

GÜLER AKTAŞ POLAT

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ DIŞ HEKİMLİĞİ
FAKÜLTESİ.**

UZMANLIK TEZİ

İSTANBUL-2023

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

(UZMANLIK TEZİ)

ÜÇ DEĞİŞİK APEKS BULUCUNUN, FARKLI ÇAPTAKİ APİKAL
FORAMENLERİ OLAN DİŞLERDEKİ ÖLÇME ETKİNLİĞİNİN
İNCELENMESİ: EX VİVO BİR ÇALIŞMA

GÜLER AKTAŞ POLAT

DANIŞMAN
DR.ÖĞR.ÜYESİ M.EMİR DİNÇOL

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

İSTANBUL-2023

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 ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

Güler Aktaş Polat



İTHAF

Ailem'e ithaf ediyorum.

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmam sırasında yardım ve katkılarını benden esirgemeyen danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi M.Emir Dinçol’a,

Eğitimimde emeği geçen başta Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Faruk Haznedaroğlu olmak üzere İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı’nın çok değerli öğretim üyelerine ve çalışma arkadaşlarıma,

Uzmanlık eğitimim süresi boyunca beni destekleyen ve yanımda olan ailem ve hayat yoldaşım, sevgili eşim Berksu Polat’a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	ii
İTHAF	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER VE TABLOLAR LİSTESİ	vii
SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. KÖK KANALI TEDAVİSİNİN HEDEFLERİ	6
2.2. KÖK KANALI TEDAVİSİNDE ÇALIŞMA UZUNLUĞUNUN ÖNEMİ	6
2.3. ÇALIŞMA UZUNLUĞU BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER.....	8
2.3.1. Teşhis Filminden Elde Edilen Tahmini Kanal Uzunluğu	9
2.3.2. Parmak Hassasiyeti	9
2.3.3. Kağıt Kondaki Nemlilik.....	10
2.3.4. Radyografik Yöntem	11
2.3.5. Digital Görüntüleme Yöntemleri.....	14
2.3.6. Elektronik Yöntem	15
2.4. ELEKTRONİK APEKS BULUCULARIN TARİHÇESİ	15
2.5. ELEKTRONİK APEKS BULUCULARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	16
2.5.1. Atom Yapısı.....	16
2.5.2. İyonlar ve Elektrolitler.....	17
2.5.3. Elektriksel Yük, Voltaj ve Akım.....	17
2.5.4. Rezistans.....	18
2.5.5. Ohm Yasası	18
2.5.6. Doğru Akım ve Alternatif Akım	19
2.5.7. Kapasitör	20
2.5.8. Empedans ve Empedans Ölçümü.....	20
2.5.9. Elektrik Devreleri ve İnsan Vücudu	21
2.5.10. Dış Yapısının Elektriksel Özellikleri.....	22
2.6. ELEKTRONİK APEKS BULUCULARIN SINIFLANDIRILMASI	23
2.6.1. Birinci Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Rezistans Tip).....	23
2.6.2. İkinci Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Empedans Tip).....	24
2.6.3. Üçüncü Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Frekansa Bağlı Karşılaştırmalı Empedans Tip).....	26

2.6.4. Dördüncü Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Oran Tip)	29
2.6.5. Beşinci Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Multifrekans Tip)	30
2.6.6. Altıncı Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Adaptif Tip).....	30
2.7. ELEKTRONİK APEKS BULUCULARIN ÖLÇÜM GÜVENİLİRLİĞİNİ ETKİLEYEBİLEN FAKTÖRLER	31
2.7.1. Pulpa Vitalitesi.....	31
2.7.2. Elektrik İleten Solüsyonlar	32
2.7.3. Yatay ve Dikey Kök Kırıkları	35
2.7.4. Kök Perforasyonları	35
2.7.5. Metallerin Etkisi.....	36
2.7.6. Kalp Pili Taşıyan Hastalar	36
2.7.7. Kök Gelişimi Tamamlanmamış Daimî Dişler, Süt Dişleri ve Açık Apekse Sahip Dişler	37
2.7.8. Apikal Foramenin Çapı ve Eğe Boyutu	38
3. GEREÇ VE YÖNTEM	40
3.1. GEREÇ.....	40
3.2. YÖNTEM.....	41
3.2.1. Örnek Dişlerin Seçim Kriterleri	41
3.2.2. Gerçek Kök Kanalı Çalışma Uzunluğunun Saptanması	42
3.2.3. Belirlenen Apikal Çapların Oluşturulması ve Elektronik Apeks Bulucu ile Kök Kanalı Çalışma Uzunluğunun Saptanması.....	43
3.3. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME	45
4. BULGULAR.....	46
5. TARTIŞMA	52
KAYNAKLAR	59
ETİK KURUL KARARI	78

ŞEKİLLER VE TABLOLAR LİSTESİ

<i>Şekil 1: Alternatif voltajın veya akımın bir sinüs dalgası</i>	19
<i>Şekil 2: Kök kanalı tedavisi sırasında dişin elektriksel iletkenlik açısından yapısı ve modelin direnci</i> .	22
<i>Şekil 3: Örnek dişlerin meziodistal ve bukkolingual yönden grafisi</i>	42
<i>Şekil 4: Root ZX Mini Apex Kullanım Kılavuzu</i>	44
<i>Şekil 5: Propex II kullanım kılavuzu</i>	44
<i>Şekil 6: Adaptive Apex Locater (Optica Laser) kullanım kılavuzu</i>	44
<i>Tablo 1: Gruplara göre gerçek çalışma boyuna göre $\pm 0.5\text{mm}$ aralığındaki, 0.5mm'den kısa ve 0.5mm'den uzun ölçümlerin değerlendirilmesi</i>	46
<i>Grafik 1: Elektronik apeks bulucuların gerçek çalışma boyuna göre $\pm 0.5\text{mm}$ aralığındaki, 0.5mm'den kısa ve 0.5mm'den uzun ölçümlerin grafik ile gösterimi</i>	47
<i>Tablo 2: Gruplara göre gerçek çalışma boyuna göre $\pm 1\text{mm}$ aralığındaki, 1mm'den kısa ve 1mm'den uzun ölçümlerin değerlendirilmesi</i>	48
<i>Grafik 2: Elektronik apeks bulucuların gerçek çalışma boyuna göre $\pm 1\text{mm}$ aralığındaki, 1mm'den kısa ve 1mm'den uzun ölçümlerin grafik ile gösterimi</i>	48
<i>Tablo 3: Gruplara göre gerçek çalışma boyuna göre $\pm 0.5\text{mm}$ aralığındaki ölçümlerin değerlendirilmesi</i>	49
<i>Grafik 3: Elektronik apeks bulucuların gerçek çalışma boyuna göre $\pm 0.5\text{mm}$ aralığındaki, 0.5mm'den kısa ve 0.5mm'den uzun ölçümlerin grafik ile gösterimi</i>	50
<i>Tablo 4: Gruplara göre gerçek çalışma boyuna göre $\pm 1\text{mm}$ aralığındaki ölçümlerin değerlendirilmesi</i>	51
<i>Grafik 4: Elektronik apeks bulucuların gerçek çalışma boyuna göre $\pm 1\text{mm}$ aralığındaki, 1mm'den kısa ve 1mm'den uzun ölçümlerin grafik ile gösterimi</i>	51

SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ

ÇB: Çalışma Boyu

AD: Apikal Daralım

EAB: Elektronik Apeks Bulucu

SDBN: Sement-Dentin Birleşim Noktası

RVG: Radio Visio Graphy

PPT: Kağıt Kon Tekniği

CCD: Charge Coupled Device

PSP: Photo-Stimulable Phosphor Plates

ERCLMD: Elektronik Root Canal Length Measurement Device

RZX: Root ZX Mini

PX: Propex II

OL: Optica Laser

GÇB: Gerçek Çalışma Boyu

NaOCl: Sodyum Hipoklorit

EDTA: Etilen Diamin Tetra Asetik Asit

EÇB: Elektronik Apeks Bulucu ile Ölçülen Kök Kanalı Çalışma Boyu

%: Yüzde

ÖZET

Aktaş Polat, G. (2023). Üç Değişik Apeks Bulucunun, Farklı Çaptaki Apikal Foramenleri Olan Dişlerdeki Ölçme Etkinliğinin İncelenmesi: Ex Vivo Bir Çalışma. İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, Endodonti Anabilim Dalı. Uzmanlık Tezi. İstanbul.

Bu çalışmanın amacı, üç farklı elektronik apeks bulucunun dört farklı çaptaki apikal foramenleri olan dişlerdeki ölçüm etkinliğinin karşılaştırılmasıdır. 64 adet çekilmiş maxiller kesici, kanin ve mandibular premolar dişler dört alt gruba ayrılmıştır. GrupA, 0,32 mm çapındaki apikal forameni ifade ederken, GrupB 0,52 mm, GrupC 0,82 mm, GrupD 1,22 mm çapındaki apikal forameni ifade etmektedir. Bu farklı çapta apikal foramenlere sahip dişler aljinata gömülerek Root ZX Mini, Propex II ve Adaptive Apex Locator elektronik apeks bulucularının ölçme etkinliği test edilmiştir. Gerçek çalışma boyu; her diş için 15 numaralı K tipi eğe kullanılarak eğenin apeksten çıktığı noktada dijital kumpas ile eğenin uzunluğu ölçülerek ve bu uzunluktan 0,5 mm çıkarılarak kayıt altına alınmıştır. Elektronik ölçümler, “0” kabul edilen noktada beş saniye sabit kaldığında 0,01 mm hassasiyetteki dijital kumpas ile eğenin uzunluğu ölçülerek kayıt altına alınmıştır. GrupA,B,C,D için sırası ile 30, 50, 80, 120 numaralı K tipi eğe ile 1mm taşkın şekillendirme yapılarak istenilen apikal foramen genişliği elde edildikten sonra her grup için kendi apikal çapına uygun K tipi eğeler kullanılarak seçilen üç farklı elektronik apeks bulucu cihaz ile çalışma boyu ölçülmüştür. Sonuç olarak, $\pm 0,5$ mm klinik tolerans içerisinde GrupA için; Root ZX Mini (RZX) %93,7, Propex II (PX) %68,7, Adaptive Apex Locator (OL) %75 güvenilirlikle ölçüm yapabilmıştır. GrupB için; $\pm 0,5$ mm klinik tolerans içerisinde RZX %75, PX %68,8, OL %31,2 güvenilirlikle ölçüm yaparken GrupC için; RZX %62,5, PX %31,2, OL % 62,5, GrupD için; RZX %68,8, PX %6,3, OL %0 güvenilirlikle ölçüm yapabilmıştır.

Bulgular değerlendirildiğinde, $\pm 0,5$ mm klinik tolerans içerisinde Root ZX Mini apikal foramenin çap boyutundan etkilenmeden çalışma uzunluğunun saptanmasında klinik kullanım için güvenilir araç olarak saptanmıştır. Propex II ve Adaptive Apex Locator apikal daralımın bozulmadığı GrupA ölçümleri sonucunda klinik kullanım için güvenilir araçlar olarak saptanırken, apikal foramenin çapı arttığında; Propex II istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde kısa ölçerken, Adaptive Apex Locator istatistiksel olarak anlamlı şekilde taşkın ölçmüştür ve klinik kullanım için güvenilir olmadığı saptanmıştır. Ancak hiçbir EAB çalışma boyunu saptamada %100 güvenilir bulunmamıştır.

Anahtar Kelimeler: elektronik apeks bulucu, apikal foramen çapı, çalışma boyu, Root ZX Mini, Propex II, Adaptive Apex Locator

ABSTRACT

Aktaş Polat, G. (2023). Examination of the Measurement Efficiency of Three Different Apex Locators in Teeth with Different Apical Foramen Diameters: An Ex Vivo Study. Istanbul University Faculty of Dentistry, Department of Endodontics. Specialist Thesis. Istanbul.

The aim of this study is to compare the measurement efficiency of three different electronic apex locators in extracted teeth with four different apical foraminal diameters obtained using the crown-down technique. Sixty-four extracted maxillary incisors, canines, and mandibular premolars were divided into four groups A,B,C and D representing apical foramen diameter of 0.32 mm, 0.52 mm, 0.82 mm and 1.22 mm respectively. Teeth with different apical foraminal diameters were embedded in alginate, and the measurement efficiency of Root ZX Mini, Propex II, and Adaptive Apex Locator electronic apex locators was tested. The actual working length was determined for each tooth using a #15 K-file, with the file reaching the apical foramen. The length of the file was measured with a digital caliper, and 0.5 mm was subtracted from this length, recorded for documentation. Electronic measurements were recorded when the file remained stationary for five seconds at the point considered as "0." In crown-down shaped teeth, the working length was determined using #30, #50, #80, and #120 K-files, each with 1 mm overextension, based on the apical foraminal width achieved in Groups A, B, C, and D, respectively, using electronic apex locators. As a result, within ± 0.5 mm clinical tolerance, for Group A; Root ZX Mini (RZX) achieved measurements with 93.7% reliability, Propex II (PX) with 68.7%, and Adaptive Apex Locator (OL) with 75% reliability, for Group B; within ± 0.5 mm clinical tolerance, RZX achieved measurements with 75% reliability, PX with 68.8%, OL with 31.2%, for Group C; RZX with 62.5%, PX with 31.2%, OL with 62.5% and for Group D; RZX with 68.8%, PX with 6.3%, OL with 0% reliability in measurements.

In conclusion, within ± 0.5 mm clinical tolerance, Root ZX Mini was identified as a reliable tool for determining working length without being affected by the diameter of the apical foramen. Propex II and Adaptive Apex Locator were identified as reliable tools for clinical use in measurements where apical constriction was not disrupted in Group A; however, as the apical foraminal diameter increased, Propex II measured statistically significantly shorter, while Adaptive Apex Locator measured statistically significantly longer, indicating unreliability for clinical use.

