyete sahip NiTi aletler geliştirilmiştir [150]. Ancak NiTi enstrümanları, enstrüman kırılması ve kök dentininde çatlak oluşumu riski taşır [3, 151]. Kök dentin çatlakları kök kanal tedavisinin başarısız olmasına neden olan kök kırıklarına ilerleyebilir [152].

Yaygın olarak NiTi aletleri sürekli dönen rotasyon ve resiprokasyon şeklinde iki tür hareketle kullanılır. Kök kanalları şekillendirilirken rotasyon hareketi ile çalışan NiTi aletlerinde ortaya çıkan torsiyon ve fleksiyon sonucu aletler kırılabilir. Bunu önlemek için resiprokasyon hareketiyle çalışan ege sistemi geliştirilmiştir [17]. Bu hareket, saat yönünün tersine ve saat yönünde hareketlerle alet üzerindeki baskıları en aza indirir [18]. İleri geri hareket, manuel hareketi taklit eder ve rotasyon sistemleriyle ilişkili çeşitli riskleri azaltır. Öte yandan küçük ve eşit CW/CCW açılara sahip ileri geri hareket eden sistemler kesme verimliliğini düşürerek kanalda ilerlemeyi güçleştirmektedir [153].

Bununla birlikte, kök kanal enstrümantasyonunun bazı istenmeyen kaçınılmaz sonuçları olabilmektedir. Örneğin kök kanallarının mekanik şekillendirmesi sırasında alet ile kanal duvarı arasındaki temas dentine stres uygulayıp mikro çatlaklara ve çatlaklara neden olabilir [6]. Çatlaklar uzun vadede yayılabilir ve vertikal kök kırığına (VKK) neden olabilir [2]. Olguların %10,9-31'inde diş çekiminin nedeni kök kırığıdır [154]. Kök kırığı, oklüzal streslerin uygulanması nedeniyle mikro çatlakların veya çatlak çizgilerinin yayılmasından sonra meydana gelebilir [6]. Kaldırılan dentin miktarı ile çatlak oluşumu arasında doğrudan bir ilişki olup kanal genişliği arttıkça VKK riski de artmaktadır. Öte yandan, endodontik tedavide kök kanal sisteminden bakteri ve enfekte kalıntıların uzaklaştırılması zorunludur. Ancak sağlam dentin hasarının en aza indirilmesi ve mikroorganizmaların elimine edilmesi için çıkarılması gereken dentin miktarı tartışma konusudur [154]. Yüksek konsantrasyonlu NaOCl kullanımı [155], diş anatomisi [156], kanal içi post yerleştirilmesi [157] ve bazı obtürasyon teknikleri [158] de VKK oluşumuna katkıda bulunabilir.

Paslanmaz çelik el eğelerinin kök kanalı temizleme ve şekillendirme için birkaç eğe kullanma ihtiyacı, zaman kaybı [25], yüksek kanal transportasyon riski [159], perforasyon [160], basamak oluşumu [161] ve dar kanallarda kullanım zorluğu [162] nedeniyle, NiTi eğeleri tanıtılmıştır. Optimal avantajlarından biri süper esnekliktir [150]. Birçok klinisyen bu sistemleri daha hızlı kök kanal şekillendirmesine izin verdiği ve üstün kesme etkinliğine sahip olduğu için tercih etmektedir [163]; ancak bu sistemlerin temizleme yeteneği, dentine uygulanan stres ve oval kanallarda kullanım etkinliği gibi bazı özellikleri halen tartışma konusudur [6].

Çatlak çizgileri (yalnızca transillüminasyonla görülebilen, kök kanallarına uzanıyormuş gibi görünmeyen ve sondla saptanabilen düzensizlik oluşturmeyen yüzey kırıkları) veya kısmi çatlaklar (dış yüzeye ulaşmayan kanal lümeninde başlayan çizgiler) gibi dentin defektleri endodontik tedaviden sonra yayılabilir ve kırıklara dönüşebilir [5]. Yeniden kanal tedavisi, post boşluğu hazırlığı ve çiğneme ve oklüzal stres sırasında köke yayılan yüklerden kaynaklanan dentine ek stresler de VKK'leri indükleyebilir [164]. Mekanik kök kanal enstrümantasyonu ayrıca kök kanal duvarlarında çatlak çizgileri oluşturabilir ve ilerleyen zamanda artan lokalize stres bölgeleri olarak işlev görür [5, 165].

Wilcox ve ark. el eğesiyle kanal şekillendirmiş ve lateral kompaksiyon yöntemi ile dolmuş dişleri incelemiştir [5]. VKK bulunmayan dişlerin kök kanal dolguları sökülerek kök kanalları bir miktar daha genişletilip yeniden şekillendirildi. İlk şekillendirmeden sonra köklerin hiçbirinde VKK gözlenmezken, daha fazla genişletmeden sonra çok sayıda kırık meydana gelmiştir. Kırılan tüm kökler daha önce çatlak çizgileri göstermiştir. Bu çalışma ile kök kanalından daha fazla dentin kaldırılmasının kökte kırık oluşum riskini artırdığı sonucuna varılmıştır. Yazarlar dişin endodontik veya restoratif prosedürlerden tekrarlanan baskılara maruz kalması durumunda dişlerde görülen çatlak çizgilerinin daha sonra VKK'ye dönüşebileceğini iddia etmişlerdir. Günümüzde son yıllardaki kanıtlar VKK'lerin muhtemelen preparasyon veya obtürasyon sırasında uygulanan kuvvetten değil, daha küçük, daha az belirgin defektlerin yayılmasından kaynaklandığı yönündeki bulgular üzerinde yoğunlaşmaktadır [4, 166].

2.7 Dentin Defektlerini İnceleme Yöntemleri

2.7.1 Mikro-Bilgisayarlı Tomografi (Mikro-BT)

Jim Elliott 1980'lerin başında X-ışınılı mikro bilgisayarlı tomografi cihazını geliştirmiştir. Görüntünün piksel boyutları mikrometre aralığında olduğu için mikro denmiştir. Çözünürlüğü normal bilgisayarlı tomografiye kıyasla daha yüksektir [167]. X-ışını kaynağı ve dedektörün sabit olmasıyla ve cihaz içine yerleştirilen örnek vertikal eksen içinde döndürülerek taranmasıyla bilgisayarlı tomografiden ayrılmaktadır. Bu yöntemle materyale zarar verilmediği için örnekler tekrar incelenebilmektedir. Mikro-BT cihazının içeriğinde X-ışını tüpü, üzerindeki örneği belli aralıklar ile çeviren adım motoru, görüntü yoğunlaştırıcı X-ışınlarını görüntüye çeviren CCD kamera, görüntü toplayıcısı ve kontrol bilgisayarı bulunur.

Mikro-BT endodontide ilk olarak kanal morfolojisinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır [168]. Daha sonraları, şekillendirmenin değerlendirilmesi ve retreatment sonrası kalan dolum materyalinin miktarının incelenmesi gibi amaçlarla kullanılmıştır.

Girişimsel olmayan bir yöntem olması nedeniyle her dişi çeşitli kesitlerle incelemek mümkündür. Kanalların şekillendirilmesinden önce örnekler incelenerek var olan dentin çatlakları daha net belirlenebilmektedir. Bir diğer avantajı da kontrast madde kullanmadan dentin çatlaklarının üç boyutlu olarak incelenebilmesidir. Mikro-BT ile yapılan çalışmalarda örnek dişler aynı zamanda örneklerin kontrolünü sağladığından çalışmaların doğrulukları da artmıştır [169-171]. Bu özellikleri sayesinde endodontide Mikro-BT çalışmalarının sayısı giderek artmaktadır.

Dezavantajları ise Mikro-BT cihazı ile örnek tarama ve bilgisayarda görüntüleri yeniden yapılandırma işlemlerinin uzun zaman alması, radyasyon dozunun yüksek olması, klinik kullanıma uygun olmaması ve pahalılığıdır [172].

2.7.2 LED (Light Emitting Diode) Transillüminasyon

LED ışık yayan diyot anlamına gelmektedir. Transillüminasyon ise organ veya vücut boşluğuna ışık verilip incelenmesi demektir. 1960'lardan bu yana diş hekimliğinde transillüminasyon yöntemi teşhis amacıyla kullanılmaktadır. Transillüminasyon için kullanılan LED cihazlar, 400-700 nm görünür ışık spektrumunda enerji salar.

Dentin ve havanın kırılma indekslerinin farklı olması nedeniyle (sırasıyla 1,5 ve 1,0), çatlakla karşılaşan ışık ışınları geçemez ve karanlık görülür [173]. Stereomikroskop kullanarak Shantiaee ve ark. 2019 yılında yaptıkları çalışmada LED transillüminasyon yöntemi ile tespit edilen dentinal defektlerin konvansiyonel ışık altında gözlemlenemediğini rapor etmişlerdir [174].

2.7.3 Stereomikroskop

Stereomikroskop endodontide apeks anatomisinin incelenmesi, şekillendirme ve dolunun incelenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Diş örneklerinden belirli seviyelerde kesitler alınarak stereomikroskop altında incelenir. El ve döner aletlerinin oluşturduğu dentinal defektleri inceleyen çalışmalar çoğunlukla kökün farklı seviyelerinden alınan kesitleri stereomikroskop ile doğrudan gözlemlenmesiyle yapılmıştır [2, 6, 20, 22, 175-178]. Fakat stereomikroskop için dişten alınan ekstra kesitlerin dentinde ilave çatlaklara yol açabileceği belirtilmiştir [170, 171].

2.7.4 Optik Koherens Tomografi

Kızılötesine yakın ışık yardımı ile yüksek çözünürlüklü incelemeyi sağlayan Optik Koherens Tomografide ışığın değişik yüzeylerden geçerken gösterdiği yansıma farklarıyla görüntü oluşur. Kızılötesine yakın dalga boyunda ışık kullanılmasının nedeni doku penetrasyonunun yüksek olması ve biyolojik zararının bulunmamasıdır [179]. Shemesh ve ark., mandibuler premolar dişlerde kök kanal preparasyonu sonrası oluşan dentinal defektleri Optik Koherans Tomografi yöntemini kullanarak incelemişlerdir [4].

2.7.5 Kızılötesi Termografi

Kızılötesi Termografi materyalin içerisinde defekt (çatlak, kırık) olduğu zaman materyalin içerisindeki ısı akımının değişimin değerlendirilmesidir. Bu şekilde madde yüzeyinde termal şekiller oluşur. Bu termal şekillerin gözle görülebilir hale getirilmesi ise termografiyi oluşturur. Kızılötesi ışınlar X-ışınlarına kıyasla daha az zararlıdır [180]. Matsushita-Tokugawa ve ark., yaptıkları çalışmada 20 adet yeni çekilmiş dişin kök kanal preparasyonundan sonra Kızılötesi Termografi'yi dentinal defektleri saptamak için kullanmışlardır [181].

2.7.6 Kesit Alma

Diş örnekleri akrilik kalıp içerisinde muflaya alınır ve alçı dökülür. Böylelikle modeller her zaman aynı konumda sabitlenmiş olur. Akrilik bloktan çeşitli seviyelerde enine kesitler alınarak işlem öncesi incelenebilmektedir. Kesitler muflaya yeniden aynı konumda yerleştirilerek şekillendirme yapılır ve fotoğraflanırlar. Şekillendirme öncesi ve sonrası görüntüler kıyaslanarak değerlendirmeler yapılır [21].

2.7.7 Endoskopi

1806 yılında Philipp Bozzini tarafından tanıtılan endoskopi, içi boş organların ya da kanal şeklindeki yapıların içlerinin özel aletler yardımıyla incelenmesini sağlar. Endodonti literatüründe endoskopun ilk kez 1979'da dental kırıkların teşhisinde kullanıldığı bildirilmiştir [182]. von Arx ve ark., yaptıkları bir çalışmada endoskopiye dentinal defektlerin tespitinde kullanmışlardır [183].

2.7.8 Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM)

SEM, görüntülerin yüksek büyütmede (50x-10.000x ve üzeri) görüntülenmesini sağlar. Bu teknikte bir elektron ışını numunenin yüzeyini tarayarak çeşitli sinyaller üretir. Bir elektron ışını numuneye çarpar ve yanıt bir detektör tarafından toplanır. [184]. Bu teknikte ışık kullanılmaz ve numunenin rengi görüntüyü etkilemez. Diş dokuları ve diş malzemelerinin genellikle beyaz veya açık renkli olması optik mikroskopların kullanımını zorlaştırmaktadır.

SEM 1962'den beri diş hekimliği araştırmalarında oldukça yararlı bir araç olmuştur [185]. Endodontide ilk olarak 1975 yılında smear tabakasının varlığını göstermek için kullanılmıştır [186]. Endodontik literatür SEM'in yüksek çözünürlüklü görüntüler ürettiğini ve eğe yüzeylerinde ve kırık aletlerin kırık yüzeylerinde görülen topografik özelliklerin karakterizasyonuna izin verdiğini göstermiştir [187-190]. Işık mikroskopundan daha ayrıntılı bilgi verir ve ilgili kırılma mekanizmasının türünü kategorize etmeye bile yardımcı olabilecek bazı belirgin özellikleri ortaya çıkarır [191]. SEM dentin kalıntılarını gözlemlemek ve açık dentin tübüllerini keşfetmek için kullanılmıştır [192]. Ayrıca endodontik eğelerin fiziksel özelliklerini etkilemeden yüzey kusurlarının değerlendirilmesinde yararlı olduğu kanıtlanmıştır [188].

Endodontide SEM temel olarak kök kanalı içindeki bakteri sızıntısını, bakteriyel biyofilm oluşumunu ve ayrıca kanal içi postları ve simanlarıyla ilişkili kırık paternlerini değerlendirmek için kullanılır [193]. Farklı döner aletler ve tekniklerden sonra dentin yüzeyinin topografik analizi de SEM ile mümkündür [194, 195]. SEM özellikle dolgu malzemesi ile dentin duvarı arasında oluşan boşluk analiz edildiğinde veya ölçüldüğünde önemlidir. Souza ve ark.'a göre gerçek boşlukları geleneksel taramalı elektron mikroskoplarında vakumla kurutmadan sonra oluşturulan yapay boşluklardan ayırt etmek için numuneler hazırlanmadan önce kopyalar yapılmalı ve değerlendirilmelidir [196]. Endodontide SEM teknolojisinin kullanımı, odağı değiştirmeden kök/dentin yapılarının farklı yüksekliklerde görüntülenmesini sağlar. Ek olarak, SEM görüntülerinin gri tonlamalı olmasından ötürü dentinin rengi doğru bir odak elde etmede etkili değildir [197].

Sonuç olarak, SEM diş hekimliği araştırmaları için son derece önemli bir araçtır. Ancak sonuçların karşılaştırılması ancak benzer büyütme kullanıldığında mümkün olduğundan dolayı araştırmacılar SEM şekillerini kullanırken analizle ilgili tam bilgi vermelidir. Ayrıca numunenin nasıl işlendiği ve iletkenlik açısından ne tür mikroskop kullanıldığı (tungsten, LaB6 ışın mikroskopları veya FEG-SEM) da belirtilmesi gereken önemli bilgilerdir [197].

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez çalışması Bezmialem Vakıf Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızda çekilmiş insan dişlerinde iki farklı NiTi döner eğe sistemi ile farklı çalışma boylarında kök kanalı şekillendirmesi sonrası foraminal deformasyon değerlendirilmiştir. İnsana ait biyolojik materyallerin kullanılmasından dolayı Bezmialem Vakıf Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu kararınca 2022/11 numaralı etik kurul onayı alınarak çalışmaya başlanmıştır. Ayrıca çalışmamız 20220423 bilimsel araştırma projesi (BAP) numarası ile Bezmialem Vakıf Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Kurulu tarafından desteklenmiştir.

3.1 Power Analizi

İki farklı eğe sistemi ile alt premolar dişlerin kök kanallarının şekillendirilmesi sonrasında foraminal deformasyon açısından incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmanın örnek büyüklüğü (hacmi); G*Power istatistik programı (ver.3.1.9.4; Faul ve Erdfelder, 1998)* kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre; **4 farklı gruba** ayrılan alt premolar dişler için, Power (testin gücü) 0,80, effect size 0,5 ve 1. tip hata 0,05 alınarak her grupta örneklem sayısı **15 diş** olarak belirlenmiştir. Ayrıca yapılan hesaplama sonucunda gerçek (actual) **Power %83** olarak bulunmuştur.

3.2 Deney Gruplarının Hazırlanması

3.2.1 Dişlerin Seçimi

Çalışmamızda ortodontik veya periodontal sebeplerle çekilmiş ve apikal gelişimini tamamlamış mandibular premolar insan dişleri kullanılmıştır. Periodontal küret yardımıyla dişlerin üzerindeki eklentiler ve artıklar temizlenmiştir. Düz ve tek kök kanalına sahip olan dişler çalışmaya dâhil edilirken çürük, kırık, çatlak, rezorpsiyon veya kanal içerisinde kalsifikasyon bulunduran dişler çalışma dışı bırakılmıştır. Bu kriterlere uyan 60 adet diş çalışmaya dâhil edilmiştir. Çalışma zamanına kadar dişler oda sıcaklığında ve serum fizyolojik solüsyonu içerisinde muhafaza edilmiştir.

3.2.2 Örneklerin Hazırlanması

Dişlerin apikal açıklığı 10 numaralı K tipi eğe (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ile kontrol edilmiştir. Dişlerin koronal kısımlarından aşındırma yapılarak boyları 19 ± 1 mm olacak şekilde standardize edilmiştir. Genişletme ve şekillendirme işlemleri sırasında çevreden izolasyonu sağlamak amacıyla dişler soğuk akrilik içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.2.21 Şekillendirme öncesi hazırlanmış örnek diş

Her bir kök şekillendirme öncesinde SEM ile x300 büyütme altında incelenmiş ve apikal foramen açılım noktasından görüntü alınmıştır. Daha sonra örnekler kullanılacak eğelere ve apikal şekillendirmenin bitim noktalarına göre rastgele dört gruba ayrılmıştır (n=15);

Grup 1: VDW Rotate (15/.04, 20/.04, 25/.04, 35/.04) apikal foramende (AF)

Grup 2: VDW Rotate (15/.04, 20/.04, 25/.04, 35/.04) apikal foramenden 1 mm geride (AF-1mm)

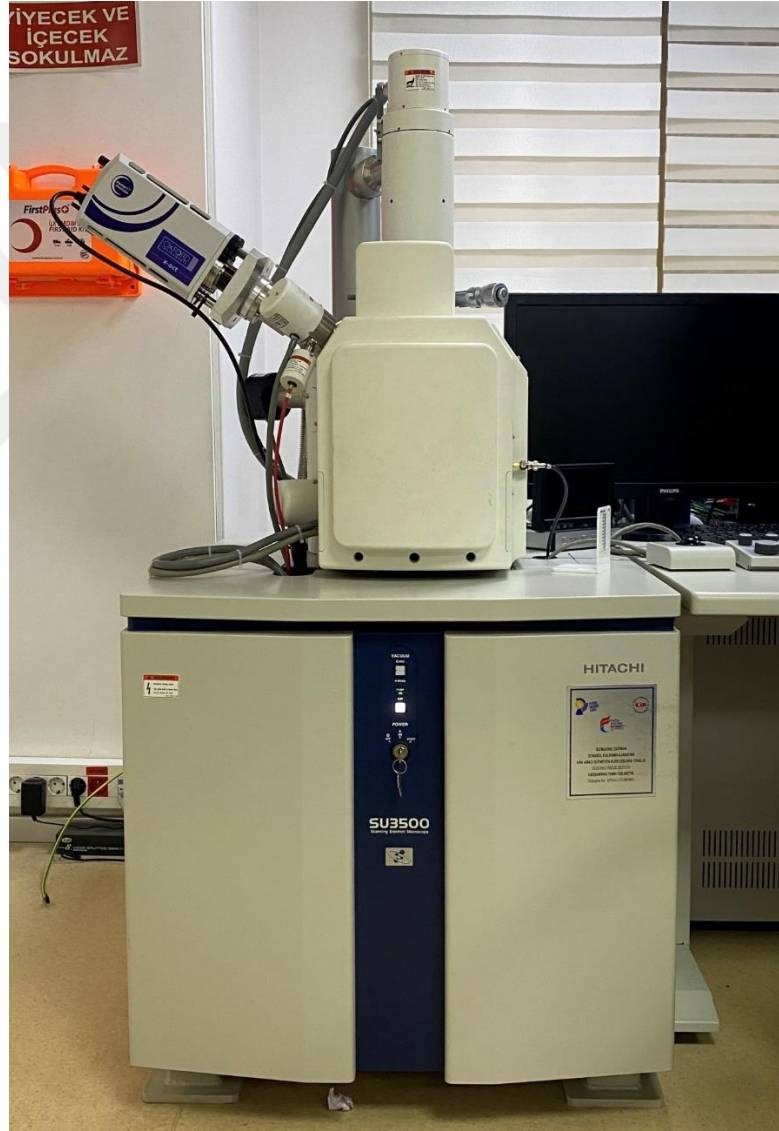
Grup 3: MikroMega One RECI (One G, 20/.04, 25/.04, 35/.04) AF

Grup 4: MikroMega One RECI (One G, 20/.04, 25/.04, 35/.04) AF-1mm

3.3 Kök Kanal Preparasyonu

3.3.1 Kök Kanal Preparasyonu ncesi SEM ile Tarama

Çalışmamızda kullanılan örneklerin incelenmesi Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Alüminyum Test Eğitim ve Araştırma Merkezinde SU3500 (HITACHI) taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yapılmıştır (şekil 3.2). Örnekler karbon kâğıdı üzerinde konumlandırılarak taramaya hazırlanmıştır. Taranan örneklerden x300 büyütmede görüntüler elde edilmiştir.



şekil 3.3.12 SEM görüntülemesi için kullanılan SU3500 (HITACHI) taramalı elektron mikroskobu.

Kök kanal preparasyonundan önce tüm dişlerin apikal foramanlarından SEM ile görüntüler alınmıştır. Örnekler cihaz platformunda sabitlenmiştir ve cihazın X-ışın kaynağı 5.000 kV ve 300 µm ayarlanmıştır. Aynı pozisyonda tekrar görüntü alabilmek için dişler numaralandırılarak sabitlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3.13 SEM görüntülemesi öncesi dişlerin platforma yerleştirilmesi

Kök kanallarına 10 numaralı K tipi eğe (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) yerleştirilmiş ve apikal foramenden görülünceye kadar ilerletilmiştir. Grup 1 ve Grup 3 için çalışma boyları bu şekilde kaydedilmiştir. Grup 2 ve Grup 4 için ise çalışma boyu, bu boydan 1 mm kısa olacak şekilde hesaplanıp kaydedilmiştir.

Preparasyon öncesi görüntülerin kontrollerinin ardından kanal preparasyonu işlemine geçilmiştir. Kök kanal preparasyonu NiTi döner eğeler ve bir endodontik motor (X Smart Plus, Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kullanılarak yapılmıştır. Her NiTi eğe üç adet kanalın preparasyonu için kullanılmıştır. Alkollü bir pamuk spanç kullanılarak eğe üzerinde biriken debrisler temizlenmiştir. Preparasyon tamamlanana kadar her eğe değişiminde kök kanalları, 2 mL %2,5 konsantrasyonlu sodyum hipoklorit (NaOCl) solüsyonu ile 30 gauge irrigasyon iğnesi kullanılarak yıkanmıştır.

Bütün gruplarda standardizasyonu sağlamak için irrigasyonda toplam 15 mL %2,5'lik NaOCl kullanılmıştır. Final irrigasyonu ise 5 mL distile su ile yapılmıştır. Bütün işlemler tek bir operatör tarafından gerçekleştirilmiştir. Aşağıda 4 gruba ait kök kanal preparasyon işlemleriyle ilgili detaylı bilgiler verilmiştir.

3.3.2 VDW Rotate NiTi Döner Alet Sistemi

Grup 1: VDW Rotate (15/.04, 20/.04, 25/.04, 35/.04) AF

Bu gruptaki örneklerin kök kanal preparasyonu VDW Rotate (VDW Dental, Almanya) (Şekil 3.4) NiTi döner eğe sisteminin 15/.04, 20/.04, 25/.04 ve 35/.04 eğeleri kullanılarak yapılmıştır. Çalışma boyu 10 numaralı K tipi eğe ile apikal foramanda görüntüleninceye kadar ilerletilmiş ve bu nokta çalışma boyu olarak kaydedilmiştir. Preparasyon üretici firma talimatları doğrultusunda X-smart endomotor (Dentsply Sirona) yardımıyla 300 rpm hız ve 2N tork değerlerinde kullanılmıştır. Kanallara 10 ve 15 numaralı K tipi el eğeleri (Dentsply Maillefer) ile rehber yol oluşturulmuş ve kanallar 2 mL %2,5 NaOCl ile irrig edilmiştir. Ardından VDW Rotate döner eğe sisteminin 15/.04 eğesi çalışma boyunda fırçalama hareketi ile kullanılmıştır. 20/.04 eğesi ile preparasyon tamamlandıktan sonra 25/.04 eğesi ve ardından 35/.04 eğesi fırçalama hareketi ile kullanılarak kök kanal preparasyonu bitirilmiştir. Şekillendirme esnasında her eğe değişiminde kanallar 2 mL %2,5'lik NaOCl ile yıkanmıştır. Kanallar toplamda 15 mL NaOCl ile yıkanarak irrigasyon tamamlanmıştır.



Şekil 3.3.24 VDW Rotate döner eğe sistemi (15/.04, 20/.04, 25/.04, 35/.04)

Grup 2: VDW Rotate (15/.04, 20/.04, 25/.04, 35/.04) AF-1mm

Bu gruptaki örneklerin kök kanal preparasyonu VDW Rotate (VDW Dental, Almanya) NiTi döner ege sisteminin 15/.04, 20/.04, 25/.04 ve 35/.04 egerleri kullanılarak yapılmıştır. Çalışma boyu 10 numaralı K tipi ege ile apikal foramanda görüntüleninceye kadar ilerletilmiş ve çalışma boyu, bu boydan 1 mm kısa olacak şekilde kaydedilmiştir. Preparasyon üretici firma talimatları doğrultusunda X-smart endomotor (Dentsply Sirona) yardımıyla 300 rpm hız ve 2N tork değerlerinde kullanılmıştır. Kanallara 10 ve 15 numaralı K tipi el egerleri (Dentsply Maillefer) ile rehber yol oluşturulmuştur ve kanallar 2 mL %2,5 NaOCl ile irrig edilmiştir. Ardından VDW Rotate döner ege sisteminin 15/.04 egesi çalışma boyunda fırçalama hareketi ile kullanılmıştır. 20/.04 egesi ile preparasyon tamamlandıktan sonra 25/.04 egesi ve ardından 35/.04 egesi fırçalama hareketi ile kullanılarak kök kanal preparasyonu bitirilmiştir. Şekillendirme esnasında her ege değişiminde kanallar 2 mL %2,5'lik NaOCl ile yıkanmıştır. Kanallar toplamda 15 mL NaOCl ile yıkanarak irrigasyon tamamlanmıştır.

3.3.3 MikroMega One RECI NiTi Döner Alet Sistemi ile Şekillendirme

Grup 3: MikroMega One RECI (One G, 20/.04, 25/.04, 35/.04) AF

Bu gruptaki örneklerin kök kanal preparasyonu One RECI (Micro-Mega®, Besançon, Fransa) NiTi döner ege sisteminin One G, 20/.04, 25/.04 ve 35/.04 egerleri kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.5). Çalışma boyu 10 numaralı K tipi ege ile apikal foramanda görüntüleninceye kadar ilerletilmiştir ve bu nokta çalışma boyu olarak kaydedilmiştir. Preparasyon üretici firma talimatları doğrultusunda X-smart endomotor (Dentsply Sirona) yardımıyla One G rotasyon modunda diğer egerler resiprokasyon modunda kullanılmıştır. Kanallara 10 ve 15 numaralı K tipi el egerleri (Dentsply Maillefer) ile rehber yol oluşturulmuş ve kanallar 2 ml %2,5 NaOCl ile irrig edilmiştir. Ardından OneRECI döner ege sisteminin One G, 20/.04 egesi çalışma boyunda fırçalama hareketi ile kullanılmıştır. 20/.04 egesi ile preparasyon tamamlandıktan sonra 25/.04 egesi ve ardından 35/.04 egesi fırçalama hareketi ile kullanılarak kök kanal preparasyonu bitirilmiştir. Şekillendirme esnasında her ege değişiminde kanallar 2 mL

%2,5'lik NaOCl ile yıkanmıştır. Kanallar toplamda 15 mL NaOCl ile yıkanarak irrigasyon tamamlanmıştır.



Şekil 3.3.35 MikroMega One RECI döner eğe sistemi (One G, 20/.04, 25/.04, 35/.04)

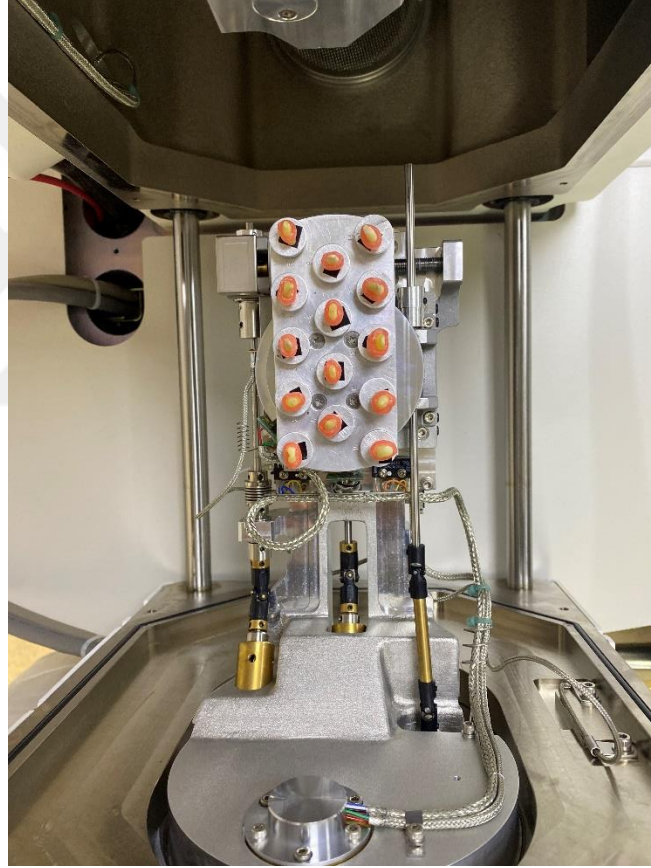
Grup 4: MikroMega One RECI (One G, 20/.04, 25/.04, 35/.04) AF-1mm

Bu gruptaki örneklerin kök kanal preparasyonu One RECI (Micro-Mega®, Besançon, Fransa) NiTi döner eğe sisteminin One G, 20/.04, 25/.04 ve 35/.04 eğeleri kullanılarak yapılmıştır. Çalışma boyu 10 numaralı K tipi eğe ile apikal foramande görüntüleninceye kadar ilerletilmiş ve çalışma boyu, bu boydan 1 mm kısa olacak şekilde hesaplanmıştır. Preparasyon üretici firma talimatları doğrultusunda X-smart endomotor (Dentsply Sirona) yardımıyla One G rotasyon modunda diğer eğeler resiprokasyon modunda kullanılmıştır. Kanallara 10 ve 15 numaralı K tipi el eğeleri (Dentsply Maillefer) ile rehber yol oluşturulmuştur ve kanallar 2 mL %2,5 NaOCl ile irrig edilmiştir. Ardından One RECI döner eğe sisteminin One G, 20/.04 eğesi çalışma boyunda fırçalama hareketi ile kullanılmıştır. 20/.04 eğesi ile preparasyon tamamlandıktan sonra 25/.04 eğesi ve ardından 35/.04 eğesi fırçalama hareketi ile kullanılarak kök kanal preparasyonu bitirilmiştir. Şekillendirme esnasında her eğe değişiminde kanallar 2 mL %2,5'lik NaOCl ile yıkanmıştır. Kanallar toplamda 15 mL NaOCl ile yıkanarak irrigasyon tamamlanmıştır.

Tüm gruplardaki örneklerin kök kanallarının preparasyonu tamamlandıktan sonra tekrar SEM görüntüsü alınana kadar dişler distile su içinde saklanmıştır.

3.3.4 Kök Kanal Preparasyonu Sonrası SEM ile Tarama

Kök kanal preparasyonu tamamlandıktan sonra dişler aynı pozisyonda sabitlenerek yeniden SEM ile görüntüler alınmıştır (Şekil 3.6). Altmış adet şekillendirme öncesi apeks görüntüsü, 30 adet apikal foramende şekillendirilen apeks görüntüsü ve 30 adet apikal foramenden 1 mm geride şekillendirilen apeks görüntüsü olmak üzere toplamda 120 adet SEM görüntüsü elde edilmiştir.