Keywords: apical foramen, apical constriction, electronic apex locator, apical foraminal diameter, working length, Root ZX Mini, Propex II, Adaptive Apex Locator

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Endodontik tedavinin amacı, kök kanalı istemindeki nekrotik dokuların ve bakterilerin uzaklaştırılması, sistemin üç boyutlu olarak şekillendirilmesi ve sızdırmaz bir şekilde doldurulmasıdır (1, 2). ‘Endodontik triad’ ismiyle sunulan bu prensiplerin hedefi, mevcut apikal periodontitis’in iyileştirilmesi ya da yeni bir enfeksiyon oluşumunun engellenmesidir (3). Bu işlemlerin başarısı, doğru bir çalışma boyu (ÇB) saptanmasına bağlıdır (4, 5, 6). Bu boy, kuronal bölgede belirlenen bir referans noktası ile apikaldeki tüm endodontik işlemlerin bitirileceği noktaya kadar olan mesafedir (7, 8, 9).

ÇB tespitindeki ideal nokta ya da şekillendirme ve dolum işlemlerinin sonlanım noktası, günümüzde ‘apical constriction’ ya da apikal daralım (AD) olarak kabul edilir. Bu nokta, kök kanalının en dar kısmıdır ve burada kan damarları da en dar lümene sahiptir fakat doku iyileşme kapasitesi ise en yüksek düzeydedir (10, 11, 12, 13, 14). ÇB’nun yanlış hesaplanması, endodontik tedavinin başarısız olmasındaki önemli iyatrojenik nedenlerden bir tanesidir (15, 16, 17, 18). Özellikle, kök kanalının kemomekanik preparasyonu ve doldurulması basamaklarında hataya neden olan bu yanlışlık, endodontik tedavinin uzun dönemde başarısız olmasına neden olan bir faktördür (19, 1, 20). ÇB aşıldığında yapılan işlemler, canlı veya nekrotik doku artıklarını periapikal bölgeye taşıyarak ya da apikal perforasyon oluşturarak; altındaki uygulamalar ise kanal içinde temizlenmemiş nekrotik doku artıklarının ve bakterilerin kalmasına neden olarak, iyileşmeyi olumsuz yönde etkiler (21, 22, 12, 9). ÇB’nun süt dişlerinde yanlış olarak belirlenmesi ise alttaki sürekli diş germinin zarar görmesine neden olur (23).

ÇB saptanırken, ideal sonlanım noktası olarak kabul edilen AD ‘minör apikal foramen’ veya ‘apikal isthmus’ olarak adlandırılır ve ‘Black aralığı’ denilen üçgenin tepe noktasını oluşturur. Histolojik olarak pulpa ile periodonsiyum arasındaki sınıra denk gelen bu nokta, ‘majör apikal foramen’ olarak adlandırılan noktadan ortalama 0,5-1 mm daha kuronaldedir (21, 5, 12, 24, 12, 2, 8). Endodontik uygulamaların bu bölgede bitirilmesi, minör ve majör foramenler arasındaki karışık histolojiye sahip dokunun, metaplastik ve rejeneratif kabiliyetlerinin korunmasını böylece periyodonsiyumu koruyacak olan bir bariyerin yapımını hızlandırır (13). Çoğu olguda AD noktasının, radyolojik apeks ile çakışmadığı ve her iki anatomik oluşumun da eksentrik pozisyonda

olduğu gözlenmiştir (5, 1, 25). Bunun nedeni, AD noktasının tam kök ucunda değil de daha lateralde ve radyolojik apekten ise 3 mm daha kuralde konumlanmasıdır. Bu değişkenlik, AD'ın net saptanmasındaki en büyük sorundur ayrıca kök ucu anatomisinin yaşla ve dişin cinsiyle de değişiyor olması, sorunun çözümünü oldukça zor bir hale getirmektedir (26, 15, 12, 13, 25). Bu nedenle, Dummer ve ark. (27), AD'ın topoğrafisinin sabit olmayıp, dört farklı morfolojik şekilde olabildiğini görmüş ve bu noktanın belirlenmesi için birden fazla yöntemin kullanımını önermişlerdir. ÇB'nun saptanması için; kâğıt kon üzerindeki nem izi, apikal daralımın parmak hassasiyeti ile algılanması, dişin tahmini uzunluğunun bilinmesi, konvansiyonel ve dijital radyografi gibi birçok teknik kullanılmıştır (28, 5, 1, 13, 24). Özellikle, periapikal radyografilerle boy tespiti 'altın standart' niteliğinde olan gelenekselleşmiş bir yöntemdir (29, 1, 14, 9). Fakat bu yöntemin en önemli dezavantajı; röntgenin kendisinin iki boyutlu fakat çalışılan alanın üç boyutlu olmasından kaynaklanan, AD'ın ve majör apikal foramen'in yerlerinin kesin saptanamamasıdır (12, 24, 30, 31). Bu nedenler yüzünden, kök ucunun elektronik olarak belirlenmesi gündeme gelmiştir (24, 14).

Peridontal membran ile ağız mukozası arasındaki sabit elektriksel direncin 6.5 kΩ değerinde olması, elektronik ÇB belirlenmesindeki temel prensiptir (32, 1, 30). Bu prensip sayesinde, ölçüm hassasiyetini bozan faktörlerin varlığında bile daha kesin ölçümler yapabilmek amacıyla, altı ayrı nesilde elektronik apeks bulucu (EAB) cihazlar üretilmiştir. Kök kanalı içinde kan, tükürük, irrigasyon solüsyonu, dentin debris, canlı pulpa dokusu ile seröz, purulent ve hemorajik eksüda gibi iletken nitelikli (elektrokondüktif) materyalin varlığı, EAB cihazlar ile net ölçüm yapmanın önündeki en temel engeldir (5, 15, 1, 13, 6, 14, 7).

Birinci nesil (rezistans tip) cihazların dezavantajları; kanal içinde iletken sıvılar varken, pil zayıfladığında ÇB ölçümlerinin yanlış olmasıdır. Bu cihazlar, açık apeksli ve periodontal lezyonlu dişlerde de hatalı ölçümlere neden olmakta ayrıca her ölçümden önce kalibre edilmeleri gerekmektedir (33, 21, 34). İkinci nesil (empedans) cihazlar da kanal içinde iletken sıvılar varken yanlış sonuçlar vermekte ve gene birinci nesilde olduğu gibi ölçüm öncesi kalibrasyon zorunluluğu devam etmektedir (35, 28, 5). Üçüncü nesil (frekans tip) EAB cihazlar, AD noktasının saptanmasında, iki farklı frekanstaki empedans değerini esas alırlar. Bu neslin en klasik örneği, çift frekanslı (0,4 kHz ve 8 kHz) Root ZX (J. Morita Co., Kyoto, Japonya) adlı EAB'dur. Yapılan birçok çalışmada, bu cihazın iletken sıvılar varken bile doğru ölçüm yaptığı saptanmıştır (28,

15, 36, 24, 30, 37, 38). Fakat Tselnik M ve ark. (31), iletken sıvıların varlığında bile üçüncü nesil EAB'lerin da hatalı ölçüm yapabileceğini göstermişlerdir.

Üçüncü nesildeki sabit algoritmanın yerine, rezistans ve kapasitans değerleri oranını esas alan dördüncü nesil EAB'ler piyasaya sürülmüştür (36, 24, 30). Bu tipin ilk örneği olan Bingo 1020 (Forum Engineering Technologies, Rishon Lezion, İsrail) geliştirilerek, Raypex 4 (VDW, Münih, Almanya) adıyla kullanıma sunulmuştur (5, 15). Bir in vitro çalışmada, Bingo 1020'nin ölçüm hassasiyetinin, Root ZX kadar güvenilir olduğu bulunmuştur (39). Fakat orantı tip cihazların ölçüm başarısı için kanalın kısmen nemli olması gerekmekte ve kanal içinde iletken sıvılar varken, ölçüm hassasiyeti azalmaktadır. Bu nedenle, iletken sıvıların varlığında da doğru ölçüm yapan, beşinci nesil (multi frekans ya da dual frekans orantı tipi) EAB'ler üretilmiştir. Fakat bu cihazlar da kök kanalı kuru iken yanlış ölçüm yapabilmektedir. Bu sorunlar, kanal içindeki nemin azlığı veya çokluğundan etkilenmeksizin ölçüm yapabilen, altıncı nesil (adaptif tip) EAB cihazların gelişimini tetiklemiştir. Bu cihazların, kanal içindeki tüm şartlara uyum sağlayarak, doğru ölçüm yapabildiği öne sürülmektedir (35, 5, 39, 1).

Adaptif EAB'lerin ilk örneği olan Raypex 6 ile yapılan çalışmalarda, cihazın ölçüm hassasiyetinin üçüncü, dördüncü ve beşinci nesiller ile aynı olduğu gözlenmiştir. Fakat Betancourt ve ark. (2), Raypex 6 ile üçüncü nesil bir cihaz olan Root ZX II'nin ölçüm performanslarının birbirine denk; dördüncü ve beşinci nesil cihazlarınkinden ise anlamlı düzeyde üstün olduğunu saptamışlardır. Diğer bir *ex vivo* çalışmada ise biri dördüncü nesil (iPex II, NSK Nakanishi inc., Tokyo, Japonya) diğeri altıncı nesil (Adaptive apex locator, Optica Laser, 405-10A, Sofya, Bulgaristan) iki EAB cihazın, kuru kök kanalındaki ölçüm etkinliği kıyaslanmış ve aralarında fark saptanmamıştır (32).

Zamanla bu cihazlar gelişse de onların ölçüm hassasiyetlerini azaltan faktörlerin varlığı sürmektedir. Bu faktörler; maksiller sinüs içindeki kökler, apikal foramen çap artışı, residüel kalsiyum-hidroksit bulunması, iletken sıvıların varlığı, C-kanal yapısı, retreatment ihtiyacı, kanal eğimindeki artış, servikal çürükler, metal kuronlar, pulpanın vitalite durumu ve periapikal lezyonlar şeklinde sayılabilir (33, 14, 36, 24, 30). Bu faktörlerin içinde, özellikle apikal foramen çapındaki değişim ile ölçüm yapılan aletin büyüklüğü arasındaki ilinti, endodontik tedavi başarısını doğrudan etkileyen, güncel ve çok önemli bir konudur (40). Bu ilinti, birçok çalışmada incelenmiş ve sonuçlar üç yönde toplanmıştır; bazı çalışmalar apikal çap artışının EAB'lerin ölçüm hassasiyetini

azalttığını saptarken, bazı çalışmalar ölçüm yapılan aletin çapı apikal foramen çapından küçükse cihazın hassasiyetinin bozulmadığını saptamış; bazı çalışmalar ise ölçüm doğruluğu için foramen apikale çapı ile aletin çapının biriyle uyumlu olması gerektiğini saptamıştır (41, 42, 43, 44). Herrera M ve ark. (45), Root ZX (J. Morita, Kyoto, Japonya)'in ölçüm hassasiyetini, apikal foramen çap artışı ve alet büyüklüğündeki değişim ışığında incelemişler ve foramen çapı 0,6 mm'yi aştığında, üçüncü nesil cihaz hassasiyetinin azaldığını saptamışlardır. Kolanu SK ve ark. (40) Propex Pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)'nin, 0,6 ve 0,8 mm'lik apikal çaplardaki ölçüm etkinliğini incelemiş ve çap artışının, beşinci nesil bir cihazın bile ölçüm hassasiyetini azalttığını bulmuşlardır. Akisue E ve ark. (46) ise apikal çap artışının, MiniApex (SybronEndo Corp, Orange, Amerika Birleşik Devletleri), Root ZX II (J. Morita Mfg Corp, Kyoto, Japonya) ve Elements Apex Locator (Sybron Endo Corp, Organge, ABD)'in ölçüm hassasiyetini etkilemediğini bulmuşlardır. Fakat beklenilenin aksine, çap artışının dördüncü nesil bir cihaz olan iPex (NSK Inc, Kanuma, Japonya) ile beşinci nesil bir cihaz olan Propex II (Dentsply Maillefer, İsviçre)'nin ölçüm etkinliğini azalttığını görmüşlerdir. Shacham M ve ark. (47) ise, Apit 11 (Osada, Tokyo, Japonya) adlı EAB'nun 0,6, 0,7 ve 0,8 mm'lik apikal çaplardaki ölçüm etkinliğinin, kanal aleti çapı ile foramen çapı uyumlu olduğunda değişmediğini görmüşlerdir. Ekici MA ve ark. (48) da yaptıkları bir çalışmada Raypex 5 (VDW), Raypex 6 (VDW), iPex (NSK inc.) ve iPexII (NSK inc.) adlı EAB'ların 0,27, 0,33 ve 0,39 mm'lik apikal çaplardaki ölçüm etkinliğini kıyaslamışlar ve altıncı, beşinci ve dördüncü nesil cihazların ölçüm hassasiyetleri arasında bir fark görmemişlerdir. Gene, Demir ve ark. (49)'inca yapılan in vitro çalışmada da beşinci nesil bir cihaz olan Propex II ile üçüncü nesil bir cihaz olan Root ZX Mini adlı EAB'ların ölçüm hassasiyetleri arasında, apikal çap artışlarından kaynaklanan anlamlı bir fark saptanmamıştır.

İmmatür apeksli olup bu nedenle AD içermeyen ve apikal çapı oldukça geniş olan dişler de EAB'lerin ölçüm hassasiyetini azaltan olgulardır. Hülsman ve Pieper (50) apeksifikasyonu tamamlanmamış dişlerde, ikinci nesil EAB'lerin özellikle apikal çap genişliği $\geq 0,5$ mm olduğunda, ÇB değerlerini gereğinden kısa saptadığını görmüşlerdir. Bununla birlikte Guimaraes ve ark. (51), otuz adet apeksifikasyonu tamamlanmamış, tek köklü küçük-azı dişlerinde yaptıkları bir ex vivo çalışmada, üç farklı EAB cihazın Root ZX (J. Morita, Kyoto, Japonya), iPex (NSK Inc, Tokyo, Japonya) ve YS-RZ-A (Baistra, Henan, Çin)] ölçüm hassasiyetini kıyaslamışlardır. Sonuç olarak, üçüncü nesil

Root ZX ve dördüncü nesil iPex arasında anlamlı bir fark gözlenmezken, üçüncü nesil bir cihaz olan Root ZX'in örneklerin tümünde hatasız ölçüm yaptığı görülmüştür (51).

Altıncı nesil EAB cihazların ölçüm etkinliğinin, foramen apikale çap değişimleri ışığında denendiği araştırmaların çoğunda kullanılan cihazın Raypex 6 olduğu görülmekte ve diğer bir adaptif EAB olan Optica Laser ile özellikle bu konuda bir çalışmanın yapılmamış olduğu dikkat çekmektedir (52, 25). Bu nedenle, yapılan bu ex vivo çalışmanın amacı; altıncı nesil bir EAB olan Optica Laser'ın ölçüm performansını, dört farklı çapta apikal foramenleri olan dişleri kullanarak, beşinci ve üçüncü nesil cihazların performansları ile kıyaslamak ve doğruluğunu saptamaktır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kök Kanalı Tedavisinin Hedefleri

Endodontik tedavi, genellikle birbirini takip eden dört adımı içeren bir dizi yol gösterici ilkedden oluşur: enstrümantasyon, irrigasyon, medikamentasyon ve obturasyondur. Tedavi başarısı; apikal periodontitisin önlenmesi veya ortadan kaldırılması ve hasta semptomlarının giderilmesi olarak tanımlanır (53). İlk üç tedavi basamağı kök kanal sisteminde mikrobiyal kontrol için gereklidir. Bu ilk üç basamak kritiktir; çünkü endodontik başarısızlığın ana nedeni kök kanal sisteminde kalan mikroorganizmalar veya bu mikroorganizmaların yeniden kolonizasyondur (54, 55). Sjogren ve ark. (55), obturasyon sırasında kök kanalında bulunan bakterilerin, tedavi başarısını istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilediğini saptamışlardır. Negatif bakteri kültürü alınan kanallarda başarı oranı %98 iken, pozitif kültür alınan kanallarda bu oran %68'dir. Dolayısıyla, bu işlemlerden herhangi bir tanesindeki olası başarısızlığın, tedavi sonucunu potansiyel olarak etkileyebileceği tahmin edilebilir (53,56).

Endodontik tedaviye ait tüm uygulama basamaklarının kök kanal sistemi ile sınırlandırılması gerektiği genel olarak kabul edilmektedir. Bu amaca ulaşmak için, kök kanal sisteminin son noktası olan apikal foramen, kök kanalı hazırlığı sırasında mümkün olduğunca kesin olarak tespit edilmelidir (57). Bu nedenle, kök kanal tedavisindeki ana endişelerden biri; aletlerin kök kanalı içinde ne kadar ilerletilmesi gerektiği ve buna ilaveten, kemomekanik preparasyon ile obturasyon uygulamalarının hangi noktada bitirileceğinin net biçimde saptanmasıdır (58).

2.2. Kök Kanalı Tedavisinde Çalışma Uzunluğunun Önemi

'Çalışma uzunluğu' ya da 'çalışma boyu' terimi; kural bir referans noktasından itibaren kanalın kemomekanik biçimde şekillendirilmesi ve obturasyonun tamamlanması gereken noktaya kadar olan mesafeyi tanımlar (59). ÇB'nun hatalı ölçülmesi, kanalın aşırı ya da yetersiz enstrümantasyonuna neden olarak ağrı gelişimine ve prognozun olumsuz ilerlemesine sebep olur (60).

Kök kanalının en dar bölgesine 'apikal daralım' (AD) denir. AD genellikle, Black aralığının tepesinde veya sement- dentin birleşme noktası (SDBN) civarında kabul edilir (27). Bu alan, kök kanalının en dar noktası olduğu için en küçük kan

damarlarını barındırır ve bu noktadan sonra damarlar genişler ve kan akışı artar. Tedavinin apikal daralında sonlandırılması; uygulamaya bağlı oluşabilecek yara yüzeyini asgari seviyede tutacağı ayrıca iltihap ve hemoraji kontrolüne de imkan vereceği için optimal iyileşmeyi sağlayacaktır. Bu yaklaşım periapikal dokuları, endodontik işlemler sırasında ortaya çıkabilecek fiziksel ve kimyasal irritasyonlardan korur. Tedavi sonrası oluşması beklenen sementin, doğası gereği dar bir alanda daha hızlı bir şekilde oluşacağı düşünülür (61).

1922 yılında modern klinik endodontinin bilimsel temelini atan Davis (62) endodontik girişimlerdeki başarının, apikal dokunun dikkatli bir şekilde tedavi edilmesine bağlı olduğunu ilk öne süren kişidir. O zamandan beri, apikal biyopsileri ve periapikal doku örneklerini içeren veya farklı zamanlarda çekilen endodontik tedavi görmüş dişler üzerinde yapılan birçok histolojik çalışma, bu gözlemi doğrulamıştır (63, 64, 65, 66, 67, 68). Araştırmacılar, pulpada nekrozun ilerlemesini ayrıntılı olarak anlatırken, büyük periapikal lezyon varlığında bile ana kanalın en apikal kısmında sinir, damar ve canlı pulpa dokusunun varlığını sürdürdüğünü göstermişlerdir (69). Ayrıca zamanla, pulpa dokusunun tümünün nekroze olacağını ve nekrozun apikaldeki pulpa dokusu ve onun dallanmalarını da etkileyerek sonunda bakterilerin periapikal lezyon içine de invaze olacağını bildirmişlerdir (70, 71, 72). Sonuç olarak, periapikal lezyon varlığında bile enstrümantasyon ve obturasyon işlemlerinin, radyografik apeksten daha kısa olan apikal daralında sonlandırılmasının gerekliliği önerilmiştir (73).

Grove (74), kök kanalı dolgusunun apikal bölgede SDBN'nin olduğu yerde bitirilmesi gerektiğini; SDBN'inde pulpa bağ dokusunun bittiğini ve yerini periodontal ligamente bıraktığını belirtmiştir. Fakat bu ifadenin çelişkili olduğu ve aslında sement ile dentin arasındaki ayrırıcı hattın belirgin olmayıp, çeşitli düzensizlikler içerdiği gene Grove tarafından bildirilmiştir (74, 75). SDBN'nin histolojik bir bölge olması ve kesin konumunun ancak histolojik kesitlerle tespit edilebilmesi ve asla klinik olarak saptanamaması nedeniyle endodontik tedavi uygulamaları için ideal bir bitim noktası değildir (76).

Kök kanalının, SDBN'den periodontal ligamente kadar olan tersine konik ya da huni şeklindeki bölümüne 'Black aralığı' denir. Black aralığı'nın alt kısmı majör forameni oluştururken, üst kısmı ise genellikle SDBN'ye veya ona yakın bir noktaya yerleşmiş olan minör forameni oluşturur. Klinik uygulamada minör apikal foramen, kanal sisteminin en dar kısmı olarak kabul edilebilecek, görece daha sabit bir

konuma sahip olan bir anatomik bölgedir (58, 77). Literatürde, majör apikal foramen ile anatomik apeks arasındaki mesafenin farklı değerlere sahip olduğunu gösteren birçok çalışma mevcuttur (27, 78, 79, 80). Dummer ve ark. (27) anatomik apeks ile majör apikal foramen arasındaki mesafenin anterior dişlerde 0,35 mm olduğunu bildirmişlerdir. Kuttler (78) kök apeks anatomisi hakkında yaptığı bir çalışmada, 18-25 yaş grubunda minör foramen ile major foramen arasındaki mesafeyi yaklaşık 0,524 mm; 55 yaş ve üstündeki grupta ise yaklaşık 0,607 mm olarak hesaplanmış ve yaşlı bireylerde bu mesafenin daha fazla olmasını, sement birikimine bağlamıştır. Green (79) bu mesafenin anterior dişlerde 0,3 mm, posterior dişlerde 0,43 mm olduğunu göstermiştir. Yazar ayrıca incelediği 400 adet dişin çoğunda, majör apikal foramen'in anatomik apeks ile aynı noktada olmadığını ve majör apikal foramen'in, anatomik apeksten 0,5- 2,2 mm geride ve orta hattın dışında bir konumda olduğunu belirtmiştir. Anatomik apeks ve majör apikal foramen arasındaki mesafeyle ilgili genel kanı, anatomik apeks ile majör foramen arası mesafenin posterior dişlerde anterior dişlere göre; yaşlı dişlerde ise genç dişlere göre daha fazla olduğu yönündedir (80).

Schaeffer ve ark. (81) tarafından yapılan sistematik derleme ve metaanaliz çalışmasında, apeksten 0 – 1 mm kısa kök kanalı dolgusunun; 1 – 3 mm kısa olandan daha başarılı olduğunu ve her iki mesafedeki bitimlerin, apeksin ötesindeki kök kanalı dolgusundan daha başarılı sonuçlar oluşturduğu görülmüştür.

Kanal tedavisinin tamamlanması gereken noktanın belirlenmesi hâlâ büyük ölçüde tartışılan bir konudur. Bazı araştırmacılar, özellikle apikal kök rezorpsiyonu ve periapikal patolojinin mevcut olduğu durumlarda, geleneksel AD'nin var olma ihtimalinin çok azaldığını belirtmişlerdir (82, 27, 80). Her ne kadar anatomik çalışmalar yoluyla tüm dişler için ortalama uzunluk değerleri belirlenmiş olsa da endodontik tedavi yaparken her bir dişin, kendine özgün tek örnek şeklinde değerlendirilmesinin uygun olduğu kabul edilmiş ve bu nedenle diş hekimlerine ve/veya endodonti uzmanlarına, kök kanalı tedavisi yaparken, doğrudan göremedikleri fakat tedavi başarısını doğrudan etkileyen AD noktasının saptanmasında, çok dikkatli olmaları ve hassas davranmaları önerilmiştir (61).

2.3. Çalışma Uzunluğu Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Çalışma uzunluğunun belirlenmesi için ortalama anatomik değerler, parmak hassasiyeti, kâğıt kon üzerindeki nemlilik ve radyografik yöntemler gibi geleneksel

yöntemlerin yanında, günümüzde dijital görüntüleme teknikleri gibi “Radio Visio Graphy” (RVG) ve yüzyılın endodonti buluşu olarak adlandırılan, elektronik apeks bulucular (EAB) gibi modern yöntemler de kullanılmaktadır (83).

2.3.1. Teşhis Filminden Elde Edilen Tahmini Kanal Uzunluğu

Bu yöntem, teşhis filmindeki kök kanalı uzunluğunun kanal eğesine aktarılmasına dayanır. Genellikle, AD ile radyografik apeks arasındaki mesafe, normalden daha fazla tutulduğu için yöntemin güvenilirliği oldukça düşük olmaktadır. Bu yöntemin, sadece geçici çalışma uzunluğunun belirlenmesinde kullanılması önerilmektedir (84).

2.3.2. Parmak Hassasiyeti

Parmak hassasiyeti, her ne kadar deneyimli klinisyenler için kullanışlı olsa da birçok sınırlaması vardır. AD’nin konumunun ve genişliğinin; dişin tipine ve hastanın yaşına göre değişiyor olması bu yöntemin hassasiyetini güvenilirmez kılmaktadır. Buna ek olarak skleroze olmuş kök kanalları olan veya iltihabi rezorpsiyon ile hasar görmüş dişlerde, ÇB’nin normalden 2 – 3 mm farklılıkla sapması da bu yöntemi etkisiz kılan bir faktördür (84, 85).

Endodontik aletlerin ve materyallerin kök kanal sistemi içinde kalması işlem prognozunu etkiyeleyen en önemli faktör olduğundan, ÇB’nin bitim noktasının AD noktasında olması bir zorunluluk kabul edilmiştir (86, 66, 67). Stabholz ve ark. (87), kuronal ön şekillendirmenin AD’nin saptanması üzerindeki etkisini taktil yönde incelemişlerdir. Araştırmacılar, kuronal ön şekillendirme yapılmadığında, dokusal duyu ile ancak vakaların üçte birinde AD noktasının doğru olarak saptanabildiğini görmüşlerdir. Philippas (88), apeksifikasyonu tamamlanmış molar dişlerde yaşla beraber, pulpa odası tabanı ile tavanı arasında mesafenin giderek daraldığını gözlemlemiştir. Kök kanal duvarlarını, çini mürekkebi ile kaplayan Leeb (89), kanala yerleştirilen eğenin üstündeki lekeli debrisin eğenin kanalın hangi bölgesine bağlandığını gösteren bir çalışma yapmıştır. Kuronal ön şekillendirme yapılmadan önce, bağlanmanın kök ucundan 5 mm uzaklıkta olduğunu ve genellikle kanal ağzına kadar uzandığını bulmuştur. Kuronal ön şekillendirmenin ise bu engeli ortadan kaldırdığını bildirmiştir.