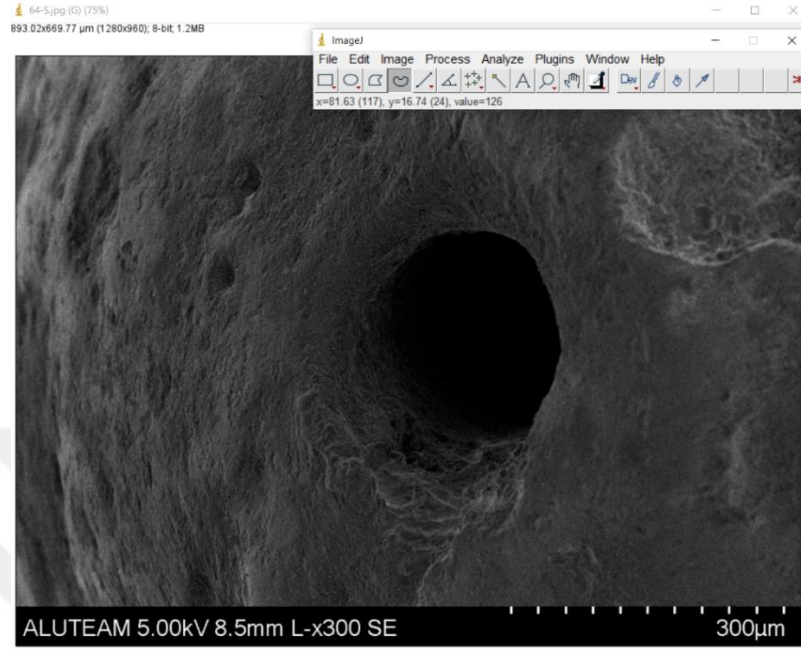


Şekil 3.3.46 Örneklerin SEM cihazına yerleştirilmesi

3.4 SEM Görüntülerinin Analizi

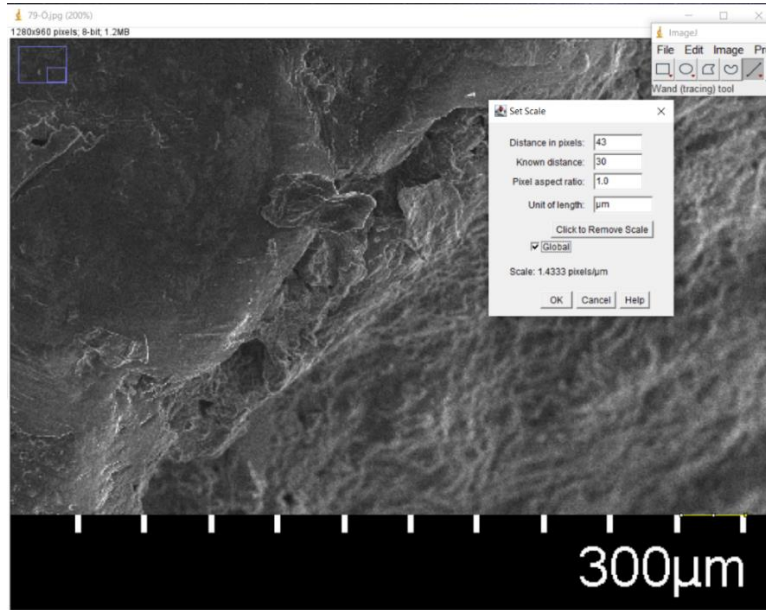
Foraminal deformasyon, foramen alanı, dairesellik ve Feret çap oranı üzerinden değerlendirilmiştir. Bu değerler, SEM görüntüleri ve bir yazılım programı (Image J) kullanılarak matematiksel olarak ölçülmüştür.

Ölçüm işlemleri için görüntüler öncelikle Image J programı içerisinde açılmıştır (Şekil 3.7).



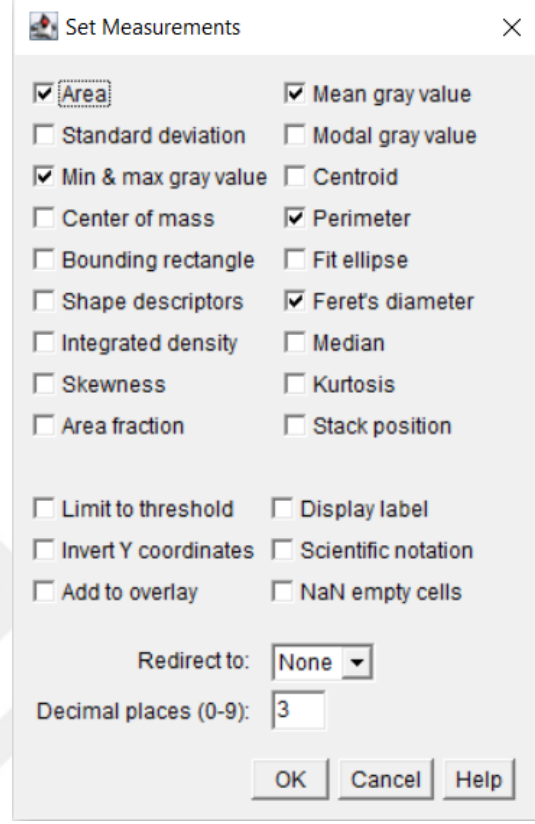
Şekil 3.4.7 SEM görüntülerinin Image J ile açılması

Görüntüler program içerisinde açıldıktan sonra ölçüm ayarının yapılması için SEM görüntüsündeki referans çizgisinden ölçümler ayarlanmıştır (Şekil 3.8). SEM görüntüsündeki referans birime göre ölçümler mikrometre (μm) birimi ile hesaplanmıştır.



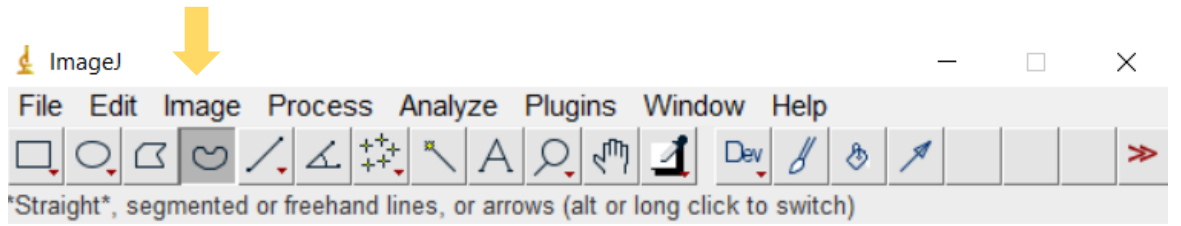
Şekil 3.4.8 SEM görüntülerinde referans çizgisinden ölçüm ayarlanması

Referans mesafesi ayarlandıktan sonra foraminal deformasyon varlığını değerlendirmek için kullanılacak parametreler seçilmiştir (Şekil 3.9).

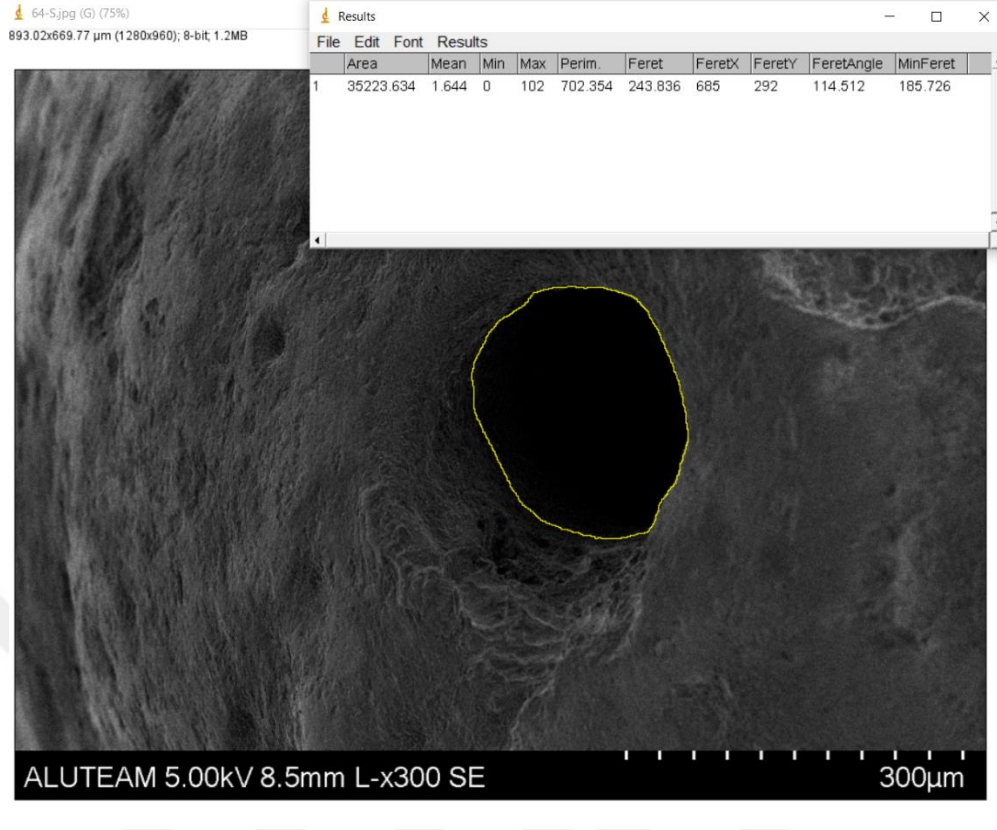


Şekil 3.49 Parametrelerin seçilmesi

Foramen genişliği manuel olarak çizildikten sonra foramen alanı, foramen çevresi ve feret açısı ölçülmüştür (Şekil 3.10 ve Şekil 3.11).



Şekil 3.410 Ölçüm şeklinin seçilmesi



Şekil 3.411 Foramen genişliğinin çizilerek ölçümlerin yapılması

4. BULGULAR

Çalışmamızda kök kanalında farklı çalışma boylarında iki farklı döner eğe sisteminin kullanılmasının foraminal deformasyona olan etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, SEM görüntüleri ve bir yazılım programı (Image J) kullanılarak çeşitli kriterler matematiksel olarak değerlendirilmiştir. Görüntüleri analiz etmek için alan, dairesellik ve Feret çap oranı olmak üzere 3 parametre hesaplanmıştır.

Foraminal deformasyonu tespit etmek için dairesellik ve feret çap oranları kullanılmıştır. Kök kanal şekillendirme öncesi ve sonrası bu oranlar ölçülmüştür ve aralarındaki farkın istatistiksel değerlendirmesi sonucuna göre deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir. Anlamlı bir farklılık olmaması durumunda deformasyon olmadığı sonucuna varılmıştır.

Kök kanal preparasyonu esnasında hiç alet kırılmamıştır.

Shapiro Wilks testi ile parametrelerin normal dağılıma uygun olduğu saptanmıştır. Varyans homojenliğine Levene testi ile bakılmıştır. İki yönlü varyans analizi ve ikili karşılaştırmalarda Bonferroni testinin sonuçları Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

4.1 Alan değişimi (μm)

Foramen alanının ortalama değerleri Tablo 4.1.1'de gösterilmektedir.

VDW Rotate ve MikroMega One RECI ile kök kanallarının şekillendirilmesi sonucunda foramen alanlarının arttığı görülmüştür.

AF-1 mm ve AF olarak belirlenen her iki çalışma boyu grubunda da foramen alanı değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir.

VDW Rotate ile kök kanallarının apikal foramende (AF) şekillendirildiği grupta apikal foramenden 1 mm geride şekillendirilen gruba (AF-1 mm) göre foramen alanının anlamlı düzeyde artış gösterdiği görülmüştür ($p<0,05$). MikroMega One RECI ile farklı çalışma boylarında yapılan preparasyonda ise döner eğe grubu içerisinde foramen alanı açısından anlamlı bir farklılık oluşmadığı görülmüştür ($p>0,05$).

Tablo 4.1.1.1 Alan değişimi

	AF-1 mm	AF	p
VDW Rotate	12643,0±14345,5	36933,2±41214,6	0,011
MikroMega One RECI	14614,4±15103,7	29714,3±19883,2	0,106
p	0,831	0,435	

Değerler mikrometre (μm^2) cinsinden verilmiştir.

4.2 Dairesellik değişimi ($\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$)

Dairesellik $4\pi \times (\text{alan})/(\text{evre})^2$ formülüne göre hesaplanmıştır. Daireselliğin değişimi son ölüm ile ilk ölümün oranlanmasıyla bulunmuştur.

VDW Rotate ile yapılan preparasyon sonrası AF-1mm ve AF grupları arasında daireselliğin değişiminde anlamlı bir farklılık görülmemiştir ($p>0,05$).

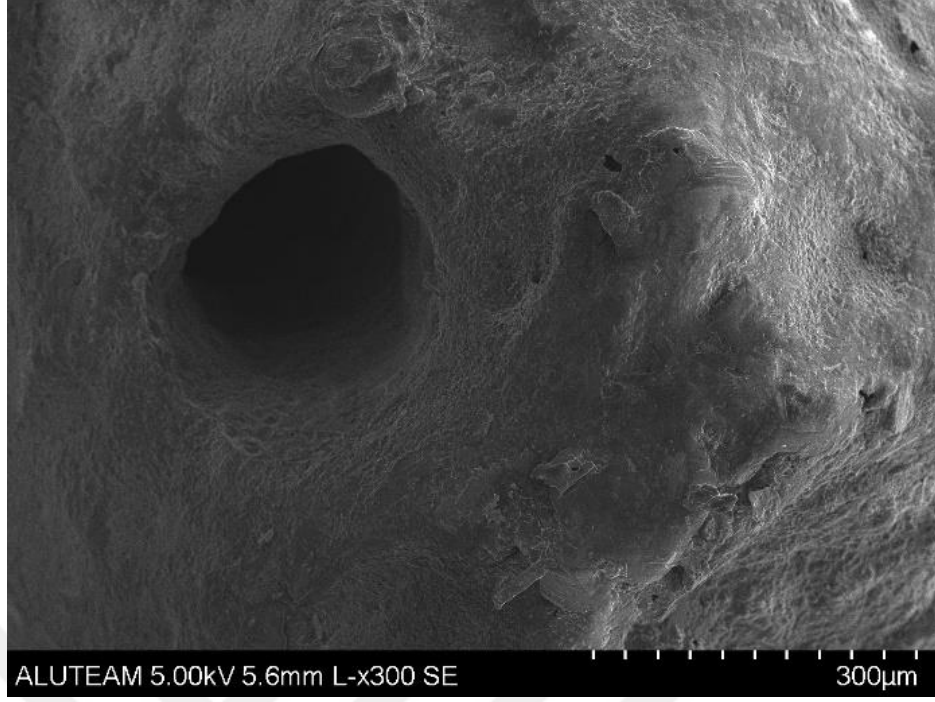
MikroMega One RECI kullanılarak yapılan kök kanal şekillendirilmesinde de benzer şekilde her iki çalışma boyu grubunda dairesellik değişiminde anlamlı bir fark görülmemiştir ($p>0,05$).

VDW Rotate ve One RECI döner eğe sistemleri kendi aralarında karşılaştırıldığında yine dairesellik değerlerinde anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p>0,05$) (Tablo 4.2).

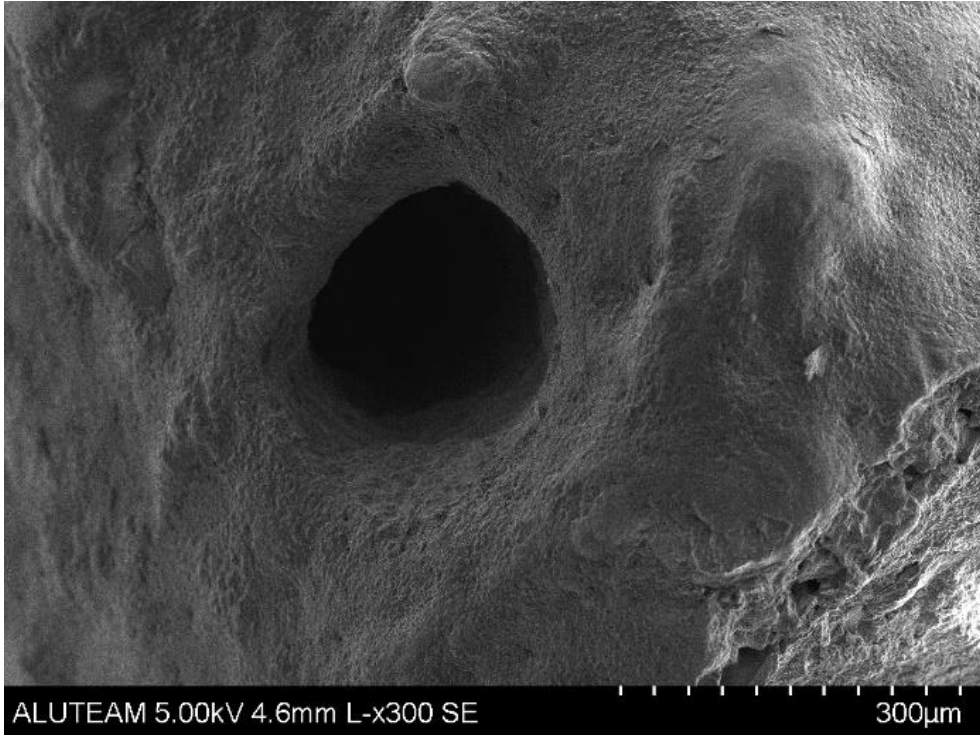
Tablo 4.2.1.1 Dairesellik değişimi

	AF-1 mm	AF	p
VDW Rotate	0,988±0,114	1,082±0,295	0,171
MikroMega One RECI	1,048±0,171	0,976±0,093	0,293
p	0,377	0,125	

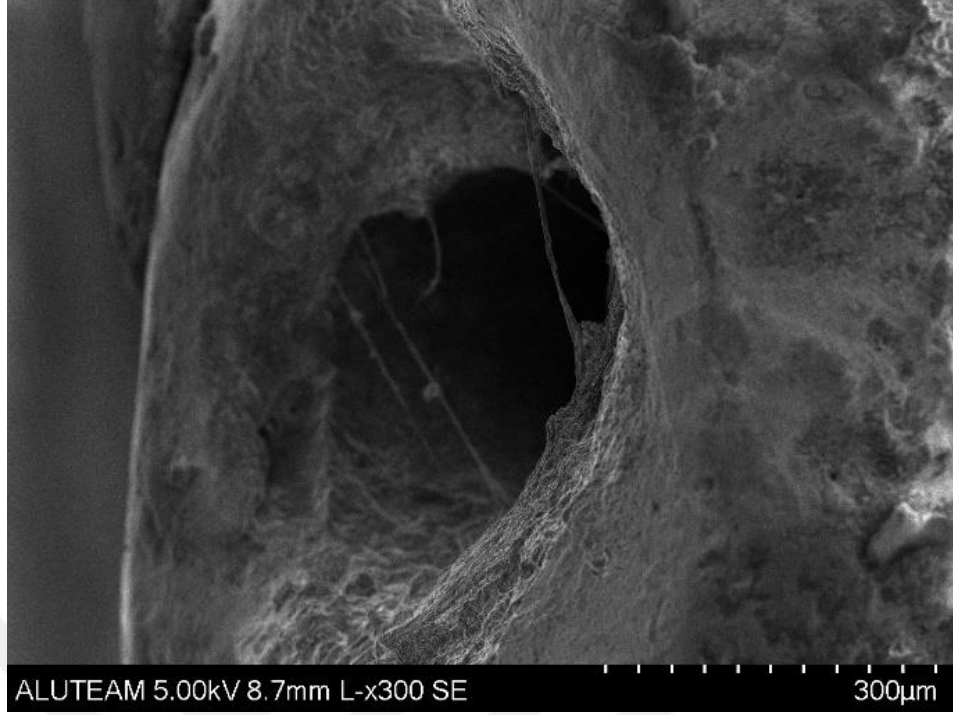
Değerler mikrometre ($\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$) cinsinden verilmiştir.