Stabholz ve ark. (87)’nin, Philippas’ın gözlemlerine ve Leeb’in bulgularına paralel sonuçlar elde ettikleri çalışmalarında kuronal ön şekillendirme yaptıkları kök kanallarının %75’inde, AD’yi taktil olarak saptamışlardır. Araştırmacılar kanal eğesi

örneklerinin sadece %4'lük kısımda radyografik apekten 1 mm kısa kaldığını görmüşler ve bu duruma sebep olarak, eğenin AD noktasında değil de kuronal bölüme bağlandığını öne sürmüşlerdir. Araştırmacılar ayrıca, kök kanal girişleri şekillendirilmediğinde apeks dışına çıkan eğe oranının, ön şekillendirme yapılan kanallara kıyasla arttığını görmüşlerdir.

Seidberg ve ark. (90), deneyimli hekimlerin bile ancak %60 vakada parmak hassasiyetine güvenerek kök ucunu belirleyebildiğini göstermişler ve bütün bu nedenler dolayısıyla, parmak hassasiyetini en az güvenilen yöntem olarak kabul etmişlerdir.

2.3.3. Kağıt Kondaki Nemlilik

Kâğıt konlar kök kanalını kurutmak için üretilmiş olsa da aynı zamanda kanal içi ilaçları uygulamak, perforasyonları tespit etmek ve yerini belirlemek, apikal foramenlerin şeklini analiz etmek, kanal içi adeziv bileşenleri uygulamak, çözünmüş güta-perkayı çıkarmak, kanamayı durdurmak, mikrobiyolojik örnek almak, MTA yerleştirmek ve çalışma uzunluğunu belirlemek için de kullanılırlar. Kanal uzunluğunun belirlenmesi için kâğıt kon tekniğinden (PPT: Paper Point Technique) endodonti kitaplarında yaygın olarak bahsedilmektedir (91, 92, 93, 94, 95).

Kağıt kondaki nemlilik yöntemi, esasında çalışma uzunluğu belirleme yöntemi olarak değil de çalışma uzunluğunun kontrol edildiği bir yöntem olarak düşünülmelidir (93). Özellikle, kök rezorpsiyonlarının olduğu veya çok geniş kök kanallarının ÇB ölçümünde radyografik ve/veya elektronik uzunluk ölçüm cihazı yöntemleri kullanıldıktan sonra, doğru ÇB üzerinde belirsizlik devam ederse veya ÇB'nin nihai bir teyidi aranırsa, o zaman PPT yönteminin kullanılması ek bir fayda sağlayabilir (92). Bununla birlikte, PPT'nin kanıt temelini, doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini değerlendiren bir tane çalışma dışında, yöntemin kullanılabilirliği sadece ampirik bir bakış altında sürdürülmektedir (96).

Kâğıt kon tekniği, ÇB ölçümü yapılan kök kanalının konititesinden daha az bir konikliğe sahip kâğıt konun tamamen kurutulmuş bir kanalda kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Kâğıt kon tekniği için üç farklı yöntem tarif edilmiştir (97);

Geleneksel Yöntem: Kâğıt kon kısa bir süre için AD'nin ötesine yerleştirilir. Nemli ve kuruluşun görüldüğü birleşim noktası kanalın uzunluğunu gösterir (98).

Rosenberg Yöntemi: Tahmini kanal uzunluğundan 2 mm daha kısa olacak şekilde kâğıt kon kök kanalına yerleştirilir, geri çekilir ve kâğıt konun ucunda nem olup

olmadığı incelenir. Kuru ise kâğıt konun ucunda nem tespit edilene kadar 0,25 mm'lik artışlarla kök kanalına yerleştirilen kâğıt kon apikal yönde ilerletilir. Kâğıt konun kuru olduğu maksimum uzunluk, çalışma uzunluğu olarak belirlenir (99).

Hibrit Yöntem: Kâğıt kon ile apikal foramenden çıkılır, nemin ve kuruluğun görüldüğü birleşim noktası tespit edilir. Bu saptamayı takiben, bir büyük çaptaki kâğıt kon biraz daha kısa boyda kök kanalına yerleştirilir. Kâğıt konun kuru kaldığı en uzun nokta, ÇB olarak kabul edilir (100).

Brown D.W.P (97)'nin altı farklı kâğıt kon markası ile ÇB kontrolü yapılırken, kâğıt kondaki selüloz parçacıklarının direkt veya indirekt olarak periapikal bölgeye iletilmesi üzerine yaptığı çalışmasında, Rosenberg tarafından kullanılan yöntemin doğrudan selüloz parçacıklarının dökülme riskini azaltabileceği belirtmiştir. Ayrıca kâğıt kon markasının hem doğrudan hem de dolaylı iletilen selüloz parçacığı üzerindeki etkisinin de önemli olduğunu belirtmiştir. Selüloz lif parçacıkları, inatçı kronik enflamasyon oluşturarak kök kanalı tedavisi prognozunun olumsuz seyretmesine neden olmaktadır (101).

Koppang ve ark. (102), kâğıt konları manipüle ederken, aşırı dikkatli olunmasını, endodontik kâğıt konların kullanımından vazgeçilmesini ve bunların yerine alternatif emicilerin araştırılmasını şiddetle tavsiye etmektedirler.

2.3.4. Radyografik Yöntem

Radyografi, tanıdan tedavi sonrası takiplere kadar endodontik tedavinin tüm safhalarında aktif role sahip olan önemli bir yardımcı araçtır. ÇB'nin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Radyografiler, tedavi basamaklarını arşivleyerek saklayabildiğimiz önemli belgelerdir. Aynı zamanda radyografiler ile kök kanallarının morfolojik yapısı, diş çürükleri, periapikal dokuların durumu, kök ve kanal sayısı, kök eğimlerine kuron kök arası açılar hakkında detaylı bilgi verir. Kök ucu morfolojisinin etkin biçimde tanınması ve ayrıca radyografik yorumun doğru biçimde yapılması, endodontik tedavinin başarısını arttıran temel etkenler arasında sayılabilir (103).

Radyografik apeks, radyografide görülen kökün anatomik ucu olarak tanımlanırken, apikal foramen ise kökün periodontal dokulara açıldığı nokta olarak tanımlanır (104). Apikal foramen her zaman radyografik apeks ile aynı noktada konumlanmaz, kök kanalının mesial ve distal ve/veya bukkal ve lingual yan yüzeylerindeki kısımlarda da konumlanabilir ve bu değişkenlik oluşumun röntgende

saptanmasını zorlaştırabilir (15). Olson ve ark. (105), 173 adet dişte (305 kanal), radyografinin apikal foramenlerin yerini belirleme etkinliğini ölçtükleri bir çalışmada, kök kanallarının sadece %82'sinin apikal foramende görüldüğünü bildirmişlerdir. Levy ve Glatt (106) 122 adet diş üzerinde apikal foramenin konumunu inceledikleri araştırmada; bu dişlerin %66,4'ünün apikal foramenlerinin, anatomik apeksten sapma gösterdiğini ve aynı zamanda çalışmaya katılan edilen dişlerin %33,6'sının foramenlerinin bukkal ya da lingual olarak sapma gösterdiğini saptamışlardır.

Pineda ve Kuttler (107), 4183 dişin 6219 kökü ve 7275 adet kök kanalı üzerinde kök kanal morfolojisini inceledikleri çalışmalarında hem meziodistal hem de bukkolingual yönlerden röntgen almışlardır. Radyografik incelemelerde, apikal foramen ile radyografik apeks arası mesafenin %83 dişte 2-3 mm kadar, kalan %16,9'unda ise ana kök kanalı forameninin apeksin ucunda olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Anatomik apeks ve apikal foramen uyuşmadığında, çalışma uzunluğunun radyografik tahmini daha da sorgulanabilir hale gelir ÇB'nin saptanması için gereken farklı yöntemlere olan ihtiyaç da artar. Bu iki nokta arasındaki mesafe ne kadar büyükse, çalışma uzunluğu hakkında klinik bir karar vermek de o kadar zorlaşır. Apikal foramenin konumunda tutarsızlık olma olasılığı premolar ve molar dişlerin tedavi edildiği durumlarda daha yüksek olabilir. Aynı çalışmada, apikal foramenin lateral bir konumda olma ihtimali, posterior dişlerde %78 - %93 aralığında gösterilmiştir. Bu lateral konum, tek başına radyografik tahminlere dayanarak ÇB'nin belirlenmesini oldukça zor ve karmaşık bir hale getirir (107).

Ayrıca, ön dişlerde genellikle anatomik apeks ile apikal foramen arasındaki mesafe görece daha küçüktür. Sonuç olarak, bu mesafedeki azaltma, ön grup dişlerde ÇB'nin radyografi kullanarak tahmin edilebilirliğini görece güvenli bir hale getirir (108). ElAyouti ve ark. (109) tarafından yapılan bir in vitro çalışmada, radyografik incelemeye göre edinilen ÇB'de işlem yapıldığında, over enstrümantasyon sıklığının posterior dişlerde, anterior dişlere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu durum, posterior dişlerde radyografik tahmine dayalı ÇB uzunluğu ölçümünün belirlenmesindeki zorlukları da vurgulamaktadır.

Radyografik inceleme esnasında, anatomik yapılar ve kemik yoğunluğu sebebiyle, apeks ile kanal eği arasında ilişki net bir şekilde görülemeyebilir. Özellikle üst çene dişleri, zigomatik kemiğin arkı ile alt çene dişleri ise kalın kortikal kemik ve mandibular kanal ile süperpoze olmaktadır (110). Tamse ve ark. (110) ÇB

tespit etmek için aldıkları röntgen filmlerinde, zigomatik ark ile olan süperpozisyonu; üst çene birinci büyük azı dışında % 20, üst çene ikinci büyük azı dışında ise % 42 olarak belirtmişlerdir.

Radyografi üzerinde çalışma boyu hesaplayabilmek için 3 farklı yöntem geliştirilmiştir:

Orantı hesabı: Kanalin içine, tanı radyografisi rehber alınarak önceden ÇB ölçülmüş bir kanal eğesi yerleştirilir ve radyografisi alınır. Radyografi üzerinde, aynı rehber noktasından başlayarak kanal aletinin ve dişin uzunluğu ölçülür. Elde edilen ölçümler ile tek bilinmeyenli bir denklem kurularak dişin gerçek boyu hesaplanır ve bu uzunluktan 1 mm çıkarılarak ÇB tespit edilir. Kök kanal aletinin ebatları kanal genişliğinden küçük olmalıdır; 25 numaralı ege tek köklü dişler ve azı dişlerinin geniş kanalları için uygunken, 10 ve 15 numaralı eğeler ise iki kanallı küçük azı dişleri ve azı dişlerinin dar kanalları için uygundur. Kurvatürü olan ve/veya dentin sklerozuna sahip kanallarda ise daha küçük numaralı eğeler tercih edilebilir (61).

Ingle'in hesaplaması: Dişin uzunluğu, teşhis röntgeni üzerinde ölçülür. Kök kanalına dişin boyundan 2-3 mm daha kısa olan bir kök kanal aleti yerleştirilerek röntgen çekilir. Röntgen üzerinde, kök kanal aleti ile kök ucundaki mesafe ölçülür ve güvenlik payı için bu mesafeden 0,5 mm çıkarılarak ÇB hesaplanır (83).

Endometrik prob kullanımı: Dummer ve Lewis (1987), çalışmalarında K tipi kök kanal eğesi ile 'endometric probe' olarak isimlendirilen, endodontik el aletlerine benzer ve kanal uzunluğunu belirlemeye yarayan enstrümanı kıyaslamışlardır (111). Endometrik prob, kök kanalı uzunluğu tahminlerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini arttırmaya yardımcı olmak için özel olarak tasarlanmış bir endodontik alettir. Prob, 1 mm aralıklarla düzenli olarak yerleştirilmiş olan 1 mm uzunluğundaki daralmalarla kalibre edilmiştir. Bu daralmalar röntgenlerde kolayca görülebilir ve böylece hekim, enstrüman ucu ile kanal preparasyonunun sonlanması istenen nokta arasındaki farkı daha doğru bir şekilde tahmin edebilir (111).

Dummer ve Lewis'in (111) yaptıkları laboratuvar çalışması bünyesinde, K-file yerine Endometrik prob kullanılması özellikle eğri kanallarda kök kanalı uzunluklarının daha doğru tahmin edilmesini sağlamıştır fakat radyografinin kendinden kaynaklanan distorsiyonlar hata derecesini artırmıştır.

Radyografiyle ÇB tespitinin; fazla radyasyon maruziyeti, tekrarlanan çekimler nedeni ile hastada güvensizlik hissi oluşturabilme riski, kuma refleksi olan hastalarda

uygulamanın zorluğu, alınan radyografi ile görüntü oluşturulması arasında geçen sürenin uzun olması, filim netliğinin banyo işlemlerine bağlı olarak değişmesi, banyo işlemlerinin ise solüsyonların ısısı ve bekletilme süresinin kullanıcı kontrolünde olması nedeni ile standardize edilememesi ve ayrıca lastik örtü çerçevesinin çıkarılıp takılması esnasında zaman kaybı gibi birçok dezavantajı mevcuttur. Klinik verimlilik oranı %78-%86 aralığında olmakla birlikte, radyografi ile ÇB tespiti hala terk edilemeyen ve sık kullanılan bir yöntemdir (112, 113, 61).

Ayrıca Orafi ve ark. (114)'nın, farklı görüntüleme koşullarının, radyolojik ÇB uzunluğu ölçümü üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, radyografik yorumlama için görüntüleme kutusu, büyütme ve maskeleme kullanımının, sonuçların yorumlanmasında anlamlı fark yarattığını bulmuşlar ve kullanımını önermişlerdir.

Filimlerin elektronik ortamlarda saklanabilmesi ve radyasyon dozunu azaltmak amacı ile dijital radyografi cihazları üretilmiştir (61).