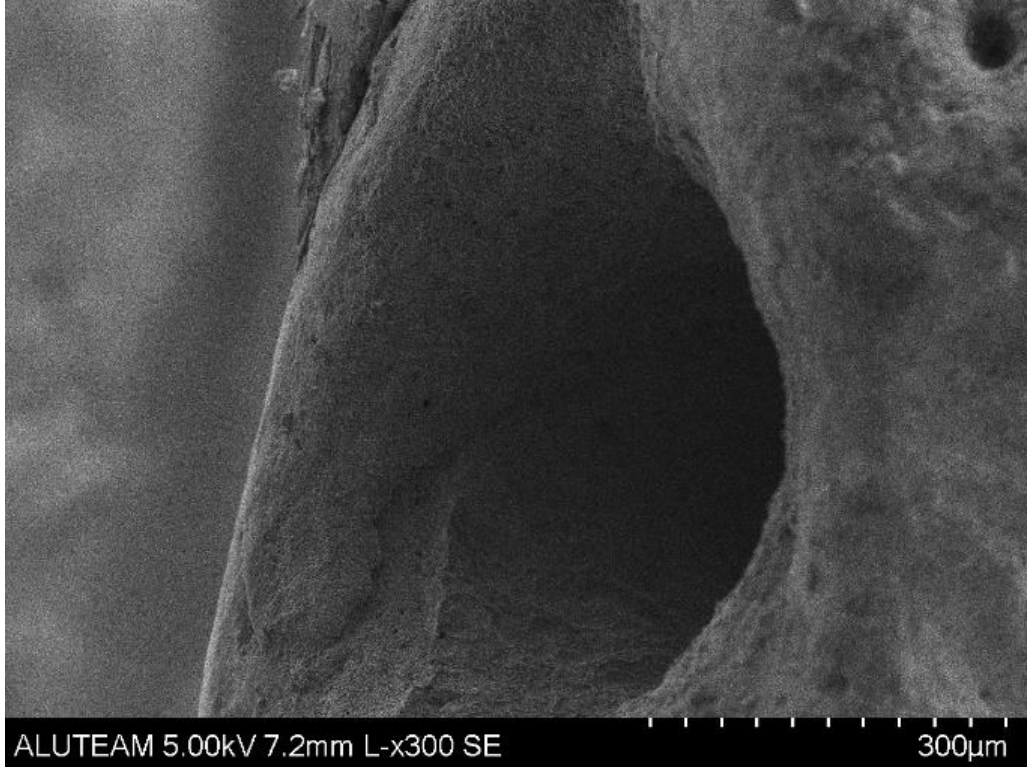
Şekil 4.2.1 MikroMega One RECI AF-1 mm grubuna ait şekillendirme öncesi bir örnek SEM görüntüsü



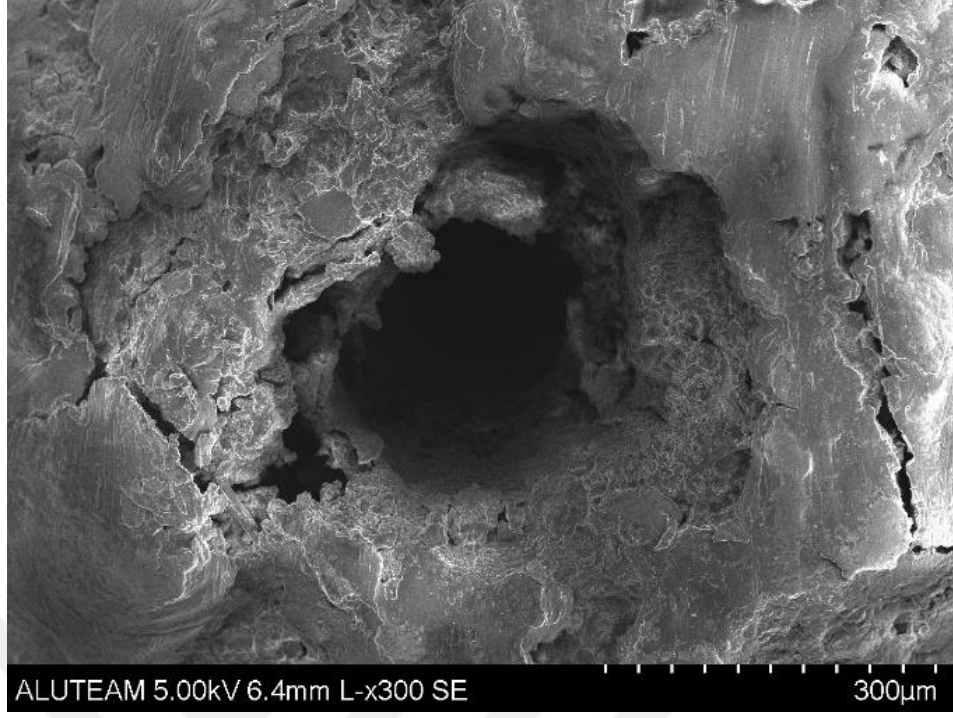
Şekil 4.2.2 MikroMega One RECI AF-1 mm grubuna ait şekillendirme sonrası bir örnek SEM görüntüsü



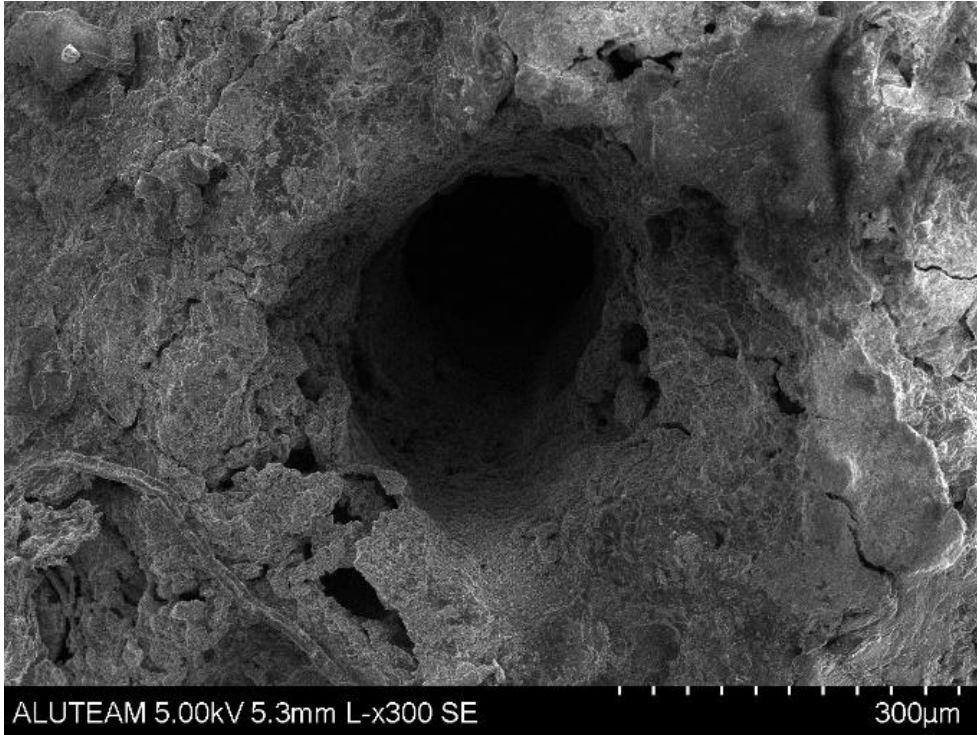
Şekil 4.2.3 MikroMega One RECI AF grubuna ait şekillendirme öncesi bir örnek SEM görüntüsü



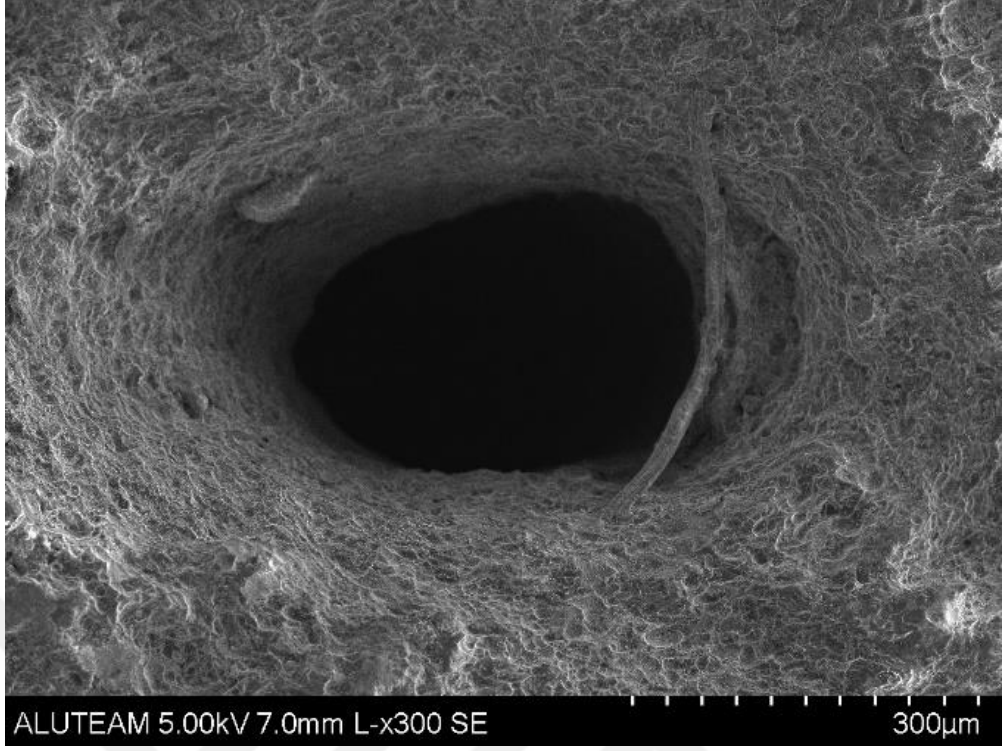
Şekil 4.2.4 MikroMega One RECI AF grubuna ait şekillendirme sonrası bir örnek SEM görüntüsü



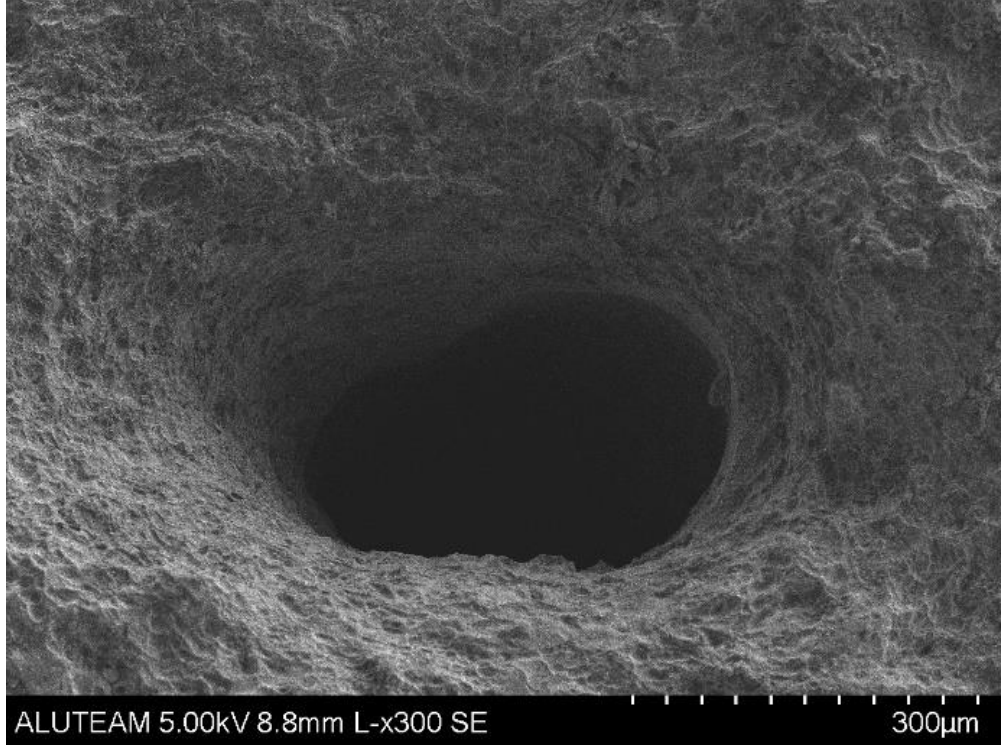
Şekil 4.2.5 VDW Rotate AF-1 mm grubuna ait şekillendirme öncesi bir örnek SEM görüntüsü



Şekil 4.2.6 VDW Rotate AF-1 mm grubuna ait şekillendirme öncesi bir örnek SEM görüntüsü



Şekil 4.2.7 VDW Rotate AF grubuna ait şekillendirme öncesi bir örnek SEM görüntüsü

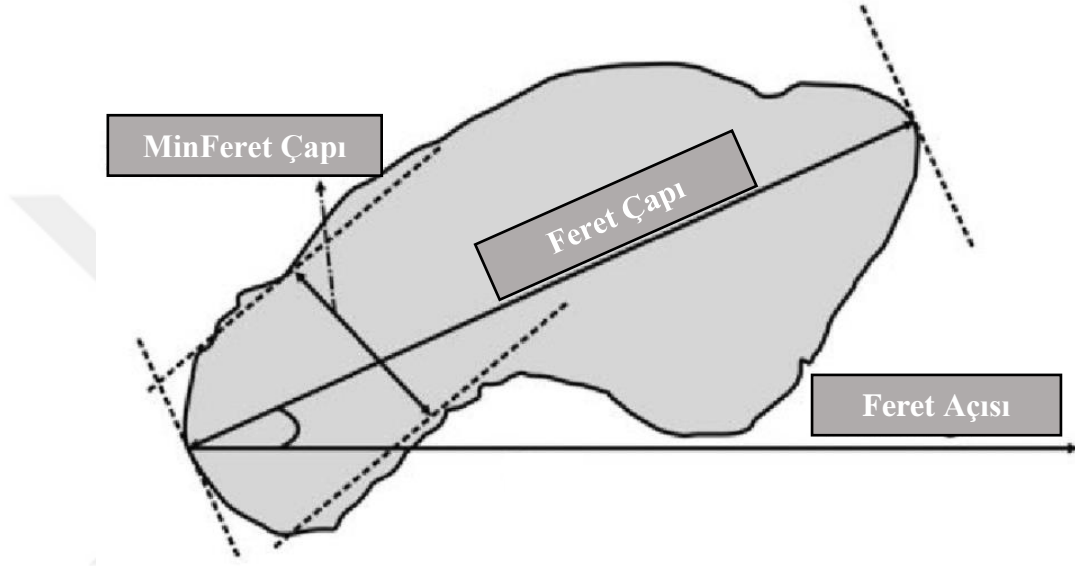


Şekil 4.2.8 VDW Rotate AF grubuna ait şekillendirme sonrası bir örnek SEM görüntüsü

4.3 Feret açısı ($\mu\text{m}/\mu\text{m}$)

Feret çapı seçilen bir alan içindeki en uzun mesafe olup çalışmada mikrometre birimi ile hesaplanmıştır. Minimum feret ise bu alandaki en kısa mesafedir. Çalışmamızda bu uzunlukların oranları değerlendirilmiştir.

Feret açısı Feret çapı ile x-ekseni arasındaki 0-180 derece arasındaki açıdır (Şekil 4.9).



Şekil 4.3.1 Feret birimleri

VDW Rotate döner eğe sistemi kullanılarak apikal foramenden 1 mm geride (AF-1mm) ve apikal foramende (AF) yapılan preparasyon sonrasında her iki grupta da feret oranlarında anlamlı bir fark görülmemiştir ($p>0,05$).

Benzer şekilde MikroMega One RECI AF-1mm ve MikroMega One RECI AF grupları arasında feret oranlarında anlamlı bir farklılık görülmemiştir ($p>0,05$).

VDW Rotate ve One RECI grupları çalışma boyundan bağımsız olarak kendi aralarında karşılaştırıldıklarında da feret oranları bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p>0,05$).

Feret ölçüm oranları Tablo 4.3.1’te gösterilmiştir.

Tablo 4.3.1.1 Maksimum-minimum feret oranı

	AF-1 mm			AF			1 mm-apikal farkı p	
	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra
VDW Rotate	2,07±0,82	2,16±0,71	0,847	2,12±1,56	1,76±0,81	0,145	0,914	0,352
MikroMega One RECI	2,59±0,94	2,36±0,85	0,343	2,71±1,55	2,52±0,66	0,253	0,794	0,466
p	0,261	0,227		0,203	0,160			

5. TARTIŞMA

Endodontik tedavinin temel amacı kök kanal sisteminin anatomik yapısına uyumlu biçimde şekillendirilmesi, dezenfeksiyonu ve kanalların sızdırmaz bir şekilde dolgusunun yapılmasıdır [198]. Kök kanal tedavisinin en önemli aşamalarından biri kök kanallarının şekillendirilmesi olarak kabul edilir. Bu aşama kök kanal tedavisinin başarısını direkt olarak etkilemektedir. Ayrıca bu işlem, mekanik temizliğin yanı sıra kanal içi medikamanlar için gerekli olan boşluğun ve kanal dolgusu için uygun kök kanal geometrisinin oluşturulmasını içermektedir [1].

Kök kanallarının şekillendirilme ve doldurulma yöntemleri günümüze kadar birçok değişiklik ve gelişme göstermiştir. Son yıllarda kök kanal şekillendirilmesini daha hızlı ve kolay hale getirmek için pek çok şekillendirme tekniği ve kök kanal enstrümanı geliştirilmiştir. Özellikle döner eğelerin üretiminde NiTi alaşımların kullanılmasıyla birlikte şekillendirme için gereken sürenin azalması, hekim yorgunluğunun en aza indirilmesi ve perforasyon, basamak oluşumu gibi komplikasyonların azaltılması gibi pek çok olumlu gelişme kaydedilmiştir [118].

Öte yandan kök kanal şekillendirme işlemlerinde NiTi aletlerin kullanımının dentinde birtakım deformasyonlara yol açtığı [2, 102] ve kök kanal preparasyonu miktarı ile vertikal kök kırığı oluşumu riski arasında bir paralellik olduğu gözlenmiştir [5]. Döner aletler kullanılarak yapılan kök kanal preparasyonu sonrasında dentinde deformasyon görülme sıklığının arttığı da ayrıca ileri sürülmüştür [4, 199, 200]. Bu bilgi doğrultusunda çalışmamızda farklı çalışma kinematiğine sahip eğe sistemlerinin apikaldeki olası deformasyona olan etkileri araştırılmıştır.

Dişlerle ilgili mekanik özelliklerin araştırıldığı çalışmalarda bulguları etkileyebilecek birtakım hususlara çalışma süresince dikkat etmek gerekmektedir. Örneğin dişlerin saklandığı koşulların sonuçları etkileyebileceği ve dehidratasyonun dentinde çatlaklara yol açabileceği bildirilmiştir [201]. Dentin üzerine hiçbir zararlı etkisinin olmamasından dolayı dentin ile ilgili yapılan çalışmalarda distile suyun kullanımı tavsiye edilmektedir [202]. Bu sebeple çalışmamızda deneyler gerçekleştirilene kadar dehidratasyona engel olmak amacıyla dişler distile su içerisinde saklanmıştır.

Kökte herhangi bir çatlak varlığı çalışma bulgularını etkileyebilecek sebeplerden bir diğeri olup bunun önüne geçebilmek için minimal travma ile çekilen dişler kullanılmıştır [175, 203]. Dişler çalışmaya dâhil edilmeden önce stereomikroskop altında incelenmiş ve çatlak bulunan dişler çalışma dışı bırakılmıştır.

Çalışmada kök kanallarının preparasyonu esnasında oluşan stresler de dentin defektlerine yol açabilmektedir. Ağız ortamında periodontal ligament dişe gelen kuvvetleri diş ile kemik arasında dengeli bir şekilde dağıtmaktadır [204]. Çalışmamızda ise *in vivo* ortam koşullarının taklit edilebilmesi ve dişlerin dış kuvvetlere karşı güçlendirilerek çevreden izole edilebilmesi amacıyla dişlerin etrafı ince bir akrilik tabaka ile sarılmıştır.

Sistemik bir derleme çalışmasında rehber yol oluşturmanın mikro çatlak insidansını etkilemediği bildirilmiştir [205]. Buchanan'a göre apikal açıklık için seçilen eğelerin duvarlarda abrazyon etkisi olmamalıdır [206]. Ayrıca apikal açıklığın sağlanması için majör foramenden pasif olarak 1 mm kadar ileri hareket ettirilmelidir [206]. Bu nedenle çalışmamızda kök kanallarının şekillendirilmesinden önce bütün gruplarda üretici firma talimatları doğrultusunda 10 numara K tipi el eğeleriyle rehber yol oluşturulmuştur.

Kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunda ve debrislerin uzaklaştırılmasında kök kanalı irrigasyonu önemli bir role sahiptir. Kök kanal tedavisinde en sık kullanılan irrigasyon solüsyonu olan NaOCl klinikte %1-6 arası değişen konsantrasyonlarda kullanılmaktadır. NaOCl kök dentinin fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirebilmektedir [207]. Sim ve ark. NaOCl solüsyonunun dentin dokusunun elastik modülünü düşüren bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir [155]. Benzer bir çalışmada Zapparoli ve ark. NaOCl ve EDTA irrigasyon solüsyonlarının kök dentininin mikrosertliğini anlamlı derecede düşürdüğünü tespit etmişlerdir [208]. Buna karşın farklı konsantrasyonlardaki NaOCl'nin dentinin mekanik, kimyasal ve yapısal özellikleri üzerine etkisini araştıran Marending ve ark. ise %1'lik NaOCl'nin dentinin elastik modülü ve esneklik dayanımında önemli derecede değişikliğe neden olmadığını bildirmiştir [209]. Çalışmamızda NaOCl'nin dentin üzerine olumsuz etkilerini azaltmak ve kliniğe uygun koşulları sağlamak amacıyla tüm gruplara eşit miktarda olacak şekilde %2,5 konsantrasyonunda NaOCl solüsyonu kullanılmıştır.

Etilendiamin tetraasetik asitin (EDTA) % 15-17'lik bir çözeltisi, nötr veya hafif alkali bir pH'a (~7-8) sahiptir ve enstrümantasyonun sonunda uygulandığında hem sert doku kalıntılarını hem de smear tabakasını çözebilen güçlü bir şelatördür [210, 211]. EDTA yalnızca zayıf bir antimikrobiyal etki gösterir ve NaOCl'den daha biyouyumludur [212, 213]. EDTA aynı zamanda ucuzdur ve yaygın olarak bulunur.

Mevcut kanıtlar son yıkama için NaOCl yerine klorheksidin veya başka bir irriganın kullanımını desteklememektedir. EDTA'dan sonra NaOCl ile son yıkamaya karşı ana argüman, NaOCl'nin açıkta kalan dentin kollajenine saldırması ve kök kanal duvarında erozyona neden olmasıdır [125]. Yapılacak ileri çalışmalarda EDTA ile final irrigasyonun foraminal deformasyona etkisinin araştırılması önerilir.

Çalışmamızda rotary hareketiyle çalışan VDW Rotate eğeleri ve yeni geliştirilen bir sistem olan ve resiprokal hareket ile çalışan MikroMega One RECI ile farklı çalışma boylarında yapılan kök kanal preparasyonları sonrasında foraminal deformasyonların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Literatüre göre rotary ve resiprokal hareketle çalışan NiTi enstrümanlarla yapılan kök kanal preparasyonları karşılaştırıldığında dentinde meydana gelen defektlerin oluşumuyla ilgili bir görüş birliğinin elde edilemediği görülmektedir [22, 170].

Çalışmamız bulgularına göre ise her iki döner ege sisteminde gruplar arasında dairesellik ve feret açısı oranlarında bir farklılık görülmemiştir. Bu nedenle hem rotasyon hem de resiprokal hareketle gerçekleştirilen kök kanal şekillendirilmesi sonrasında apikal deformasyonun oluşmadığı şeklinde yorumlanmıştır.

Çalışmalarda foramen morfolojisini değerlendirmek için LED transilüminasyon, stereomikroskop, mikro bilgisayarlı tomografik görüntüleme ve SEM gibi birçok metodolojiden faydalanılmaktadır [15, 214, 215]. De-Deus ve ark. 2014 yılında yaptıkları çalışmada Vertucci tip II konfigürasyona sahip dişlerin kök kanallarını WaveOne, Reciproc ve BioRace döner alet sistemleri ile şekillendirmiş ve şekillendirme ile ortaya çıkan dentin defektlerini mikrobilgisayarlı tomografi kullanarak incelemişlerdir [170]. Çapar ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada ise ProTaper Universal, ProTaper Next, Hyflex CM döner alet sistemleri kullanılarak mandibular premolar dişlerde kök kanal şekillendirmesi yapılmıştır. Apikal genişlik

#40/.04 olarak oluşturulduktan sonra apikalden 2, 4 ve 6 mm uzaklıkta kesitler alınarak dentin defektleri stereomikroskop ile görüntülenmiştir [175].

Coelho ve ark.'ın 2016 yılında yaptığı başka bir çalışmada ise ProFile, TRUShape ve WaveOne Gold döner alet sistemleri ile mandibular molarların mezial kökleri şekillendirilmiş ve dentin defekti oluşumu LED transilüminasyon yöntemiyle incelenmiştir [216]. Benzer bir çalışma Aksoy ve ark. tarafından XP-Endo Shaper, Reciproc Blue ve ProTaper Universal döner alet sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise mandibular molar dişler mikro-BT kullanılarak dentin defekti açısından değerlendirilmiştir [217].

Görüntülerin yüksek büyütmede görselleştirilmesine izin vermesi, kontrol edilemeyen değişkenleri azaltması, ölçüm doğruluğunu artırması ve fazla sayıda örnek üzerinde çalışılabilmesi nedeniyle çalışmamızda foramen deformasyonunun değerlendirilmesi için SEM yöntemi tercih edilmiştir [218].

Dentin defektlerinin insidansı ile ilgili çalışmalarda dikkat edilmesi gereken çok önemli bir diğer husus ise görüntü analizindeki öznelliktir. Çalışmamızda apikal deformasyon varlığının tarafsız ve objektif bir şekilde değerlendirilmesini garanti edebilmek amacıyla bir yazılım programı (Image J) kullanılarak elde edilen SEM görüntüleri üzerinde dairesellik ve feret oranındaki değişiklikler gibi kriterler matematiksel olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda dairesellik ve feret oranında herhangi bir değişikliğin gözlenmemesi foraminal deformasyon yok şeklinde yorumlanmıştır.

Foraminal genişleme ise şekillendirme öncesi ve sonrası foramen alanının farkının hesaplanmasıyla bulunmuştur. Bu yöntem, döner NiTi aletleri kullanımı sonrası apikal foramen genişliğini analiz etmek için Hu ve ark. tarafından geliştirilmiştir [215].

Uygun çalışma boyu tayini ve kök kanallarının çalışma boyuna göre kemomekanik olarak şekillendirilmesi, endodontik tedavinin başarılı bir şekilde tamamlanması için önemli adımlardır [7]. Kök kanallarının şekillendirilmesi gereken uygun noktanın apikal daralma bölgesinde bulunan dentin-sement birleşim noktası olduğu kabul edilmektedir. Ancak apikal bölgenin daha etkili irrigasyonu ve mekanik debridmanını

sağlayabilmek için kök kanal şekillendirilmesinin apikalde sonlandırılması gereken yerin tam olarak neresi olması gerektiği hakkında araştırmalar halen devam etmektedir [73, 97]. Apikal foramenin 1 mm kısa belirlenen çalışma boyunda tamamlanan preparasyonlar kök kanal sisteminin tamamını temizlenememesi riskine rağmen günümüzde daha çok tercih edilmektedir [15].

Çalışmamızda çalışma boyunun foraminal deformasyona etkisinin değerlendirilmesi amacıyla kök kanal preparasyonları apikal foramende ve apikal foramenin 1 mm gerisinde yapılmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlara göre her iki çalışma boyunda da apikal deformasyon görülmemiştir. Çalışmamız bulgularına benzer şekilde Daou ve ark. araştırmalarında çalışma boyunu apikal foramen olarak belirlemiş ve REC Blue ile XP Endo Shaper döner eğe sistemleri kullanarak yapmış oldukları kök kanalı şekillendirmesi sonucunda foraminal genişlemenin görüldüğü ancak deformasyonun oluşmadığını rapor etmişlerdir [219].

Bulgularımızı destekleyen bir başka çalışmaya göre şekillendirmenin apikal foramende sonlandırılmasının kökün apikal üçlü bölgesinde mikro çatlak gelişimini etkilemediği gösterilmiştir [220]. Özellikle periradiküler lezyonlu olgularda kök kanalının apikal üçlü bölgesinin mikrobiyal kolonizasyon için uygun bir alan olması sebebiyle kök kanal dezenfeksiyonunu optimize etmenin bir yolu olarak apikal foramene mümkün olduğunca yakın bir seviyede preparasyon önerilmiştir [100].

Öte yandan Santos ve ark. yaptıkları araştırmada çalışma kinematığından bağımsız olarak rotasyon ve resiprokal hareketle çalışan her iki eğe sisteminin belirledikleri iki farklı çalışma boyunda da foraminal deformasyona neden olduğu sonucuna varmışlardır [15]. Sonuçlarımız Santos ve ark.'ın çalışmasıyla uyumlu olmayıp yazarlar SEM görüntülerini “deformasyon var ya da yok” şeklinde skorlarken çalışmamızda ise foraminal deformasyon; foramen alanı, dairesellik ve Feret çap oranı üzerinden değerlendirilmiştir. Silva ve ark. yapmış oldukları bir çalışmada kök kanallarını apikal foramen ve apikal foramenin 1 mm ilerisinde olacak şekilde iki farklı çalışma boyu ile şekillendirmiştir. Proteper Universal ve WaveOne Primary eğelerin ve her iki çalışma boyunun karşılaştırıldığı bu çalışmaya göre yapılan preparasyon sonrasında tüm gruplarda eğelerin çalışma kinematığı fark etmeksizin apikal foramen deformasyonunun gözlemlendiği ileri sürülmüştür [15].

Adorno ve ark 2011 yılında yaptığı bir çalışmada, apikal foramenden 1 mm geride, apikal foramende ve apikal foramenden 1 mm ileride olacak şekilde belirlenen çalışma boylarında şekillendirme sonrası kök kanallarını dentin defektleri bakımından karşılaştırmıştır [3]. Apikal foramenden 1 mm geride çalışılan grupta, diğer iki gruba göre anlamlı olarak daha az dentin defekti gözlenmiştir. Aynı şekilde Liu ve ark. da çalışmalarında, çalışma boyunun apikal foramenden geride olduğu gruplarda anlamlı olarak daha az çatlak olduğunu belirtmiştir [221]. Literatürde bir başka çalışmaya göre apikal foramende sonlanan preparasyonun çatlak hattı ve kök kırığı gibi dentin defekti oluşum riskini artırdığı bulunmuştur [221].

Bulgularımızın diğer çalışmalarla benzer olmamasının nedenleri arasında çalışmalarımızdaki skorlama yöntemlerinin ve test edilen döner ege sistemlerinin farklılığı düşünülebilir [15].

Kök kanallarının preparasyonunda ideal apikal çapın ne olduğu konusunda endodonti uzmanları arasında bir fikir birliği bulunmamaktadır. İdeal boyutun dişten diş değiştiği ve anatomik, mikrobiyolojik ve mekanik faktörlere bağlı olduğu ortaya konmuştur [23, 69]. Önceki çalışmalar tüm diş gruplarında apikal çapın genellikle tahmin edilenden daha geniş olduğu ve yeterli apikal genişletme sağlanmadığında kök kanal sisteminin tamamen temizlenmesinin engellenebileceğini göstermiştir [51, 55]. Genellikle 30 ve 35 numaralı ege boyutlarında apikal preparasyon tavsiye edilmektedir [222]. Ancak bu durum önerilen boyutlarda eğeler kullanıldığında bile kök kanal duvarlarının %15-30'una eğelerin temas etmediğini ve kök kanallarının temizlenemediğini gösteren çalışmalarla sorgulanmıştır [223, 224]. İsthmuslar, lateral kanallar ve apikal dallanmalar gibi kanal morfolojisinin ulaşılması zor bölgelerinde kemomekanik şekillendirmeye rağmen bakteriler kök kanal sisteminden tamamen uzaklaştırılamayabilir. Bu nedenle kök kanalının bakteri içeren duvarlarını içine alacak kadar kök kanalının genişletilerek şekillendirme yapılması önerilmektedir [225, 226].

Kök kanal preparasyon teknikleri, dentin yapısını ve kök kanal morfolojisini korumak için apikal preparasyonu mümkün olduğu kadar küçük tutmayı amaçlayan bir yaklaşım ve periferdeki enfekte dentinin ortadan kaldırılmasına odaklanarak daha

fazla genişletmeyi hedefleyen diğer bir yaklaşım etrafında gelişme göstermiştir [25, 47].

Bu iki yaklaşım arasında mekanik ve biyolojik yönler arasında denge arayışı devam etmektedir. Daha büyük apikal genişletme ile kök kanal preparasyonunu savunanlar, bunun kök kanal duvarlarını temizlemenin ve dezenfekte etmenin en öngörülebilir yolu olduğunu öne sürmektedir [11, 46, 227, 228]. Ancak daha büyük apikal preparasyonların da dentin çatlakları ve taşkın dolun riskini arttırdığı gösterilmiştir [229, 230]. Ek olarak, yapılan klinik araştırmalara göre apikal periodontitis tedavisi için apikal genişletmeyi daha fazla artırmanın daha iyi bir sonuçla ilişkili olmadığı ortaya konmuştur [231, 232].