2.3.5. Digital Görüntüleme Yöntemleri

Dış radyografisi, endodontik tedavide temel bir rol oynar. Kök kanalı tedavilerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirmesi, görüntüleme yöntemlerinin yardımı olmadan gerçekleştirilemez. Geleneksel periapikal radyografiler, bu amaç için her zaman en yaygın kullanılan yöntem olmuştur. Bunun yanı sıra, dijital periapikal radyografi, geleneksel yöntemle göre birkaç avantaja sahip olan görece daha yeni bir tekniktir. Daha düşük radyasyon dozu, çalışma zamanının kısa oluşu, görüntüleri işleme, değiştirme, kaydetme, transfer etme yeteneği ve banyo işlemlerinin ortadan kaldırılması; dijital yöntemi endodontik tedavi için tercih edilen bir seçenek haline getirmiştir. Ancak, geleneksel teknik hala daha iyi uzaysal çözünürlüğe sahiptir ve daha az maliyetlidir (115).

En yaygın radyografiler, dijital CCD (Charge Coupled Device) ve PSP (Photo-Stimulable Phosphor Plates) görüntülerinin yanı sıra geleneksel E ve F tipi hızlı filimlerdir. CCD gibi direkt dijital radyografik tekniklerde, görüntü röntgen ışının verilmesinden hemen sonra gözlenebildiğinden, endodontik tedaviler için CCD, PSP'den daha uygun görünmektedir. Bununla birlikte, CCD sensörlerinin kalınlığı ve sertliği onların kullanımlarını sınırlarken, PSP'ler hastalar tarafından daha uygun ve kabul edilebilirdir (116, 117, 118).

2.3.6. Elektronik Yöntem

Endodontideki en önemli buluşlardan biri, kök kanalının sonlanma noktasını belirlemek için üretilen ve geliştirilen elektronik aletlerdir. Radyasyonun zararlı etkileri ve radyografik teknik kaynaklı teknik sorunlar nedeniyle kanal boyunun elektronik olarak tespiti hem diş hekimleri hem de endodontistler arasında kullanımı giderek artan bir yöntemdir (76).

EAB cihazlar, insan dokularında var olan sabit elektriksel dengeyi kullanarak çalışma sistemi tasarlanan elektronik cihazlardır. Kök kanalı, sement ve dentin gibi dokularla kaplıdır ve bu yapı, elektrik akışını engeller. Ancak, kök kanalının içindeki bazı bileşenler iletken niteliğe sahiptir ve bu da elektrik akımını periodontal ligamente aktarabilir. Bu durumda diş dokusu ve kanal aleti, direnç ve kapasitans özelliklerine sahip olan bir elektrik devresinin elemanları gibi düşünülebilir. Başka bir deyişle, kök kanalı ve içinde bulunan maddeler, bir elektrik devresini tamamlar ve bu devre, elektrik akışını ve dolayısıyla EAB cihazın çalışma prensibini yönetir (76).

2.4. Elektronik Apeks Bulucuların Tarihçesi

Çalışma boyunu tespit etmek için elektronik bir metot yaklaşık 105 yıl önce, ilk kez Custer (119) tarafından 1918 yılında araştırılmıştır. Custer, periapikal dokuların elektriksel iletkenliğinin, kanal içindekinden daha yüksek olması prensibi üzerine, elektrik iletimi aracılığıyla kök kanal boyunun ölçülebileceği tezini savunmuştur. Kanalin kuruyken ya da alkol gibi iletken olmayan bir sıvı ile doldurulduğunda, bu iletkenlik farkının daha rahat tespit edilebildiğini belirtmiştir. Ayrıca, kanalın kural kısmında elektrik direncinin, apikal foramen çevresinden çok daha fazla olduğunu saptamıştır. Custer, oral mukoza üzerine yerleştirdiği bir elektrot ve kök kanalına yerleştirdiği tirnerf arasında bir voltaj uygulamış ve bu durum sonucunda oluşan elektrik akımını ölçmüştür. Bu yöntemle, apikal foramenin konumunu belirlemiştir. Ancak 1900'lerin elektriksel bilgi ve teknik kapasitesinin yetersizliği, doku yanıklarına yol açacak şekilde yanlış sonuçlara sebep olmuştur (119).

Custer'ın icadı 1942 yılına dek, çok fazla dikkat çekmemiştir. Ancak, bu durum Suzuki (120)'nin doğru akım kullanarak, oral mukoza ve periodontal ligament arasındaki elektrik direncini ölçen bir cihaz geliştirdiğini duyurmasıyla değişmiştir. Suzuki, köpek dişlerinde gerçekleştirdiği deneylerde, kanal içine konulan kanal aleti ve

oral mukoza üzerine yerleştirilen bir elektrot arasında tutarlı değerlerde elektriksel direnç olduğunu tespit etmiştir (120).

Bu bulgulara dayanarak, Sunada (121) 1962 yılında bir endodontik aletin ucunun apikal foramen yoluyla periodontal membrana ulaştığı zaman, alet ile ağız mukozası arasındaki elektrik direncinin 6,5 kΩ değerinde sabit bir değer olduğunu bildirmiştir ve doğru akımla çalışan rezistans tip apeks bulucuların temelini atmıştır. Ayrıca kanal eğesinin, kök kanal duvarını perfore edip periodontal membrana ulaştığında elektriksel direncin, eğenin apekse ulaştığı zamanki değerine eşit olduğunu da belirtmiş ve böylece 6,5 kΩ değerindeki bu direncin, ağız boşluğunun her yerinde sabit olduğunu belirlemiştir. Araştırmacı aynı zamanda belirtilen bu değerın dişin türü, hastanın yaşı ve cinsiyeti gibi faktörlerden etkilenmediğini de bildirmiştir (121).

Elektronik cihazlarda yıllar geçtikçe bir elektrik prensibi olarak empedans ölçme fikri rezistans ölçme fikrinin yerini almış ve bu şekilde geliştirilen apeks bulucular kliniklerde aktif bir şekilde yer almaya başlamıştır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte frekans tip ve orantı tip EAB'ler da hekimlerin hizmetine sunulmuştur (15, 76).

2.5. Elektronik Apeks Bulucuların Çalışma Prensibi

2.5.1. Atom Yapısı

Elektroniğin temellerini anlamak için, malzemelerin karakteristiklerini koruyan en küçük parçacık olan atomun yapısı tanımlanmalıdır. Atomlar; elektronlar, protonlar ve nötronlardan oluşmaktadır. Klasik Bohr modeline göre; atomlar, etraflarında dönen elektronlardan oluşan merkezi bir çekirdeği içeren gezegensel bir yapıya sahiptir. Çekirdek, proton adı verilen pozitif yüklü parçacıklardan ve nötron adı verilen yüksüz parçacıklardan oluşur. Negatif yük taşıyan temel parçacıklar elektron olarak adlandırılır (122).

Elektronlar, çekirdeğin belirli bir mesafesinde atom çekirdeğinin etrafında dönerler. Çekirdeğe daha uzak yörüngelerde olan elektronlar, çekirdeğe daha yakın olanlardan daha gevşek bir şekilde bağlıdırlar. Bu durum, pozitif yüklü çekirdek ile negatif yüklü elektron arasındaki çekim kuvvetinin, çekirdekten uzaklaştıkça azalmasından kaynaklanır. Örneğin, bakır atomunda en dıştaki kabukta bir elektron vardır ve bu elektron yeterli termal enerjiyi kazandığında, ana atomdan kopabilir ve

serbest bir elektron haline gelebilir. Oda sıcaklığındaki bakırda, herhangi bir atoma bağlı olmayan ve serbestçe hareket edebilen bu serbest elektronlar, bakırı mükemmel bir iletken haline getirir ve elektrik akımını mümkün kılar (76).

2.5.2. İyonlar ve Elektrolitler

Bir atomdaki elektron sayısı değiştiğinde, elektrik yükü de değişecektir. Bir atom elektron kazanırsa, negatif yüklü parçacıkların dengesizliğini alır ve negatif olur. Bir atom elektron kaybederse, pozitif ve negatif yükler arasındaki denge ters yönde kayar ve atom pozitif hale gelir. Her iki durumda da elektrik yükünün büyüklüğü (+1, +2, -1, -2, vb.) kazanılan veya kaybedilen elektron sayısına karşılık gelir. Pozitif veya negatif olup olmadıklarına bakılmaksızın elektrik yükü taşıyan atomlara ‘iyon’ denir. Elektron kaybedip pozitif yük kazanan bir iyon, katyon; elektron kazanıp negatif yük kazanan bir iyon ise anyon olarak adlandırılır (76).

Elektronlar, sadece bir elektrik devresindeki bir tel boyunca akmaz, eğer çözelti iyon içeriyorsa aynı zamanda su içinde de taşınabilir. Elektrik akımını, bir tel gibi ileten iyonik çözeltilere ‘elektrolit’ denir. Bir çözelti içindeki iki elektrot, tam bir elektrik devresinin parçası olduğunda, katyonlar negatif kutba (katoda) ve anyonlar pozitif kutba (anoda) çekilir. Herhangi bir iyonun bir çözelti içinde hareket edebilme kolaylığı, iyonun toplam yükü ve boyutu gibi faktörlere bağlıdır; büyük iyonlar, elektrolit boyunca hareket etmekte, küçük iyonlara göre daha fazla direnç gösterir. İyonların sayısı ne kadar çok olursa, çözeltinin elektrik iletkenliği de o kadar yüksek olur (76).

2.5.3. Elektriksel Yük, Voltaj ve Akım

Pozitif ya da negatif olan elektrik yükü ‘Q’ ile sembolize edilir. Elektron, negatif elektrik yükünü sergileyen en küçük parçacıktır. Bir maddede fazla miktarda bulunan elektron net bir negatif elektrik yükü oluşturur, elektron eksikliği ise net bir pozitif elektrik yükü oluşturur. Karşıt kutuplardaki yüklere sahip maddeler birbirine çekilirken, benzer kutuplardaki yüklere sahip maddeler birbirini iter (76).

Yüklerin belirli bir mesafeyi aşmak için kuvvetleri yenmesi için, bir miktar enerjinin iş şeklinde kullanılması gerekmektedir. Zıt yükler, aralarındaki ayrılık nedeniyle belirli bir potansiyel enerjiye sahiptirler. Yüklerin potansiyel enerjisindeki fark voltajdır. Voltaj, ‘V’ ile simgelenir ve elektrik devrelerindeki itici kuvvet olup akımı oluşturan unsurdur. Voltajın birimi volt’tur. Voltaj, elektronların veya iyonların

bir devre boyunca hareket etmelerini sağlayan enerjiyi temin eder. Bu hareket, bir elektrik devresinde iş yapıldığının göstergesi olan elektrik akımıdır ve 'I' ile sembolize edilir. Akımın ölçüm birimi ise amper olarak adlandırılır (76).

2.5.4. Rezistans

Bir maddede serbest elektron akımı olduğunda, elektronlar zaman zaman atomlarla çarpışmaktadır. Bu çarpışmalar, elektronların enerjilerinin bir kısmını kaybetmesine ve böylece hareket kabiliyetlerinin azalmasına neden olur. Çarpışma miktarı arttıkça, elektron akışı da buna paralel olarak kısıtlanır. Bu kısıtlama madde türüne göre değişir ve bu özellik 'direnc' olarak adlandırılıp 'R' harfi ile sembolize edilir ve değeri 'ohm' (Ω) olarak adlandırılır (76).

Elektrik akımı iyonlar tarafından oluşturulduğunda ise akım başka yollarla kısıtlanır. Bir elektrolit içinde iki nokta arasında bir voltaj (potansiyel fark) olduğunda, iyonlar zıt kutuplara gider ve bir akım meydana gelir. Elektrolitik çözeltilerin direnci, iyonların doğasına özellikle de yüklerini ve hareketliliklerini etkileyen konsantrasyona bağlıdır. Dolayısıyla, direnc konsantrasyona bağlı bir değişken olarak karşımıza çıkar. Bu fiziksel etki 'özdirenc' olarak isimlendirilir ve 'q' harfi ile sembolize edilir. Her madde için 'p' belirli bir sıcaklıkta sabit bir değer alır. Dolayısıyla, bir maddenin direnci; özdirenc (ρ), uzunluk (l), kesit alanı (A) olmak üzere üç faktöre bağlıdır ve aralarındaki matematiksel ilişki $R = \rho \times l / A$ şeklinde formüle edilmiştir (76). Formül direncin, özdirenc ve uzunlukla arttığını ve kesit alanıyla azaldığını gösterir. Aslında özdirenc (ρ), iletken malzemeleri yalıtkanlardan ayıran parametredir. Yalıtkanlar elektrik akımını iletmezler çünkü tüm elektronları atomlarına sıkı bir şekilde bağlıdır. Mükemmel bir yalıtkan, hiçbir yükün içinden geçmesine izin vermez, ancak oda sıcaklığında var olan böyle bir madde bilinmemektedir. En iyi yalıtkanlar, oda sıcaklığında yüksek ancak sonsuz olmayan bir direnc sunar (76).