Marinho ve ark. 2012 yılında yaptıkları çalışmada kök kanal şekillendirmelerini farklı apikal genişliklerde tamamlayarak bakteriler tarafından salınan endotoksinlerin uzaklaştırılma miktarını değerlendirmişlerdir. Mtwo Rotary ege sistemlerini kullanan araştırmacılar 25/.06, 30/.05, 35/.04 ve 40/.04 apikal boyutlarında kök kanal preparasyonlarını tamamlamışlardır. Çalışmalarının bulgularına göre 30/.05'ten daha büyük nihai apikal ege ile elde edilen kök kanal genişletmesinin dentin duvarlarından endotoksini uzaklaştırmada en iyi performansı gösterdiğini rapor etmişlerdir [227].

Benzer şekilde Martinho ve ark., kök kanallarının 30 numaralı ege boyutuna kadar genişletilmesiyle kök kanallarında bulunan endotoksin miktarında %96,27 oranında bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir [233]. Yalnızca endotoksini değil, aynı zamanda daha fazla enfekte dentini uzaklaştırmak için de 30 numaradan daha büyük apikal genişletme önerilmektedir. Ayrıca bu yaklaşım ile irrigasyon solüsyonlarının aksesuar kanallara ve apikal deltaya ulaşmasına katkıda bulunduğu düşünülmektedir [234-237]. Bu nedenle yeterli temizliği sağlayabilmek amacıyla çalışmamızda kullanılan VDW Rotate ve Micromega One Recı döner ege sistemlerinde son apikal çap #35 olarak belirlenmiştir. Her iki grupta tüm örneklerin standardizasyonunun sağlanması amacıyla aynı büyüklükteki son çalışma egesi #35/.04 tercih edilmiştir.

Birçok çalışma, tek eğeli resiprokal hareket eden sistemler ile rotasyonel hareket ile çalışan döner ege sistemlerinin mikrobiyal azalma üzerinde benzer etkiye sahip olduğunu kanıtlamıştır [238-241]. Neves ve ark. aynı irrigasyon protokolü altında

Reciproc R40 ve BioRaCe döner eğe sistemleriyle kök kanal preparasyonunu karşılaştırılmışlar ve her iki döner eğe sisteminde de bakteri miktarının etkili miktarda azaldığını bildirmişlerdir [242].

Machado ve ark., mandibular azı dişlerin mezial köklerinde yapılan kanal preparasyonu sonrasında kök kanalı içindeki bakteriyel yoğunluğun miktarını değerlendirmek için Reciproc R25, SAF ve TF sistemleri olmak üzere üç farklı eğe sistemini karşılaştırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre mezial kök kanal sistemlerinin karmaşıklığından kaynaklanabilecek pozitif kültürlerin saptanmasına rağmen, tüm sistemlerin önemli ölçüde bakteriyel azalmayı sağlayabildiği ileri sürülmüştür [243].

Yakın zamanda yapılan bir *in vitro* çalışma, resiprokal hareket eden tek eğe tekniği ile geleneksel rotasyonel döner enstrümantasyon tekniğinin enfekte kök kanallarındaki mikroorganizmalar üzerine olan etkisini karşılaştırmıştır [239]. WaveOne, Reciproc, ProTaper Universal, Mtwo ve manuel enstrümantasyon ile kök kanallarını şekillendirdikleri bu çalışmanın bulgularına göre enstrümantasyondan sonra tüm gruplarda bakteri sayısının önemli ölçüde azaldığı gözlenmiştir. Böylece resiprokal hareket eden sistemlerin rotasyonel hareket eden sistemlerle ve manuel şekillendirme ile karşılaştırıldığında benzer oranlarda bakteriyel azalmalara yol açtığı sonucuna varılmıştır.

Benzer sonuçlar Nabeshima ve ark tarafından da desteklenmiştir. Wave One ve One Shape döner eğe sistemleri kullanılarak yapılan kök kanal preparasyonunda *Enterococcus faecalis* miktarını değerlendirdikleri çalışmalarında aynı apikal genişlikte bitirdikleri şekillendirmelerin sonucunda farklı kinematiklerdeki döner eğelerin bakteri yoğunluklarının azalmasına etkilerini benzer bulmuşlardır [244].

Kök kanallarının genişletilmesi dentin kalınlığını azaltarak ve esas olarak apikal bölgede stres yaratarak kökü zayıflatabilir. Böylece kök kanal dentininde apikal mikro çatlakların oluşumu indüklenebilir [5, 229, 245, 246]. Klinik olarak, tedavi edilmemiş çatlak dişler diş kaybına yol açabilecek tam bir çatlak veya vertikal kök kırığı meydana gelene kadar genellikle semptomsuzdur [5]. Vertikal kök kırıklarının endodontik tedavi görmüş ancak çekilmiş dişlerin %13,4'ünü etkilediği bildirilmiştir [247]. Bu nedenle mikro çatlakların potansiyel nedenlerini araştırmak önemlidir. Endodontik

prosedürlerin farklı aşamalarının çatlak oluşumu üzerindeki etkisini anlamak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır [3, 200, 229].

Rotasyonel kuvvet ile kök kanal şekillendirmesi kök dentininde mikro kırık ve çatlak hatlarının oluşumuna yol açabilmektedir [17]. Oluşan dentin defektlerinin tipi ve büyüklüğü ile kullanılan eğelerin uç tasarımı, yatay kesiti, koniklik açısı, oluk ve yiv formları arasında bir ilişki olduğu düşünülmektedir.

Resiprokal hareketin avantajı ise Roane ve arkadaşlarının tanımladığı dengeli kuvvet prensibine dayanmaktadır [218]. Resiprokal hareket ile burulma ve bükülme stresleri azalmakta ve eğenin kanal merkezinde kalma hâkimiyeti artmaktadır [218]. Yapılan güncel çalışmalarda kök kanalında deformasyon oluşma ve alet kırığı ihtimalini azaltabilmek için devamlı rotasyon hareketi yerine resiprokasyon hareketinin kök kanal şekillendirmesinde daha başarılı bir yöntem olduğu vurgulanmıştır [17].

You ve ark. kök kanal şekillendirilmesi esnasında devamlı rotasyon hareketi yapan çoklu eğe sistemi yerine tek NiTi alet ile resiprokal hareket kullanımının özellikle eğri kanallarda zaman kazandırabileceği ve kök kanallarında daha az stres oluşturacağını belirtmiştir [248]. Çalışmamızda rotasyon ve resiprokasyon hareket prensipleriyle çalışan iki farklı eğe sisteminin foraminal deformasyona etkileri karşılaştırılmıştır. Şekillendirme sonucunda foraminal genişleme her iki grupta da belirgin artış göstermiştir. Bu artışa rağmen foraminal deformasyon her iki eğe sisteminde de görülmemiştir.

Foramen alanı genişlemiş olsa da genişlikteki artışın dairesellik ve feret çap oranını değiştirmemesinden dolayı bu çalışma sonucunda iki eğe grubunda ve farklı çalışma boylarında foraminal deformasyon görülmediği ileri sürülebilir. Farklı döner eğe sistemlerinde ve çalışma boylarında apikal foramen şekil değiştirmiş ve genişlemiş olsa da foraminal deformasyonu dairesellik ve feret çapı üzerinden değerlendirmemiz bu parametrelerin oranlarında değişiklik olmadığı durumlarda foraminal deformasyonun görülmediği sonucuna ulaştırmıştır.

Çalışmamızın sonuçları göz önüne alındığında kullanılan her iki döner eğe sisteminin belirlenen çalışma boylarından bağımsız olarak deformasyona yol açmadan benzer

foraminal genişlemeyi sağlamanın apikal foramende taşkın kanal dolum riskini azaltabileceği düşünülebilir. Ancak bu sonuçların ve yorumların uygulanabilmesi ve kliniğe aktarılabilmesi için daha ileri çalışmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca çalışmamız çekilmiş tek ve düz köklü dişlerde yapılmış olup kurvatürlü kökler ile yapılan çalışmalarla sonuçlar desteklenmelidir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı çalışma boylarında farklı döner eğe sistemleri kullanılarak kök kanallarının şekillendirildiği bu *ex vivo* çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular ve çalışmanın sınırları dâhilinde yapılan sonuç ve öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Apikal foramen ve apikal foramenden 1 mm geride olacak şekilde belirlenen çalışma boylarında kullanılan VDW Rotate ve MicroMega One Recı eğe sistemleri foramen alanında benzer artışa yol açmıştır.
- Belirlenen her iki çalışma boyunda da VDW Rotate ve MicroMega One RECI ile yapılan kök kanalı şekillendirmesi sonucunda dairesellik ve feret oranlarında anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Bundan yola çıkarak apikal foramenin deformasyona uğramadan genişletildiği gözlenmiştir.
- Apikal foramenin genişletilmesinin kök kanallarının apikal üçlü bölgesinin dezenfeksiyonu ve kök kanal obturasyonunun kalitesi üzerindeki etkisini değerlendiren daha ileri çalışmaların yapılması gerekmektedir.
- Bulgularımızın desteklenmesi için kurvatürlü dişler ile yapılan ve ayrıca Mikro-BT yöntemi ile desteklenen ileri çalışmalar önerilmektedir.

7. KAYNAKÇA

1. T., A., *Kök Kanal Tedavisinde Kullanılan Al*. 2012, İskitler, Ankara: Özyurt matbaacılık, .
2. Bier, C.A.S., et al., *The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation*. Journal of Endodontics, 2009. **35**(2): p. 236-238.
3. Adorno, C.G., T. Yoshioka, and H. Suda, *Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths*. Journal of endodontics, 2011. **37**(4): p. 522-525.
4. Shemesh, H., et al., *Diagnosis of vertical root fractures with optical coherence tomography*. Journal of endodontics, 2008. **34**(6): p. 739-742.
5. Wilcox, L.R., C. Roskelley, and T. Sutton, *The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture*. Journal of Endodontics, 1997. **23**(8): p. 533-534.
6. Yoldas, O., et al., *Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file*. Journal of endodontics, 2012. **38**(2): p. 232-235.
7. Ricucci, D., *Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review*. International Endodontic Journal, 1998. **31**(6): p. 384-393.
8. Frota, M.M.A., et al., *Debris extrusion and foraminal deformation produced by reciprocating instruments made of thermally treated NiTi wires*. Journal of Applied Oral Science, 2018. **26**.
9. de Souza Filho, F.J., O. Benatti, and O.P. de Almeida, *Influence of the enlargement of the apical foramen in periapical repair of contaminated teeth of dog*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 1987. **64**(4): p. 480-484.
10. Fornari, V., et al., *Histological evaluation of the effectiveness of increased apical enlargement for cleaning the apical third of curved canals*. International Endodontic Journal, 2010. **43**(11): p. 988-994.
11. Albrecht, L.J., J.C. Baumgartner, and J.G. Marshall, *Evaluation of apical debris removal using various sizes and tapers of ProFile GT files*. Journal of endodontics, 2004. **30**(6): p. 425-428.
12. Lin, L. and P. Rosenberg, *Repair and regeneration in endodontics*. International endodontic journal, 2011. **44**(10): p. 889-906.
13. Duran-Sindreu, F., et al., *A comparison of apical transportation between FlexMaster and Twisted Files rotary instruments*. Journal of endodontics, 2012. **38**(7): p. 993-995.
14. González Sánchez, J., et al., *Centring ability and apical transportation after overinstrumentation with ProTaper Universal and ProFile Vortex instruments*. International endodontic journal, 2012. **45**(6): p. 542-551.
15. Santos, A.M.S., et al., *Foraminal deformation after foraminal enlargement with rotary and reciprocating kinematics: a scanning electronic microscopy study*. Journal of Endodontics, 2018. **44**(1): p. 145-148.
16. Blum, J., et al., *Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: value of the safety quotient*. Journal of endodontics, 2003. **29**(9): p. 567-575.
17. Varela-Patiño, P., et al., *Alternating versus continuous rotation: a comparative study of the effect on instrument life*. Journal of endodontics, 2010. **36**(1): p. 157-159.
18. De-Deus, G., et al., *Assessment of apically extruded debris produced by the single-file ProTaper F2 technique under reciprocating movement*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 2010. **110**(3): p. 390-394.

19. Plotino, G., et al., *Current assessment of reciprocation in endodontic preparation: a comprehensive review—part II: properties and effectiveness*. Journal of endodontics, 2015. **41**(12): p. 1939-1950.
20. Arslan, H., et al., *Effect of ProTaper Universal, Endoflare, Revo-S, HyFlex coronal flaring instruments, and Gates Glidden drills on crack formation*. Journal of endodontics, 2014. **40**(10): p. 1681-1683.
21. GÜNEŞER, M.B., A.N. DİNÇER, and D. ARSLAN, *Kök Kanallarının Şekillendirilmesinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Araştırma Yöntemleri*. 2017.
22. Monga, P., et al., *Comparison of incidence of dentinal defects after root canal preparation with continuous rotation and reciprocating instrumentation*. Singapore dental journal, 2015. **36**: p. 29-33.
23. Baugh, D. and J. Wallace, *The role of apical instrumentation in root canal treatment: a review of the literature*. Journal of endodontics, 2005. **31**(5): p. 333-340.
24. Chandra, S., *Grossman's endodontic practice*. 2014: Wolters Kluwer India Pvt Ltd.
25. Schilder, H., *Cleaning and shaping the root canal*. Dental clinics of north America, 1974. **18**(2): p. 269-296.
26. Haapasalo, M., et al., *Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions*. Endodontic topics, 2005. **10**(1): p. 77-102.
27. Parris, J., L. Wilcox, and R. Walton, *Effectiveness of apical clearing: histological and radiographical evaluation*. Journal of endodontics, 1994. **20**(5): p. 219-224.
28. Sjögren, U., et al., *Factors affecting the long-term results of endodontic treatment*. Journal of endodontics, 1990. **16**(10): p. 498-504.
29. Nair, P.R., et al., *Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron microscopic follow-up study*. Journal of endodontics, 1990. **16**(12): p. 580-588.
30. weine, F., *Endodontic therapy*. St. Louis: C.V. Mosby, 1972: p. 209-22.
31. Jou, Y.-T., et al., *Endodontic working width: current concepts and techniques*. Dental Clinics, 2004. **48**(1): p. 323-335.
32. Levin, J., D. Liu, and Y. Jou, *OR 47 The accuracy of two clinical techniques to determine the size of the apical foramen*. Journal of Endodontics, 1999. **4**(25): p. 294.
33. Liu, D. and Y. Jou, *PR 31 A technique estimating apical constriction with K-files and NT Lightspeed rotary instruments*. Journal of Endodontics, 1999. **4**(25): p. 306.
34. Wu, M.K., et al., *Does the first file to bind correspond to the diameter of the canal in the apical region?* International Endodontic Journal, 2002. **35**(3): p. 264-267.
35. Buchanan, L.S., *The standardized-taper root canal preparation--Part 1. Concepts for variably tapered shaping instruments*. Int Endod J, 2000. **33**(6): p. 516-29.
36. Buchanan, L.S., *The standardized-taper root canal preparation--Part 2. GT file selection and safe handpiece-driven file use*. Int Endod J, 2001. **34**(1): p. 63-71.
37. Buchanan, L.S., *The standardized-taper root canal preparation--Part 3. GT file technique in large root canals with small apical diameters*. Int Endod J, 2001. **34**(2): p. 149-56.
38. Buchanan, L.S., *The standardized-taper root canal preparation--Part 4. GT file technique in large root canals with large apical diameters*. Int Endod J, 2001. **34**(2): p. 157-64.
39. Cohen S, B.R., *Pathways of the pulp*. 1976: St Louis: C.V. Mosby.
40. F., W., *Endodontic therapy*. 1982: 3rd ed St. Louis: C.V. Mosby.
41. Grossman, L., *Endodontic practice*. 10th ed. ed. 1981.
42. Simon, J., *The apex: how critical is it?* General dentistry, 1994. **42**(4): p. 330-334.
43. Friedman, S., S. Abitbol, and H.P. Lawrence, *Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment*. J Endod, 2003. **29**(12): p. 787-93.

44. Hoskinson, S.E., et al., *A retrospective comparison of outcome of root canal treatment using two different protocols*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 2002. **93**(6): p. 705-715.
45. Strindberg, L.Z., *The dependence of the results of pulp therapy on certain factors-an analytical study based on radiographic and clinical follow-up examination*. Acta Odontol Scand, 1956. **14**: p. 1-175.
46. Card, S.J., et al., *The effectiveness of increased apical enlargement in reducing intracanal bacteria*. Journal of Endodontics, 2002. **28**(11): p. 779-783.
47. Rollison, S., F. Barnett, and R.H. Stevens, *Efficacy of bacterial removal from instrumented root canals in vitro related to instrumentation technique and size*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 2002. **94**(3): p. 366-371.
48. Siqueira Jr, J.F., et al., *Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals*. Journal of endodontics, 1997. **23**(8): p. 499-502.
49. Tan, B.T. and H.H. Messer, *The quality of apical canal preparation using hand and rotary instruments with specific criteria for enlargement based on initial apical file size*. Journal of endodontics, 2002. **28**(9): p. 658-664.
50. Wu, M.-K. and P.R. Wesselink, *Efficacy of three techniques in cleaning the apical portion of curved root canals*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 1995. **79**(4): p. 492-496.
51. Kerekes, K. and L. Tronstad, *Morphometric observations on the root canals of human molars*. J Endod, 1977. **3**(3): p. 114-8.
52. Kerekes, K. and L. Tronstad, *Morphometric observations on root canals of human premolars*. Journal of Endodontics, 1977. **3**(2): p. 74-79.
53. Kerekes, K. and L. Tronstad, *Morphometric observations on root canals of human anterior teeth*. Journal of Endodontics, 1977. **3**(1): p. 24-29.
54. Kuttler, Y., *Microscopic investigation of root apexes*. The Journal of the American Dental Association, 1955. **50**(5): p. 544-552.
55. Wu, M.-K., et al., *Prevalence and extent of long oval canals in the apical third*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 2000. **89**(6): p. 739-743.
56. Buchanan, L.S., *The standardized-taper root canal preparation--part 6. GT file technique in abruptly curved canals*. Int Endod J, 2001. **34**(3): p. 250-9.
57. Salzgeber, R.M. and J.D. Brilliant, *An in vivo evaluation of the penetration of an irrigating solution in root canals*. Journal of endodontics, 1977. **3**(10): p. 394-398.
58. Chow, T., *Mechanical effectiveness of root canal irrigation*. Journal of endodontics, 1983. **9**(11): p. 475-479.
59. Ram, Z., *Effectiveness of root canal irrigation*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 1977. **44**(2): p. 306-312.
60. Shuping, G.B., et al., *Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications*. Journal of endodontics, 2000. **26**(12): p. 751-755.
61. Siqueira Jr, J.F., et al., *Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques*. Journal of Endodontics, 1999. **25**(5): p. 332-335.
62. Ørstavik, D., K. Kerekes, and O. Molven, *Effects of extensive apical reaming and calcium hydroxide dressing on bacterial infection during treatment of apical periodontitis: a pilot study*. International Endodontic Journal, 1991. **24**(1): p. 1-7.

63. Dalton, B.C., et al., *Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation*. Journal of endodontics, 1998. **24**(11): p. 763-767.
64. Sjögren, U., et al., *The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing*. International endodontic journal, 1991. **24**(3): p. 119-125.
65. Yared, G.M. and F.E.B. Dagher, *Influence of apical enlargement on bacterial infection during treatment of apical periodontitis*. Journal of endodontics, 1994. **20**(11): p. 535-537.
66. Grove, C.J., *Why root canals should be filled to the dentinocemental junction*. The Journal of the American Dental Association (1922), 1930. **17**(2): p. 293-296.
67. Peters, O.A., et al., *Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography*. Journal of endodontics, 2001. **27**(1): p. 1-6.
68. Peters, O.A., et al., *Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography*. Journal of dental research, 2000. **79**(6): p. 1405-1409.
69. Peters, O.A., et al., *ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy*. International endodontic journal, 2003. **36**(2): p. 93-99.
70. Fasoli, G., *Sull'anatomia dei canali radicolari dei denti umani*. Stomatologia, 1913. **11**: p. 409-415.
71. Preiswerk, G., *Lehrbuch und Atlas der konservierenden Zahnheilkunde*. Vol. 38. 1912: JF Lehmann.
72. Zurcher, E., *The anatomy of the root canals of the teeth of the deciduous dentition and of the first permanent molars*. New York: William Wood & Co, 1925.
73. Palmer, M., F. Weine, and H. Healey, *Position of the apical foramen in relation to endodontic therapy*. Journal of the Canadian Dental Association, 1971. **37**(8): p. 305-308.
74. Vertucci, F., A. Seelig, and R. Gillis, *Root canal morphology of the human maxillary second premolar*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 1974. **38**(3): p. 456-464.
75. Al Mheiri, E., et al., *Evaluation of root and canal morphology of maxillary permanent first molars in an Emirati population; a cone-beam computed tomography study*. BMC oral health, 2020. **20**: p. 1-9.
76. Saad, A. and A. Al-Yahya, *The location of the cementodentinal junction in single-rooted mandibular first premolars from Egyptian and Saudi patients: a histological study*. International Endodontic Journal, 2003. **36**(8): p. 541-544.
77. Coolidge, E.D., *Anatomy of the root apex in relation to treatment problems*. The Journal of the American Dental Association (1922), 1929. **16**(8): p. 1456-1465.
78. Grove, C.J., *Faulty technic in investigations of the apices of pulpless teeth*. Journal of the American Dental Association, 1926. **13**(6): p. 746-747.
79. Grove, C.J., *Why root canals should be filled to the dentinocemental junction*. The Journal of the American Dental Association (1922), 1931. **18**(2): p. 314-319.
80. Seltzer, S., et al., *Biologic aspects of endodontics: I. Histologic observations of the anatomy and morphology of root apices and surrounding structures*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 1966. **22**(3): p. 375-385.
81. Hassanien, E.E., A. Hashem, and H. Chalfin, *Histomorphometric study of the root apex of mandibular premolar teeth: an attempt to correlate working length measured with electronic and radiograph methods to various anatomic positions in the apical portion of the canal*. Journal of endodontics, 2008. **34**(4): p. 408-412.

82. Ponce, E.H. and J.A.V. Fernández, *The cemento-dentino-canal junction, the apical foramen, and the apical constriction: evaluation by optical microscopy*. Journal of endodontics, 2003. **29**(3): p. 214-219.
83. Varrela, J., G. Townsend, and L. Alvesalo, *Tooth crown size in human females with 45, X/46, XX chromosomes*. Archives of Oral Biology, 1988. **33**(5): p. 291-294.
84. Sunada, I., *New method for measuring the length of the root canal*. Journal of dental research, 1962. **41**(2): p. 375-387.
85. Altman, M., et al., *Apical root canal anatomy of human maxillary central incisors*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 1970. **30**(5): p. 694-699.
86. Ricucci, D. and K. Langeland, *Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study*. International endodontic journal, 1998. **31**(6): p. 394-409.
87. Pineda, F. and Y. Kuttler, *Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 1972. **33**(1): p. 101-110.
88. Green, D., *A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 1956. **9**(11): p. 1224-1232.
89. DUMMER, P.M., J.H. MCGINN, and D.G. REES, *The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen*. International Endodontic Journal, 1984. **17**(4): p. 192-198.
90. Green, D., *Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 1960. **13**(6): p. 728-733.
91. Stein, T.J. and J.F. Corcoran, *Anatomy of the root apex and its histologic changes with age*. Oral surgery, oral medicine, oral pathology, 1990. **69**(2): p. 238-242.
92. Orban, B., *Why root canals should be filled to the dentinocemental junction*. Journal of the American Dental Association, 1930. **17**(6): p. 1086-1087.
93. Schilder, H., *Filling root canals in three dimensions*. Dental Clinics of North America, 1967. **11**(3): p. 723-744.
94. Martinez-Lozano, M., et al., *Methodological considerations in the determination of working length*. International endodontic journal, 2001. **34**(5): p. 371-376.
95. Arora, R.K. and K. Gulabivala, *An in vivo evaluation of the ENDEX and RCM Mark II electronic apex locators in root canals with different contents*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 1995. **79**(4): p. 497-503.
96. Blaškovič-Šubat, V., B. Maričić, and J. Šutalo, *Asymmetry of the root canal foramen*. International endodontic journal, 1992. **25**(3): p. 158-164.
97. Burch, J.G. and S. Hulen, *The relationship of the apical foramen to the anatomic apex of the tooth root*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 1972. **34**(2): p. 262-268.
98. Ding, J., et al., *Investigation of apex locators and related morphological factors*. Journal of endodontics, 2010. **36**(8): p. 1399-1403.
99. Pagavino, G., R. Pace, and T. Baccetti, *A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator*. Journal of Endodontics, 1998. **24**(6): p. 438-441.
100. Wu, M.-K., P.R. Wesselink, and R.E. Walton, *Apical terminus location of root canal treatment procedures*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 2000. **89**(1): p. 99-103.
101. Sidow, S.J., et al., *Root canal morphology of human maxillary and mandibular third molars*. Journal of endodontics, 2000. **26**(11): p. 675-678.
102. *Glossary of evidence-based terms*. J Evid Base Dental Practice, 2007: p. 45-9.

103. Chugal, N.M., J.M. Clive, and L.S. Spångberg, *Endodontic infection: some biologic and treatment factors associated with outcome*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 2003. **96**(1): p. 81-90.
104. Georgopoulou, M., P. Anastassiadis, and S. Sykaras, *Pain after chemomechanical preparation*. International endodontic journal, 1986. **19**(6): p. 309-314.
105. Nekoofar, M., et al., *The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices*. International endodontic journal, 2006. **39**(8): p. 595-609.
106. Mizutani, T., N. Ohno, and H. Nakamura, *Anatomical study of the root apex in the maxillary anterior teeth*. Journal of endodontics, 1992. **18**(7): p. 344-347.
107. Morfis, A., et al., *Study of the apices of human permanent teeth with the use of a scanning electron microscope*. Oral surgery, oral medicine, oral pathology, 1994. **77**(2): p. 172-176.
108. Martos, J., et al., *Morphologic analysis of the root apex in human teeth*. Journal of Endodontics, 2010. **36**(4): p. 664-667.
109. Stein, T.J. and J.F. Corcoran, *Radiographic "working length" revisited*. Oral surgery, oral medicine, oral pathology, 1992. **74**(6): p. 796-800.
110. Laux, M., et al., *Apical inflammatory root resorption: a correlative radiographic and histological assessment*. International endodontic journal, 2000. **33**(6): p. 483-493.
111. Malueg, L.A., L.R. Wilcox, and W. Johnson, *Examination of external apical root resorption with scanning electron microscopy*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 1996. **82**(1): p. 89-93.
112. Gutierrez, J.H. and P. Aguayo, *Apical foraminal openings in human teeth. Number and location*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 1995. **79**(6): p. 769-77.
113. Grove, C., *The value of the dentinocemental junction in pulp canal surgery*. J Dent Res, 1931. **11**(6): p. 466-468.
114. Kerekes, K. and L. Tronstad, *Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique*. Journal of endodontics, 1979. **5**(3): p. 83-90.
115. Chapman, C., *A microscopic study of the apical region of human anterior teeth*. International Endodontic Journal, 1969. **3**(4): p. 52-58.
116. Endodontology, E.S.o., *Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology*. International endodontic journal, 2006. **39**(12): p. 921-930.
117. Buehler, W.J., J.V. Gilfrich, and R. Wiley, *Effect of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi*. Journal of applied physics, 1963. **34**(5): p. 1475-1477.
118. Thompson, S., *An overview of nickel–titanium alloys used in dentistry*. International endodontic journal, 2000. **33**(4): p. 297-310.
119. Lee, J.H., et al., *Thermomechanical study of Ni-Ti alloys*. J Biomed Mater Res, 1988. **22**(6): p. 573-88.
120. Serene, T.P., *Nickel-titanium instruments applications in endodontics*. Ishiyaku EuroAmerica Inc, St. Louis, 1995.
121. Andreasen, G., K. Wass, and K. Chan, *A review of superelastic and thermodynamic nitinol wire*. Quintessence international (Berlin, Germany: 1985), 1985. **16**(9): p. 623-626.
122. Andreasen, G.F. and R.E. Morrow, *Laboratory and clinical analyses of nitinol wire*. American journal of orthodontics, 1978. **73**(2): p. 142-151.
123. Walia, H., W.A. Brantley, and H. Gerstein, *An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files*. Journal of endodontics, 1988. **14**(7): p. 346-351.

124. Schäfer, E., *Root canal instruments for manual use: a review*. Dental traumatology, 1997. **13**(2): p. 51-64.
125. Haapasalo, M. and Y. Shen, *Evolution of nickel–titanium instruments: from past to future*. Endodontic topics, 2013. **29**(1): p. 3-17.
126. Schäfer, E. and M. Vlassis, *Comparative investigation of two rotary nickel–titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth*. International endodontic journal, 2004. **37**(4): p. 239-248.
127. Lopes, H.P., et al., *Effects of electropolishing surface treatment on the cyclic fatigue resistance of BioRace nickel-titanium rotary instruments*. Journal of endodontics, 2010. **36**(10): p. 1653-1657.
128. Bahia, M.G.A. and V.T.L. Buono, *Decrease in the fatigue resistance of nickel-titanium rotary instruments after clinical use in curved root canals*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 2005. **100**(2): p. 249-255.
129. Gavini, G., et al., *Cyclic fatigue resistance of rotary nickel-titanium instruments submitted to nitrogen ion implantation*. Journal of endodontics, 2010. **36**(7): p. 1183-1186.
130. Rapisardaa, E., et al., *The effect of surface treatments of nickel-titanium files on wear and cutting efficiency*. Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontology, 2000. **89**(3): p. 363-368.
131. Tripi, T.R., et al., *Depositions of nitrogen on NiTi instruments*. Journal of endodontics, 2002. **28**(7): p. 497-500.
132. Bonaccorso, A., et al., *Chemical analysis of nickel-titanium rotary instruments with and without electropolishing after cleaning procedures with sodium hypochlorite*. Journal of endodontics, 2008. **34**(11): p. 1391-1395.
133. Bonaccorso, A., et al., *Pitting corrosion resistance of nickel–titanium rotary instruments with different surface treatments in seventeen percent ethylenediaminetetraacetic acid and sodium chloride solutions*. Journal of endodontics, 2008. **34**(2): p. 208-211.
134. Cheung, G.S., Y. Shen, and B.W. Darvell, *Does electropolishing improve the low-cycle fatigue behavior of a nickel–titanium rotary instrument in hypochlorite?* Journal of endodontics, 2007. **33**(10): p. 1217-1221.
135. Frick, C.P., et al., *Thermal processing of polycrystalline NiTi shape memory alloys*. Materials Science and Engineering: A, 2005. **405**(1-2): p. 34-49.
136. Gutmann, J. and Y. Gao, *Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel–titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review*. International endodontic journal, 2012. **45**(2): p. 113-128.
137. McCormick, P. and Y. Liu, *Thermodynamic analysis of the martensitic transformation in NiTi—II. Effect of transformation cycling*. Acta Metallurgica et Materialia, 1994. **42**(7): p. 2407-2413.
138. Shen, Y., et al., *Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments*. Journal of endodontics, 2013. **39**(2): p. 163-172.
139. Metzger, Z., et al., *The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy—a new concept of endodontic files and its implementation*. Journal of Endodontics, 2010. **36**(4): p. 679-690.
140. Metzger, Z., et al., *The self-adjusting file (SAF). Part 3: removal of debris and smear layer—a scanning electron microscope study*. Journal of Endodontics, 2010. **36**(4): p. 697-702.

141. Hashem, A.A.R., et al., *Geometric analysis of root canals prepared by four rotary NiTi shaping systems*. Journal of endodontics, 2012. **38**(7): p. 996-1000.
142. Uygun, A.D., *Cyclic fatigue resistance of VDW. ROTATE and Reciproc Blue nickel-titanium files at root canal temperature*. Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects, 2020. **14**(3): p. 177.
143. Wu, M.-K., B. Fan, and P.R. Wesselink, *Leakage along apical root fillings in curved root canals. Part I: effects of apical transportation on seal of root fillings*. Journal of endodontics, 2000. **26**(4): p. 210-216.
144. Ertuğrul, İ.F. and E.O. Orhan, *Cyclic fatigue and energy-dispersive X-ray spectroscopy examination of the novel ROTATE instrument*. Microscopy research and technique, 2019. **82**(12): p. 2042-2048.
145. Clark, D. and J. Khademi, *Modern molar endodontic access and directed dentin conservation*. Dental Clinics, 2010. **54**(2): p. 249-273.
146. Krishan, R., et al., *Impacts of conservative endodontic cavity on root canal instrumentation efficacy and resistance to fracture assessed in incisors, premolars, and molars*. Journal of endodontics, 2014. **40**(8): p. 1160-1166.
147. Tomson, P.L. and S.R. Simon, *Contemporary cleaning and shaping of the root canal system*. Primary dental journal, 2016. **5**(2): p. 46-53.
148. Grande, N.M., et al., *Current assessment of reciprocation in endodontic preparation: a comprehensive review—part I: historic perspectives and current applications*. Journal of endodontics, 2015. **41**(11): p. 1778-1783.
149. Young, G., P. Parashos, and H. Messer, *The principles of techniques for cleaning root canals*. Australian dental journal, 2007. **52**: p. S52-S63.
150. Baumann, M.A., *Nickel–titanium: options and challenges*. Dental Clinics, 2004. **48**(1): p. 55-67.
151. Hülsmann, M., O.A. Peters, and P.M. Dummer, *Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means*. Endodontic topics, 2005. **10**(1): p. 30-76.
152. Bergmans, L., et al., *Smooth flexible versus active tapered shaft design using NiTi rotary instruments*. International Endodontic Journal, 2002. **35**(10): p. 820-828.
153. Ruddle, C.J., *Endodontic canal preparation: WaveOne single-file technique*. Dent Today, 2012. **31**(1): p. 124-126.
154. Fuss, Z., et al., *An evaluation of endodontically treated vertical root fractured teeth: impact of operative procedures*. Journal of endodontics, 2001. **27**(1): p. 46-48.
155. Sim, T., et al., *Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain*. International endodontic journal, 2001. **34**(2): p. 120-132.
156. Wu, M.-K., L. Van Der Sluis, and P. Wesselink, *Comparison of mandibular premolars and canines with respect to their resistance to vertical root fracture*. Journal of dentistry, 2004. **32**(4): p. 265-268.
157. Kishen, A., G.V. Kumar, and N.N. Chen, *Stress–strain response in human dentine: rethinking fracture predilection in postcore restored teeth*. Dental Traumatology, 2004. **20**(2): p. 90-100.
158. Onnink, P.A., R.D. Davis, and B.E. Wayman, *An in vitro comparison of incomplete root fractures associated with three obturation techniques*. Journal of Endodontics, 1994. **20**(1): p. 32-37.
159. Gambill, J.M., M. Alder, and E. Carlos, *Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography*. Journal of endodontics, 1996. **22**(7): p. 369-375.