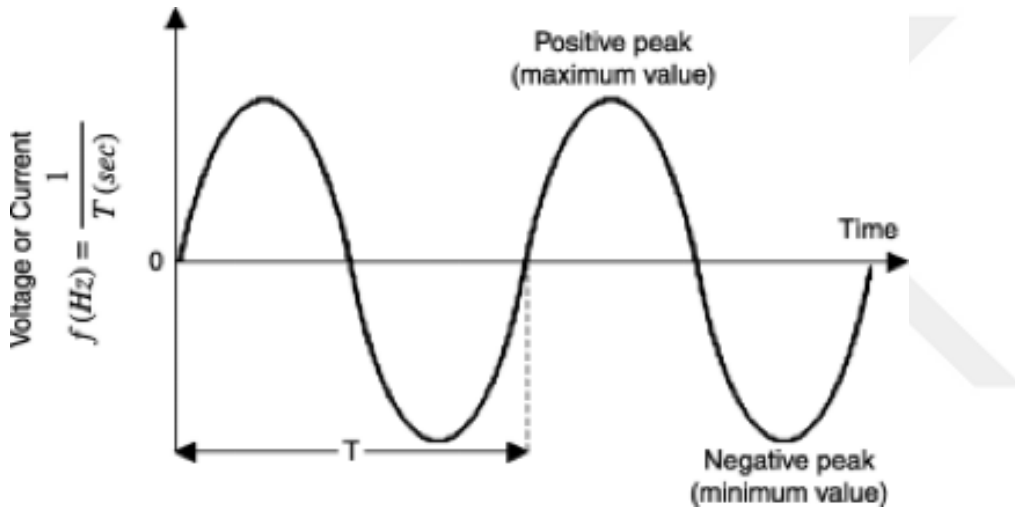
2.5.5. Ohm Yasası

Ohm yasası, bir devredeki akım, direnc ve voltaj arasındaki matematiksel ilişkiyi tanımlar. Ohm, bir direnc üzerindeki voltaj artarsa, direncden geçen akımın artacağını, voltaj azalursa akımın azalacağını kanıtlamıştır. Ohm yasası ayrıca, voltaj (V) sabit tutulursa, daha az direncin (R) daha fazla akıma (I) ve daha fazla direncin daha az akıma neden olduğunu göstermiştir. Ohm yasası $V = I \times R$ şeklinde formüle edilmiştir. Elektrolit çözeltiler de metalik iletkenler gibi Ohm yasasına uyar. Makroskopik açıdan

bakıldığında, çözeltilerin iyonik iletkenliği, katı cisimlerin elektron iletkenliği ile benzerdir. Su kendi başına zayıf bir elektrik iletkenidir ancak çözeltideki iyonların varlığı, direnci önemli ölçüde azaltır. Bu tür elektrolitik çözeltilerin direnci, iyonların konsantrasyonuna, mevcut iyonların doğasına ve boyutuna bağlıdır.

2.5.6. Doğru Akım ve Alternatif Akım

Doğru akım, birim zaman başına düşen sabit bir akım yoğunluğunu ifade eder. Bunun aksine alternatif akım, zamanla değişkenlik gösteren bir akım türüdür. Alternatif akım ve alternatif voltajın en yaygın türü, sinüs veya sinüzoidal dalga olarak adlandırılır (76).



Şekil 1: Alternatif voltajın veya akımın bir sinüs dalgası

Dirence sahip bir devreye sinüzoidal voltaj uygulandığında, alternatif bir sinüzoidal akım ortaya çıkar. Şekil 1’de görüldüğü gibi bu akım (veya voltaj), sıfır seviyesinden başlar, pozitif bir tepe değerine ulaşır, ardından sıfıra geri döner ve sıfır noktasına geri dönmeden önce negatif bir tepe değerine ulaşır ve bu süreç tam bir döngüyü oluşturur. Bir sinüs dalgasının tam bir döngüyü tamamlaması için geçen saniyelik zaman, ‘periyot’ olarak adlandırılır ve ‘T’ harfi ile sembolize edilir (76).

Bir sinüs dalgasının bir saniyede ne kadar çok tam döngü ‘frekans’ olarak tanımlanır ve ‘f’ harfi ile sembolize edilir. Frekansın birimi ‘hertz (Hz)’dir. Bir saniye içerisinde tamamlanan döngü sayısı ne kadar fazlaysa, frekans o kadar yüksek olur (76).

2.5.7. Kapasitör

İki iletken materyal (metal plaka) arasında bir yalıtkan materyal (dielektrik) mevcut olan elektrikli cihaza ‘kapasitör’ veya ‘kondansatör’ adı verilir. Bir kondansatör doğru akım voltaj kaynağına bağlandığında, elektronlar hareket kazanır ve bir plakadan diğerine hareket ederek bir plakanın negatif, diğerinin ise pozitif yüklenmesine neden olur. Voltaj kaynağının bağlantısı kesildiğinde, kondansatör depolanan yükü koruyacak ve üzerinde bir voltaj kalacaktır. Bir kapasitörün depolayabileceği yük miktarı ‘kapasitans (C)’ olarak adlandırılır. Bir kondansatörün kapasitansını plaka alanı (A), plaka ayrımı (d) ve dielektrik sabiti (ϵ) gibi parametreler belirler. Geniş bir plaka alanı, büyük bir kapasitans sağlar yani plaka alanı kapasitans ile doğru orantılıdır. Plaka ayrımı ise (d) kapasitans ile ters orantılıdır, yani plakaların daha fazla ayrılması kapasitansı azaltır. Plakalar arasındaki yalıtım malzemesi dielektrik sabiti (ϵ) ile kapasiteyi doğrudan etkiler. Kapasitansı etkileyen faktörlerin arasındaki matematiksel ilişki $C = \epsilon * A / d$ şeklinde formüle edilmiştir (76).

Kondansatör, içerdiği yalıtkan materyalin sonucunda sabit doğru akımı bloke edecektir. Fakat alternatif akımın frekansına ve kapasitansına bağlı olarak bir miktar karşılıklı da olsa alternatif akımın geçmesine izin verir. Bu karşılıklı ‘kapasitif reaktans (X_c)’ olarak adlandırılır ve aralarındaki matematiksel ilişki $X_c = 1 / 2\pi * f * C$ şeklinde formüle edilmiştir ve bu formülde π sayısı 3,14 olarak kabul edilir (76).

Doğru akımda frekans sıfır değerini aldığı için X_c sonsuz olur ve doğru akım engellenir. Alternatif akımda ise frekansın sıfırdan farklı değerler alması ile kapasitif reaktans, rezistörün direncine benzerlik gösterir. Bu durumda ise kapasitif devrelere Ohm yasası geçerli olur ve formülü $X_c = V / I$ şeklinde gösterilir (76).

2.5.8. Empedans ve Empedans Ölçümü

Hem kondansatöre hem dirence sahip olan bir devrede, alternatif akıma karşı koyan toplam direnç miktarı ‘empedans (Z)’ olarak adlandırılır. Empedans için de Ohm yasası geçerlidir ve formüle edilişi $Z = V / I$ şeklindedir.

Direnç ve kondansatör içeren bir devrede empedans değeri, rezistörlerin direnç değerlerine (R) ve kapasitörlerin reaktans (X_c) değerlerine bağlıdır.

Bir malzemenin empedans değerini ölçmek için birkaç yöntem vardır. Temel yöntem, materyale bir elektrik akımı uygulamak ve ortaya çıkan voltajı ölçmektir. Ohm

yasasına göre, voltaj değerinin akım değerine bölünmesi empedans değerini verir. Materyal yalnızca dirençli elemanlar içeriyorsa, bu ölçüm için doğru akım yeterli olacaktır. Bununla birlikte kapasitif elemanların varlığında ise alternatif akım, empedansın direnç özelliklerinin yanı sıra kapasitif özelliklerden de etkilenir. Kapasitif bileşenin frekansa bağlı değişmesinden kaynaklı, empedans değeri alternatif akımın frekansından etkilenecektir.

Elektrolitin direncinin ölçümünde doğru akımın kullanılması pratik değildir çünkü elektrotlar polarize olur. Elektrolitik çözeltilerin davranışı, büyük bilimsel ilginin yanı sıra büyük bir teknolojik öneme de sahiptir. Ancak elektro-iletkenlik, ölçüm sırasında, bir yarı döngü boyunca taşınan elektrik miktarının herhangi ölçülebilir bir polarizasyon oluşturmayacak kadar az olması nedeniyle, yüksek frekanslı bir alternatif akım kullanılarak polarizasyon önlenir. Bununla birlikte, farklı şartlardaki çeşitli elektrolitler farklı iletkenlikler sergileyebilir (76).

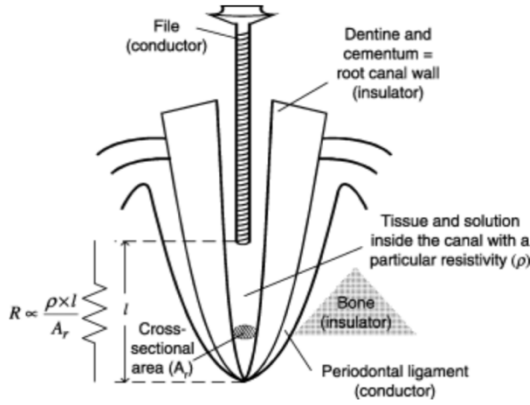
Elektriksel anlamda bir empedans genlik (amplitüd) ve faz olmak üzere iki özelliğe sahiptir. Bu tez kapsamında içeriği basitleştirmek için, empedans normal değeriyle tanımlanmıştır (76). Ek olarak empedansın büyüklüğünü veya fazını ölçmek için Wheatstone köprüsü, faz hassas algılama ve sinüzoidal dalga korelasyonu adıyla kabul edilmiş çeşitli yöntemler bulunmaktadır (123, 124, 125). Elektronik konuları ile ilgili olan yayınlar, bu konuyla ilgili daha fazla detay verecektir (122).

2.5.9. Elektrik Devreleri ve İnsan Vücudu

Elektrik çarpmasının nedeni voltaj değil, vücuttan geçen akımdır. Vücuttaki bir nokta voltajla temas ettiğinde ve başka bir nokta farklı voltajla temas ettiğinde, vücutta bir noktadan diğerine bir akım olacaktır. Ortaya çıkan elektrik çarpmasının şiddeti, voltaj miktarına ve akımın vücutta izlediği yola bağlıdır (126). Akımın insan vücudu üzerindeki etkilerini ölçmek için akım miktarının hesaplanması gerekir. Bu da potansiyel farka, potansiyel farkı yönlendiren empedansa ve temas noktaları arasındaki vücut direncine bağlılık gösterir (127). İnsan vücudunun direnci; vücut kütlesi, cilt nemliliği ve vücudun voltaj potansiyeli ile temas noktaları dâhil olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. İnsan vücudu, birkaç miliamperden az akımları algılamamaktadır ancak yaklaşık yüz miliamperlik bir akım özellikle birkaç saniyeden fazla süreyle bağlandığında, ölümcül hasara neden olabilir (126, 128).

2.5.10. Diş Yapısının Elektriksel Özellikleri

Kök kanalları elektrik akımına yalıtkan olan dentin ve sement gibi doku türleri ile çevrilidir. Ancak minör apikal foramen dediğimiz; kanal içindeki iletken materyallerin, bir elektrik akımı iletkeni olan periodontal alana bağlandığı küçük bir delik vardır. Kanalin yapısında var olan dentin, doku, sıvı gibi yapılar belirli bir direnç oluşturur ve bu direncin değeri, yapıların uzunluğuna, kesitsel alanına ve rezistansına bağlıdır (Şekil 2). Kök kanalı içerisinde bir endodontik ege kullanıldığında kanalın apikal ucuna yaklaştıkça, kanal aletinin ucu ile kanalın apikal kısmı arasındaki direnç giderek azalır. Çünkü kök kanalı içindeki dirençli materyalin etkin uzunluğu azalır (76).



Şekil 2: Kök kanalı tedavisi sırasında dişin elektriksel iletkenlik açısından yapısı ve modelin direnci

Diş yapısı direnç özellikleri göstermesinin yanı sıra kapasitif özellikler de gösterir. Kondansatörün bir plakası, dentinin dış kısmındaki iletken malzeme yani periodontal ligament; diğer plakası ise belirli bir yüzey alanı olan ve kanal içine yerleştirilen ege olarak kabul edildiğinde, kanal duvarındaki sement ve dentinin yanı sıra kanal içindeki doku ve sıvılar da iki iletken plakanın ayırıcıları olarak yani dielektrik (yalıtkan materyal) olarak çalışırlar ve böylece bir dielektrik sabiti belirlenebilir. Bu yapı aslında çok daha karmaşık bir kapasitör oluşturur (76).

Periapikal dokuları ve kök kanal sisteminin simüle edildiği eşdeğer bir devre ile bu karmaşık yapıya açıklık getirmek isteyen N. Meredith ve K. Gulabivala (129); kök kanalının dirençli ve kapasitif elemanlarla karmaşık bir elektrik ağı gibi davrandığını, elektriksel yapısının çok karmaşık olduğunu ve bu nedenle tam olarak modellenmesinin basit bir iş olmadığını ifade etmişlerdir.

2.6. Elektronik Apeks Bulucuların Sınıflandırılması

2.6.1. Birinci Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Rezistans Tip)

Sunada, 1962 yılında bir endodontik aletin ucunun ‘apikal foramen’ yoluyla periodontal membrana ulaştığı zaman, alet ile ağız mukozası arasındaki elektriksel direncin 6,5 k Ω değerinde sabit bir değer olduğunu bildirmiş ve doğru akımla çalışan rezistans tip apeks bulucuların temelini atmıştır (121). Doğru akımla yapılan elektronik ölçümün istikrarsız olması nedeniyle, ölçüm akımı olarak alternatif akımı kullanmanın daha iyi sonuç vereceği düşünülerek, bu temele dayanan ilk cihaz olan ‘Root Canal Meter’ (Onuki Medical Co., Tokyo, Japonya), oldukça basit bir tasarımla 1969 yılında piyasaya sunulmuştur. 150 Hz frekansında dalgalı alternatif akım kullanan bu cihaz, periodontal ligament ile oral mukoza arasındaki sabit 6,5 k Ω ’luk direncin, kök kanalının içindeki pozitif ve hastanın dudağına yerleştirilen negatif uçlar arasında ölçülmesini esas alan rezistans tabanlı çalışma prensibiyle ölçüm yapar. Kanal aleti, kanal içinde periodontal ligamente temas ettiğinde devre tamamlanır ve cihazın analog veya dijital göstergesi 6,5 k Ω ’u gösterir. Bu ölçüm çalışmada apikal foramen olarak değerlendirilir ve ÇB bu ölçüme dayanarak hesaplanır (84).

Bu temel prensibin ışığında, bu direnç tabanlı cihazların apikal foramen bölgesindeki periodontal dokuyu tespit edebilmesi gerekir. Bu cihazlar kök ucunun pozisyonunu değerlendirmez ve ‘electronic apex locator’ isminin uygun olmadığını belirten araştırmacılar; ‘electronic apical foramen locator’ veya elektronik kök kanalı uzunluk ölçüm cihazı gibi (Electronic Root Canal Length Measurement Device (ERCLMD)) genel bir isim kullanmanın daha uygun olacağını belirtmişlerdir (76).

Direnç tabanlı birçok ERCLMD’nin, kanal içindeki kuru koşullarda doğru ölçüm yaptığı gösterilmiş olsa da güçlü elektrolitlerin, aşırı kanamanın, cerahatin veya pulpa dokusunun mevcut olduğu durumlarda ölçüm sonuçlarının, her zaman doğru olmadıkları bildirilmiştir (130, 131, 132). Bu tür durumlarda kanal egesi elektro-iletken çözeltiliye dokunduğunda, doğru akım voltajı dokuları polarize eder, direnci değiştirir ve elektrik devresini tamamlar. Bu fiziksel hadise, cihazın hatalı bir şekilde minör apikal foramene ulaşıldığını gösterir (133, 134). Diğer sorunlardan bir tanesi ise kök kanal çapına uyan bir kanal aletinin belirlenmesinin gerekliliğidir. Ayrıca her ölçümden önce cihazın kalibre edilmesi ihtiyacı, kalibrasyon kaynaklı hatalarında ölçüm hassasiyetini azaltmasına neden olur. Kullanılan cihazda güç kaynağının yani pilin zayıflaması da

yanlış ölçümlere neden olabilir. Ek olarak, periodontal lezyona ya da açık apekse sahip dişlerde, kanal aletinin periodontal ligamente temas etmemesi nedeniyle bu tür cihazlarda ÇB'nin olduğundan daha fazla olarak saptandığı görülmüştür (84).

Piyasaya sürülen bu ilk cihazlar oldukça büyük bir akımla ölçüm yaptığı için, hastaların bazen ölçüm sırasında acı hissettiği bildirilmiştir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için 5 μ A'dan az bir akım kullanarak çalışan 'Endodontik Meter' (Onuki Medical Co., Tokyo, Japonya) üretilmiştir. Bu cihazda yaşanan güç kaynağı sebepli yaşanan sorunlar nedeniyle daha sonra Endodontik Meter S II (Onuki Medical Co., Tokyo, Japonya) adlı cihaz piyasaya sürülmüştür. İkinci üretilen bu EAB cihazın yapısında pil tüketimini en aza getirmek için mikro güç işlemsel yükselticiler kullanılarak güç tüketimini en aza indirilmiş ve böylece cihaz pilin değiştirilmesine gerek kalmadan bir yıldan fazla süre çalışan ayrıca oda sıcaklığındaki değişikliklerden asgari düzeyde etkilenen bir hale getirilmiştir (135).

Bu cihazlar üzerinde çalışan araştırmacılar, yapılan ölçümlerin; radyografik karşılaştırmalar neticesinde büyük çoğunluğunun kabul edilen çalışma mesafesinden önemli derecede daha uzun ya da daha kısa olduğunu ve böylelikle birinci nesil elektronik apeks bulucuların güvenilir olmadığını rapor etmişlerdir (136, 137).

2.6.2. İkinci Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Empedans Tip)

İkinci nesil EAB cihazlar, eğerin kanal içindeki konumunu ölçmek için direnç yerine empedans ölçümlerini kullanan tek frekanslı empedans tipinde aletlerdir. İkinci nesil EAB'larda dudak klipsi yerine hem temas etmeme ihtimalini önlemek hem de enfeksiyondan korunmak amacıyla elde tutulan bir parça kullanılmıştır (84). Bu cihazların çalışma boyunu ölçme prensibi, kök kanalları duvarı boyunca (saydam dentin varlığı nedeniyle) elektriksel empedansın apikal bölgede, kuronal bölgeden daha büyük olması ve bu empedansın semento-dentinal birleşimde ise aniden azalmasına dayanır [95]. Empedans, direnç ve kapasitanstan oluşmakla birlikte sinüzoidal bir genliğe de sahiptir. Kök kanalının empedansı ve dolayısıyla kapasitansı birçok değişkene bağlıdır. Ayrıca bu kapasitif özellikler, kanalın şekli ve kanal içindeki sıvıların dielektrik sabiti gibi diğer fiziksel parametrelerle de değişebilir (15, 76).

Bu görüşe dayanarak, 1971'de Inoue tarafından frekans değişikliği ölçme yöntemiyle çalışan ve işitilebilir özgün ses eklenen ERCLMD geliştirdi. 'Sono-Explorer' (Hayashi Dental Supply, Tokyo, Japonya) olarak tanıtılan bu cihaz ÇB'yi,

oral mukoza ile diş eti sulkusu arasındaki direnç ve kapasitans tarafından üretilen düşük frekanslı salınımın, apikal bölgedeki periodontal ligament tarafından üretilen frekansla aynı olduğu varsayımına dayanarak ölçer. Gingival sulkusa yerleştirilen yalıtkan bir klemp ve ürettiği ses ‘gingival sulkus sesi’ olarak adlandırılırken, geleneksel endodontik eğe kök kanalına yerleştirilir ve bu eğenin ürettiği ses, gingival sulkus sesiyle aynı olduğunda plastik rondel referans noktasıyla hizalanır ve ölçüm alınır. Bu cihazın en önemli dezavantajı, her dişte periodontal sulkusta bireysel kalibrasyon ihtiyacının olmasıdır (76, 138).

1986'da Hasegawa, devrenin değişken kapasitans özelliğini azaltmak için 400 kHz yüksek frekanslı bir dalga ölçüm aleti olan ‘Endocater’ (Yamaura Seisokushu, Tokyo, Japonya) adlı cihazı pazara sunmuştur. Dental ünite bağlı bir elektrot ve prob üzerindeki kılıf sayesinde, kanal içindeki elektro-iletken sıvılarda dahi ölçümler yapabilmektedir (63). Bu EAB cihaz, değişken kapasitans özelliklerin ölçümler üzerindeki etkisini daha da azaltmak için yalıtımlı eğelerle birlikte kullanıma sunulmuştur, fakat kaplamanın kolayca aşınarak ölçümü bozmasından dolayı dar kanallarda kullanılamamıştır (139). Ayrıca Himel ve Schott (140), otoklavlama sonrasında elektriksel iletkenliğe karşı sağlanan yalıtkanlığın azaldığını göstermişlerdir.

Çok sayıda ikinci nesil apeks bulucu tasarlanmış ve pazarlanmış, ancak hepsinin kanallarda elektrolit varlığında benzer sorunlar yaşadığı görülmüştür (15).

Kombine bir pulpa test cihazı ve apeks bulucu olan ‘Apex Finder’ (Apex Finder (Analytic Technology, Redmond, WA, ABD) ve ‘Endo Analyzer’ (Analytic/Endo, Orange, CA, ABD) görsel bir gösterge ile kendi kendini kalibre eder. Apex Finder ve Endo Analyzer, kanal içi ortamdan etkilenmemek için hassasiyetini ayarlar, ıslak veya kuru moda ne zaman geçmesi gerektiğini ekranda gösterir. Ancak araştırmacılar tarafından çeşitli doğruluk raporları bildirilmiştir (15, 138). Fouad ve ark. (141), Apex Finder’ın apikal foramenden $\pm 0,5$ mm’ye kadar %67 oranında doğru ölçebildiğini; Czerw ve ark. (142), yaptıkları in vitro bir çalışmada cihazın ÇB uzunluğunu %16,6 oranında sürekli olarak 0,5 mm'den fazla tahmin ettiğini bildirmiştir. De Moor ve ark. (143), jelatin kullandıkları in vitro çalışmada, çoğu ölçümün apeks boyunca perforasyon ile sonuçlandığını bulmuşlardır (141, 142, 143).

‘Formatron IV’ (Parkell Dental, Farmingdale, NY, ABD), çalışma prensibinde alternatif akım ve empedans ölçümü kullanan, LED ekranlı küçük ve basit bir cihazdır. Himel ve Cain (144), yaptıkları çalışmada cihazın radyografik apeksten $\pm 0,5$ mm’ye

kadar ölçüm doğruluğu oranının %65 oranında; ± 1 mm'ye kadar ise %83 oranında olduğunu bildirmişlerdir. Üretici firma, kullanım talimatlarında cihazın sodyum hipoklorit veya diğer iletken irigantlarla çalışmayacağını belirtmiştir (15,145).

İkinci nesil elektronik apeks bulucuların potansiyel eksiklikleri arasında kalibrasyon gereksinimi, bu kalibrasyon için klinik tecrübe ihtiyacı, genç ve apikal forameni henüz tam oluşmamış dişlerdeki tutarsız sonuçlar, zayıf bir pil varlığında hatalı ölçümlere yol açabilmesi ve kanal içerisine yerleştirilen kılıf nedeniyle dar kanallarda ölçüm yapamama gibi durumların yanı sıra en büyük dezavantajı, doğru ölçümler elde etmek için kök kanalının elektro-iletken malzemelerden makul ölçüde arındırılmış olması gerekliliğidir. Kanalda bulunan doku ve elektro-iletken irrigasyon sıvılarının varlığı, elektriksel özellikleri değiştirir ve genellikle daha kısa olan yanlış ölçümlere yol açar (144, 83).

2.6.3. Üçüncü Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Frekansa Bağlı Karşılaştırmalı Empedans Tip)

Üçüncü nesil elektronik apeks bulucular, ikinci nesil cihazlar gibi empedans prensibiyle çalışır ancak bu cihazlar, tek bir akım yerine iki farklı akımı kullanırlar. Gelişen teknolojiyle beraber daha güçlü mikro işlemcilerle sahip olan bu cihazlar, elde edilen ölçümleri matematiksel ve algoritmik bir şekilde hesaplayarak gerçeğe daha yakın ölçüm sunarlar. Üçüncü nesil cihazlar, dişin empedansındaki değişiklikleri; yüksek ve düşük olmak üzere iki farklı frekansta izleyerek çalışır. Kanalın kuronal kısmında sabit olan frekanslar arası empedans farkı; eğerin apikal konstrüksiyona doğru ilerlemesiyle birlikte artar ve apikal bölgede maksimum değerine ulaşır (15, 146).

Tüm apeks bulucular, apikal foramenin yakınlığını, konumunu; görsel ve işitsel olarak belirten ekran veya bazı göstergelere sahip bir tür alarm ile donatılmıştır. Empedansın büyüklüğü, frekansın ölçümüne bağlı olduğu için, iki frekansın kullanılması, eğerin kök kanalında ilerledikçe iki sonuç arasındaki farkı gözlemleme fırsatı verir. Bu cihazlar, uzunluk bilgisine dönüştürülebilen bu empedans farkından dolayı karşılaştırmalı empedans değerinin hesaplanması esasına dayanarak çalışırlar. Devrenin empedansı, akımın frekansından önemli ölçüde etkilendiği için bu cihazlar ayrıca 'frekansa bağlı apeks bulucular' olarak da bilinir. Üçüncü nesil EAB'lerin, kök kanalı içindeki elektrolitlerden etkilenmeme eğiliminde olduğu, nekrotik veya vital

pulpaya sahip dişlerde yapılan ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermeksizin, fonksiyonel güvenilirliğe sahip olduğu bildirilmiştir (147).

İlk olarak Osada firmasının piyasa tanıttığı, Saito ve Yamashitat (148) tarafından bildirilen frekansa bağlı karşılaştırmalı empedans ölçümü prensibiyle çalışan ‘Endex’ (Osada Electric Co., Tokyo, Japonya), bazı ülkelerde piyasaya ‘Apit’ (Osada Electric Co., Tokyo, Japonya) ismi ile sürülmüştür (146). Araştırmacılar, Endex’in salin, %5’lik NaOCl, %14’lük EDTA ve %3’lük H₂O₂ gibi elektrolitlerin varlığında, eğinin ve apikal foramenin boyutlarından bağımsız olarak ÇB’yi belirleyebildiğini saptamışlardır. Ayrıca yaptıkları incelemede, cihazı çalıştırmak için özel bir kanal içi prob kullanmaya gerek olmadığını; onun yerine standart bir K – tipi eğin kullanılabildiğini ve cihazın düşük alternatif akımla çalıştığı için hastada rahatsızlık yaratmadığını belirtmişlerdir (148). Frank ve Torabinejad (149) üretici firmanın belirttiği özellikleri araştırmak için yaptıkları in vivo çalışmada; Endex’in nemli koşullar altında, radyografik apekten $\pm 0,5$ mm’ye kadar %89,64 oranında apikal forameni belirlediğini bulmuşlardır. Araştırmacılar, açık elektrik devresi nedeniyle kuru kanallarda elde edilen ölçümlerin, tutarsız veya tahmin edilemez sonuçlar sunduğunu ancak bunun operatörlerin kanalları tamamen kurutamamasından da kaynaklanıyor olabileceğini belirtmişlerdir (149). Tınaz ve ark. (150) ‘Elektrik ileten ana kon güta – perkanın *in vitro* ve *in vivo* doğruluğunun incelenmesi’ isimli tez çalışmasında; Endex’in elektrolit içeren kök kanallarında tutarlı ölçümler yapabildiğini ve sadece anestezi solüsyon içeren kök kanallarında yapılan ölçümlerde, istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğunu saptamıştır.