160. Tsesis, I., et al., *Prevalence and associated periodontal status of teeth with root perforation: a retrospective study of 2,002 patients' medical records*. Journal of endodontics, 2010. **36**(5): p. 797-800.
161. Paleker, F. and P.J. van der Vyver, *Comparison of canal transportation and centering ability of K-files, ProGlider File, and G-Files: a micro-computed tomography study of curved root canals*. Journal of Endodontics, 2016. **42**(7): p. 1105-1109.
162. Lopes, H.P., et al., *Mechanical behavior of pathfinding endodontic instruments*. Journal of Endodontics, 2012. **38**(10): p. 1417-1421.
163. Schäfer, E. and R. Lau, *Comparison of cutting efficiency and instrumentation of curved canals with nickel-titanium and stainless-steel instruments*. Journal of endodontics, 1999. **25**(6): p. 427-430.
164. Assif, D., et al., *Assessment of the resistance to fracture of endodontically treated molars restored with amalgam*. The Journal of prosthetic dentistry, 2003. **89**(5): p. 462-465.
165. Lertchirakarn, V., J.E. Palamara, and H.H. Messer, *Load and strain during lateral condensation and vertical root fracture*. Journal of endodontics, 1999. **25**(2): p. 99-104.
166. Soros, C., et al., *Spreader load required for vertical root fracture during lateral compaction ex vivo: evaluation of periodontal simulation and fracture load information*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 2008. **106**(2): p. e64-e70.
167. Swain, M.V. and J. Xue, *State of the art of micro-CT applications in dental research*. International journal of oral science, 2009. **1**(4): p. 177-188.
168. Nielsen, R.B., et al., *Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research*. Journal of endodontics, 1995. **21**(11): p. 561-568.
169. De-Deus, G., et al., *Micro-computed tomographic assessment on the effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive systems on dentinal cracks*. Journal of endodontics, 2015. **41**(7): p. 1116-1119.
170. De-Deus, G., et al., *Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems*. Journal of Endodontics, 2014. **40**(9): p. 1447-1450.
171. Zuolo, M.L., et al., *Micro-computed tomography assessment of dentinal micro-cracks after root canal preparation with TruShape and Self-Adjusting file systems*. journal of endodontics, 2017. **43**(4): p. 619-622.
172. Yeri, E.A., *Mikro bilgisayarlı tomografi ve endodontik araştırmalardaki yeri*. Türkiye Klinikleri J Endod-Special Topics, 2015. **1**(3): p. 32-9.
173. Rivera, E.M. and R.E. Walton, *Longitudinal tooth cracks and fractures: an update and review*. Endodontic Topics, 2015. **33**(1): p. 14-42.
174. Shantiaee, Y., et al., *Effect of root canal preparation techniques on crack formation in root dentin*. Journal of endodontics, 2019. **45**(4): p. 447-452.
175. Capar, I.D., et al., *Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin*. Journal of endodontics, 2014. **40**(9): p. 1482-1484.
176. Dane, A., et al., *Effect of different torque settings on crack formation in root dentin*. Journal of endodontics, 2016. **42**(2): p. 304-306.
177. Karataş, E., et al., *Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments*. Journal of endodontics, 2015. **41**(2): p. 261-264.

178. Stringheta, C.P., et al., *Micro-computed Tomography versus the Cross-sectioning Method to Evaluate Dentin Defects Induced by Different Mechanized Instrumentation Techniques*. Journal of endodontics, 2017. **43**(12): p. 2102-2107.
179. Katkar, R.A., et al., *Optical Coherence Tomography*. Dent Clin North Am, 2018. **62**(3): p. 421-434.
180. Tan, J.-H., et al., *Infrared thermography on ocular surface temperature: a review*. Infrared physics & technology, 2009. **52**(4): p. 97-108.
181. Matsushita-Tokugawa, M., et al., *Detection of dentinal microcracks using infrared thermography*. Journal of endodontics, 2013. **39**(1): p. 88-91.
182. Detsch, S.G., W.T. Cunningham, and J.M. Langloss, *Endoscopy as an aid to endodontic diagnosis*. Journal of Endodontics, 1979. **5**(2): p. 60-62.
183. von Arx, T., et al., *Detection of dentinal cracks after root-end resection: an ex vivo study comparing microscopy and endoscopy with scanning electron microscopy*. Journal of endodontics, 2010. **36**(9): p. 1563-1568.
184. Saghiri, M.A., et al., *Back-scattered and secondary electron images of scanning electron microscopy in dentistry: a new method for surface analysis*. Acta Odontologica Scandinavica, 2012. **70**(6): p. 603-609.
185. Stewart, A. and A. Boyde, *Ion etching of dental tissues in a scanning electron microscope*. Nature, 1962. **196**(4849): p. 81-82.
186. McComb, D. and D.C. Smith, *A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures*. Journal of endodontics, 1975. **1**(7): p. 238-242.
187. Elnaghy, A., *Response: Cyclic fatigue resistance of ProTaper Next nickel-titanium rotary instruments*. International endodontic journal, 2015. **48**(11): p. 1101.
188. Tripi, T.R., et al., *Defects in GT rotary instruments after use: an SEM study*. Journal of endodontics, 2001. **27**(12): p. 782-785.
189. Alapati, S.B., et al., *Scanning electron microscope observations of new and used nickel-titanium rotary files*. Journal of Endodontics, 2003. **29**(10): p. 667-669.
190. Eggert, C., O. Peters, and F. Barbakow, *Wear of nickel-titanium lightspeed instruments evaluated by scanning electron microscopy*. Journal of Endodontics, 1999. **25**(7): p. 494-497.
191. Karn, T., J. Kelly, and L. Spångberg, *Fractographic analysis of experimentally separated NiTi rotary files*. J Endod, 2003. **29**: p. 288.
192. Zmener, O., C. Pameijer, and G. Banegas, *Effectiveness in cleaning oval-shaped root canals using Anatomic Endodontic Technology, ProFile and manual instrumentation: a scanning electron microscopic study*. International Endodontic Journal, 2005. **38**(6): p. 356-363.
193. Wang, W., et al., *Effect of a novel antimicrobial peptide chrysopsin-1 on oral pathogens and Streptococcus mutans biofilms*. Peptides, 2012. **33**(2): p. 212-219.
194. Agrawal, D.V.S., *An in vitro scanning electron microscopic study comparing the efficacy of passive ultrasonic and syringe irrigation methods using sodium hypochlorite in removal of debris from the root canal system*. 2012.
195. Kuga, M.C., et al., *Efficacy of NiTi rotary instruments in removing calcium hydroxide dressing residues from root canal walls*. Brazilian oral research, 2012. **26**: p. 19-23.
196. Souza, S.d.F.C., et al., *Qualitative SEM/EDS analysis of microleakage and apical gap formation of adhesive root-filling materials*. Journal of Applied Oral Science, 2012. **20**: p. 329-334.
197. Paradella, T.C. and M.A. Bottino, *Scanning Electron Microscopy in modern dentistry research*. Brazilian Dental Science, 2012. **15**(2): p. 43-48.

198. Miletić, I., et al., *Leakage of five root canal sealers*. International endodontic journal, 1999. **32**(5): p. 415-418.
199. Ceyhanli, K., et al., *Comparison of ProTaper, RaCe and Safesider instruments in the induction of dentinal microcracks: a micro-CT study*. International endodontic journal, 2016. **49**(7): p. 684-689.
200. Jamleh, A., et al., *Root surface strain during canal shaping and its influence on apical microcrack development: a preliminary investigation*. International endodontic journal, 2015. **48**(12): p. 1103-1111.
201. Bürklein, S., P. Tsotsis, and E. Schäfer, *Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation*. Journal of endodontics, 2013. **39**(4): p. 501-504.
202. Strawn, S., et al., *Spectroscopic changes in human dentine exposed to various storage solutions—short term*. Journal of Dentistry, 1996. **24**(6): p. 417-423.
203. Kansal, R., et al., *Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files*. Journal of endodontics, 2014. **40**(9): p. 1443-1446.
204. Rathi, A., et al., *Effect of different periodontal ligament simulating materials on the incidence of dentinal cracks during root canal preparation*. Journal of dental research, dental clinics, dental prospects, 2018. **12**(3): p. 196.
205. Plotino, G., et al., *Influence of negotiation, glide path, and preflaring procedures on root canal shaping—terminology, basic concepts, and a systematic review*. Journal of endodontics, 2020. **46**(6): p. 707-729.
206. Buchanan, L., *Management of the curved root canal: predictably treating the most common endodontic complexity*. J Calif Dent Assoc, 1989. **17**: p. 40-45.
207. Pascon, F.M., et al., *Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review*. Journal of dentistry, 2009. **37**(12): p. 903-908.
208. Zaparolli, D., P.C. Saquy, and A.M. Cruz-Filho, *Effect of sodium hypochlorite and EDTA irrigation, individually and in alternation, on dentin microhardness at the furcation area of mandibular molars*. Brazilian dental journal, 2012. **23**: p. 654-658.
209. Marending, M., et al., *Effect of sodium hypochlorite on human root dentine—mechanical, chemical and structural evaluation*. International endodontic journal, 2007. **40**(10): p. 786-793.
210. Calt, S. and A. Serper, *Time-dependent effects of EDTA on dentin structures*. Journal of endodontics, 2002. **28**(1): p. 17-19.
211. De-Deus, G., et al., *Dentine demineralization when subjected to EDTA with or without various wetting agents: a co-site digital optical microscopy study*. International endodontic journal, 2008. **41**(4): p. 279-287.
212. Arias-Moliz, M.T., et al., *Bactericidal activity of phosphoric acid, citric acid, and EDTA solutions against Enterococcus faecalis*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology, 2008. **106**(2): p. e84-e89.
213. Ordinola-Zapata, R., et al., *Antimicrobial effect of endodontic solutions used as final irrigants on a dentine biofilm model*. International endodontic journal, 2012. **45**(2): p. 162-168.
214. Gonzalez Sanchez, J., et al., *Apical transportation created using three different patency instruments*. International Endodontic Journal, 2010. **43**(7): p. 560-564.
215. Hu, W., et al., *Effect of three NiTi files on transportation of the apical foramen*. International Endodontic Journal, 2014. **47**(11): p. 1064-1071.
216. Coelho, M.S., S.J. Card, and P.Z. Tawil, *Light-emitting diode assessment of dentinal defects after root canal preparation with Profile, TRUShape, and WaveOne Gold systems*. Journal of Endodontics, 2016. **42**(9): p. 1393-1396.

217. Aksoy, Ç., et al., *Evaluation of XP-endo Shaper, Reciproc Blue, and ProTaper Universal NiTi Systems on dentinal microcrack formation using micro-computed tomography*. Journal of endodontics, 2019. **45**(3): p. 338-342.
218. Marroquín, B.B., M.A. El-Sayed, and B. Willershausen-Zönnchen, *Morphology of the physiological foramen: I. Maxillary and mandibular molars*. Journal of Endodontics, 2004. **30**(5): p. 321-328.
219. Daou, C., et al., *Effect of 2 heat-treated nickel-titanium files on enlargement and deformation of the apical foramen in curved canals: a scanning electronic microscopic study*. Journal of Endodontics, 2020. **46**(10): p. 1478-1484.
220. Oliveira, B.P.d., et al., *Effect of reciprocating systems and working lengths on apical microcrack development: a micro-CT study*. Brazilian Dental Journal, 2017. **28**: p. 710-714.
221. Liu, R., et al., *Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths*. Journal of endodontics, 2013. **39**(1): p. 129-132.
222. Ingle, J.I., *Endodontic cavity preparation*. Endodontic, 1985: p. 102-222.
223. Reddy, E.S., et al., *Cleaning efficiency of anatomic endodontic technology, ProFile System and manual instrumentation in oval-shaped root canals: An in vitro study*. The journal of contemporary dental practice, 2013. **14**(4): p. 629.
224. Walton, R.E., *Histologic evaluation of different methods of enlarging the pulp canal space*. Journal of endodontics, 1976. **2**(10): p. 304-311.
225. Huffaker, S.K., et al., *Influence of a passive sonic irrigation system on the elimination of bacteria from root canal systems: a clinical study*. Journal of endodontics, 2010. **36**(8): p. 1315-1318.
226. Vera, J., et al., *One-versus two-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a histobacteriologic study*. Journal of endodontics, 2012. **38**(8): p. 1040-1052.
227. Marinho, A.C.S., et al., *Influence of the apical enlargement size on the endotoxin level reduction of dental root canals*. Journal of Applied Oral Science, 2012. **20**: p. 661-666.
228. Plotino, G., et al., *Influence of different apical preparations on root canal cleanliness in human molars: a SEM study*. Journal of oral & maxillofacial research, 2014. **5**(2).
229. Çapar, İ.D., et al., *Effect of the size of the apical enlargement with rotary instruments, single-cone filling, post space preparation with drills, fiber post removal, and root canal filling removal on apical crack initiation and propagation*. Journal of endodontics, 2015. **41**(2): p. 253-256.
230. López, F.U., et al., *Apical transportation: a comparative evaluation of three root canal instrumentation techniques with three different apical diameters*. Journal of endodontics, 2008. **34**(12): p. 1545-1548.
231. Saini, H.R., et al., *Effect of different apical preparation sizes on outcome of primary endodontic treatment: a randomized controlled trial*. Journal of Endodontics, 2012. **38**(10): p. 1309-1315.
232. Souza, R.A., et al., *Apical third enlargement of the root canal and its relationship with the repair of periapical lesions*. European journal of dentistry, 2012. **6**(04): p. 385-388.
233. Martinho, F.C., et al., *Clinical investigation of the efficacy of chemomechanical preparation with rotary nickel-titanium files for removal of endotoxin from primarily infected root canals*. Journal of endodontics, 2010. **36**(11): p. 1766-1769.
234. Falk, K.W. and C.M. Sedgley, *The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro*. Journal of endodontics, 2005. **31**(10): p. 742-745.

235. Hecker, H., et al., *Determining the apical preparation size in premolars: part III*. Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontology, 2010. **110**(1): p. 118-124.
236. Khademi, A., M. Yazdizadeh, and M. Feizianfard, *Determination of the minimum instrumentation size for penetration of irrigants to the apical third of root canal systems*. Journal of endodontics, 2006. **32**(5): p. 417-420.
237. McGurkin-Smith, R., et al., *Reduction of intracanal bacteria using GT rotary instrumentation, 5.25% NaOCl, EDTA, and Ca (OH) 2*. Journal of Endodontics, 2005. **31**(5): p. 359-363.
238. Alves, F., et al., *Quantitative molecular and culture analyses of bacterial elimination in oval-shaped root canals by a single-file instrumentation technique*. International endodontic journal, 2012. **45**(9): p. 871-877.
239. Machado, M.E.d.L., et al., *Influence of reciprocating single-file and rotary instrumentation on bacterial reduction on infected root canals*. International endodontic journal, 2013. **46**(11): p. 1083-1087.
240. Martinho, F.C., et al., *Endodontic retreatment: clinical comparison of reciprocating systems versus rotary system in disinfecting root canals*. Clinical oral investigations, 2015. **19**: p. 1411-1417.
241. Neves, M.A., et al., *Clinical antibacterial effectiveness of root canal preparation with reciprocating single-instrument or continuously rotating multi-instrument systems*. Journal of Endodontics, 2016. **42**(1): p. 25-29.
242. Bürklein, S. and E. Schäfer, *Apically extruded debris with reciprocating single-file and full-sequence rotary instrumentation systems*. Journal of endodontics, 2012. **38**(6): p. 850-852.
243. Machado, M.E.d.L., et al., *Instrument design may influence bacterial reduction during root canal preparation*. Brazilian dental journal, 2017. **28**: p. 587-591.
244. Nabeshima, C.K., et al., *Bacterial removal promoted by 2 single-file systems: Wave One and One Shape*. Journal of endodontics, 2014. **40**(12): p. 1995-1998.
245. Nalla, R., J. Kinney, and R. Ritchie, *On the fracture of human dentin: is it stress-or strain-controlled?* Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials, 2003. **67**(2): p. 484-495.
246. Sathorn, C., J.E. Palamara, and H.H. Messer, *A comparison of the effects of two canal preparation techniques on root fracture susceptibility and fracture pattern*. Journal of Endodontics, 2005. **31**(4): p. 283-287.
247. Touré, B., et al., *Analysis of reasons for extraction of endodontically treated teeth: a prospective study*. Journal of endodontics, 2011. **37**(11): p. 1512-1515.
248. You, S.-Y., et al., *Lifespan of one nickel-titanium rotary file with reciprocating motion in curved root canals*. Journal of Endodontics, 2010. **36**(12): p. 1991-1994.