Erken dönem apeks bulucuların ana eksikliği, 1991 yılında Kobayashi ve ark. (151), tarafından oran yönteminin tanıtılması ve akabinde 1992 yılında biri yüksek 8 kHz’lik ve biri düşük 0,4 kHz’lik frekansa sahip iki farklı elektrik akımıyla çalışan ve kendi kendine kalibre olan ‘Root ZX’in (J. Morita, Tokyo, Japonya) geliştirilmesiyle aşılmıştır. Oran yöntemi; iki farklı sinüs dalgası frekanslarına sahip elektrik akımının, kanaldaki elektrolit türüne bakılmaksızın, ölçülebilir empedanslara sahip olacağı ve bu empedansların oranlanması prensibine dayanır (15). Kobayashi ve Suda (152), farklı frekans oranlarının sabit değerlere sahip olduğunu ayrıca kanaldaki elektrolit varlığının ve elektrolit cins değişikliğinin bu değeri değiştirmediğini göstermişlerdir. Root ZX, piyasaya tanıtıldığı günden bu zamana kadar diğer elektronik apeks bulucu cihazların kıyaslandığı ‘altın standart’ konumunda olan bir EAB haline gelmiş ve 2003 yılında yapılan bir araştırmada cihazın dünya pazar payının %95’ine sahip olduğu belirtilmiştir.

(61, 153). Stöber E ve ark. (154), 37 örnekte AD'yi, major foramenin 0,5 mm uzağı olarak kabul ettikleri bir *in vivo* çalışmada, Root ZX'in ölçme hassasiyetinin, gerçek ÇB'den $\pm 0,5$ mm'ye kadar %72; ± 1 mm'ye kadar ise %100 oranında olduğunu bildirmişlerdir. Ounsi ve Naamen (155) tarafından yapılan bir *ex vivo* çalışmada, Root ZX'in AD noktasını tespit edemediği ve sadece ana foramenleri tespit etmek için kullanılması gerektiği bildirilmiştir. Hoer ve Attin (156) ise yaptıkları çalışmada, empedans oranı tabanlı EAB'ların, AD'yi tam olarak belirleyemediği ve bu cihazlar ile sadece klinik koşullar altında, minor ve major apikal foramenler arasındaki bölgenin belirlenmesinin mümkün olduğunu göstermişlerdir.

'Apex Finder', AFA ("All Fluids Allowed"), (EIE/Analytic Endodontics, Orange, CA, ABD) beş farklı sinyal frekansı (0,5, 1, 2, 4, 8 kHz) çalışan ve dört amplitüd oranını okuyabilen bir EAB cihazdır. Bu cihaz, kendi kalibrasyonunu otomatik olarak yapabilir ve kanal sistemi içinde yer alan elektrolitlerden etkilenmeden ölçüm gerçekleştirir. Cihazın çalışma mekanizması, empedans oranı ilkesine dayanan cihazlara benzerlik gösterir (138, 157).

Güney yarımkürede 'DatApex' (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) adıyla bilinen 'Neosono Ultima' EZ (Satelec Inc., Mount Laurel, NJ, ABD) adlı EAB cihaz, 'Sono Explorer' (Hayashi Dental Supply) serisi EAB'ların bir son üretilen modeli olmakla birlikte, bir dizi frekans değeri içinden, en uygun olan iki adedini seçerek ölçüm yapabilme özelliğine sahiptir (15). De Moor ve ark. (143) tarafından yapılan *in vivo* bir çalışmada, sodyum hipoklorit ile nemli ve kuru kanallarda yapılan ölçümlerde, apikal foramene $\pm 0,5$ mm mesafesinde yapılan ölçümlerin hepsinin başarılı olduğu saptanmıştır. Araştırmacılar ayrıca Endex/Apit ve Apex Finder AFA ile karşılaştırıldığında, Neosono Ultima EZ'in ölçme etkinliğinin diş hekimi deneyimine daha az bağımlı olduğunu da vurgulamışlardır.

Dünya çapında kullanımda olan diğer üçüncü nesil EAB cihazlara; 'Justwo' veya 'Justy II' (Yoshida Co., Tokyo, Japonya), 'Mark V Plus' (Moyco/Union Broach, Bethpage, NY, ABD) ile 'Endy 5000' (Loser, Leverkusen, Almanya) örnek verilebilir. Ancak bu cihazların da Root ZX'e kıyasla pazar payları çok düşük olup, özellikleri ve doğruluğu konusunda sınırlı araştırmaya sahiptirler (15).

2.6.4. Dördüncü Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Oran Tip)

Dördüncü nesil EAB cihazlar, kök kanalının karmaşık elektriksel özelliklerini iki veya daha fazla elektriksel impuls frekansında ölçer ve karşılaştırır. Bu cihazlar ile aynı empedansı ve dolayısıyla aynı AD noktasını belirleyen farklı kapasitans ve direnç değerlerinin kombinasyonları ayrı ayrı ölçüldüğü için, diğer nesillere kıyasla çok daha doğru sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir. Üçüncü nesil EAB bulucu cihazlar iki frekansı aynı anda kullanırken, dördüncü nesil cihazların farklı frekansları kullandığını, ancak aynı anda bir frekansın kullanıldığını belirtmek önemlidir. Üreticiler, bunu yaparak ve ardından iki frekans arasındaki farkların standart sapmasını hesaplayarak, cihazın doğruluğunu artırdıklarını iddia ederler. Dördüncü nesil cihazların çalışma prensibi birbirine benzer olmakla birlikte kullanılan frekans sayısı, verilerin işlenmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili farklılıklar da göze çarpmaktadır (15, 138).

‘Bingo 1020’ (Forum Engineering Technologies, Rishon Lezion, İsrail) adlı EAB cihaz 0,4 kHz ve 8 kHz olmak üzere iki ayrı frekansı kullanır fakat her defasında sadece bir frekansı temel alır ve ölçümler, sinyallerin kare değerlerinin ortalamasına dayanır. Bu ölçüm mekanizması ile cihazın doğruluk oranının arttığı öne sürülmektedir. Bingo 1020, ilerleyen tarihte Dentsply firması tarafından ‘Raypex 4’ (VDW, Münih, Almanya) adı altında satışa sunulmuştur (15). Kaufman ve ark. (158), 120 diş üzerinde Bingo 1020 ile yapıların bir in vitro çalışmada, cihazın Root ZX kadar güvenilir ve aynı zamanda kullanıcı dostu olduğu bildirilmiştirlerdir. Tinaz ve ark. (159), yaptıkları in vitro bir çalışmada Bingo 1020’nin ölçüm hassasiyetinin, Root ZX’inki kadar doğru olduğunu ve yeni başlayanlar için ön genişletme yapılan kanallarda kullanımının daha kolay olduğunu ve ölçüm etkinliğinin yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

2003 yılında piyasaya giren ‘Elements Diagnostic Unit ve Apex Locator’ (SybronEndo, Anaheim, CA, ABD), empedans bilgilerini bir matematiksel algoritma olarak işlemez, bunun yerine direnç ve kapasitans ölçümlerini esas alarak, bu değerleri bir veritabanı ile karşılaştırarak kök kanalının apeksine olan mesafeyi belirler. Cihaz, Root ZX’in 8 kHz’lik ve 0,4 kHz’lik sinyallerinin yerine 0,5 kHz ve 4 kHz’lik iki ayrı sinyalin bileşik dalga formunu kullanır. Sinyaller, hem dijital hem de analog olan bir dönüştürücüden geçerek analog bir sinyale dönüştürülür ve daha sonra bir amplifikatöre gidererek paralel bir direnç ve kapasitör görevi yapan hasta devre modeline

yönlendirilir. Üretici firma bu cihazın, modern elektronik dijital devreler sayesinde önceki cihazlara kıyasla daha tutarlı ölçümler yaptığını öne sürmektedir (15).

2.6.5. Beşinci Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Multifrekans Tip)

‘SCI’ (Science Citation Index) kapsamında beşinci nesil EAB cihazlar hakkında literatür bilgisi bulunmamasına rağmen, bazı yayınlarda firmaların yeni geliştirdiği veya yeni sürüme güncellediği EAB’lerin piyasaya beşinci nesil olarak tanıtıldığı görülmektedir. Günümüzde dördüncü nesil cihazlar, ölçüm hassasiyetlerinin iyileştirilmesi ayrıca görsel ve ergonomik özelliklerinin de kapsamlı hale gelmesiyle, eski durumlarına kıyasla çok daha başarılı bir seviyeye yükseltilmişlerdir (160).

‘ProPex’ (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kök kanal uzunluğunu belirlemek için çoklu frekansları kullanan ve diğer modern cihazlarla benzer çalışma prensibine sahip olan çok frekanslı bir EAB cihazdır. ProPex’in önemli bir özelliği de hesaplamalarda genellikle sinyal genliğini kullanan diğer EAB cihazların aksine, sinyalin kendi enerjisinin kullanılmasıdır. Üretici firma, başka herhangi bir teknik özellik belirtmemekle birlikte, sinyalin kendi enerjisinin kullanılmasının daha hassas olduğunu iddia etmektedir (161).

‘Propex II’ ve ‘Propex Pixi’ (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre), aynı şirket tarafından daha sonra piyasaya sürülen EAB cihazlardır. EAB’ler yüksek frekansta ölçüm yaparken, vücut organlarından dışarıya salınan bir tür içsel elektronik gürültü oluşturan düşük frekanstaki elektrik sinyallerinden etkilenirler. Bu gürültü, cihazın ölçüm hassasiyetini olumsuz yönde etkiler. Üreticiye firma, Propex II’nin sahip olduğu; içsel elektronik gürültüyü hafifletebilme yeteneğinin, cihazın ölçüm doğruluğunu arttırdığını öne sürmektedir. Propex Pixi ise cep boyutunda, multifrekans tip bir EAB cihazdır. Üretici firma, cihazın teknik özelliklerinden ziyade, avuç içine sığacak boyutta olan küçüklüğüne ve hafif olması gibi ergonomik tasarım özelliklerine vurgu yapmaktadır (162).

J. Morita firması, Root ZX’in elektronik çalışma prensibine dayanan ancak modifiye ettikleri ‘Dentaport ZX’ (J. Morita, Tokyo, Japonya) ve ‘Root ZX Mini’ (J. Morita, Tokyo, Japonya) cihazlarını piyasaya sunmuşlardır (146).

2.6.6. Altıncı Nesil Elektronik Apeks Bulucular (Adaptif Tip)

Günümüzde çoğunlukla dördüncü ve beşinci nesil EAB cihazlar kullanılmaktadır. Dördüncü nesil cihazların en önemli dezavantajı, göreceli olarak kuru

veya kısmen kurutulmuş kanallarda performans göstermesi gerekliliğidir. Ağır eksüda çıkışı olan, kanamanın yoğun olduğu ve pulpası henüz çıkarılmamış kanallarda cihaz doğru ölçüm yapamamaktadır. Bu sorunları çözmek için piyasaya sürülen beşinci nesil cihazların ise kan ve eksüda varlığında çok iyi performans gösterdikleri görülürken; kuru kanallardaki ölçümlerde, doğruluğunun azalmış olduğu tespit edilmiştir (15). Optica Laser firması tarafından 2009 yılında, ‘Adaptive Apex Locator’ (Optica Laser, Sofia, Bulgaristan) ismiyle piyasaya sürülen cihaz; dördüncü nesil cihazların kanal içindeki nemden, beşinci nesil cihazların ise kanalın kuruluşundan olumsuz yönde etkilenecek ölçüm hatası yapmalarına bağlı gelişen yetersizliklerin telafisi için üretilmiştir. Bu cihazların temel hedefi, kök kanalındaki özgün nem dengesine uygun olarak ÇB ölçüm stratejisini adapte etmektir. Bu nesil cihazlar ile kanalın nemine bakmaksızın; çıkarılmamış pulpa, eksüda ve yıkama solüsyonlarının varlığında veya kuru ya da kurutulmuş kök kanallarında, apikal forameni belirlemede yüksek ölçüm doğruluğu hedeflenmektedir. Cihaz konuşan ilk EAB cihaz olup, ergonomik bakımdan avuç içine sığabilecek ebatlara sahiptir (163).

2.7. Elektronik Apeks Bulucuların Ölçüm Güvenilirliğini Etkileyebilen Faktörler

2.7.1. Pulpa Vitalitesi

Periapikal radyolüsenzi ile birlikte periodontal ligament ve kemik yıkımı gösteren, nekrotik pulpa içeren bir kanalın empedans değeri ile vital pulpa içeren bir kanalın empedans değerleri arasında fark olması kuvvetle muhtemeldir (164,165). Birçok araştırmacı bu gerekçeye dayanarak; pulpa vitalitesinin, EAB cihazların ölçüm güvenilirliği üzerindeki etkisini araştırmıştır.

Mayeda ve ark. (165), pulpanın vital veya nekroz oluşunun, EAB cihazların ölçüm güvenilirliği üzerine etkisine baktıkları in vivo bir çalışmada; Endex (Osada Electric Co., Tokyo, Japonya) adlı cihaz ile 16’sı nekroz ve 17’si vital olmak üzere, toplam 33 adet dişin kök kanal uzunlukları ölçülmüş ve bu değerler, radyografilerle saptanan ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçta bütün ölçümlerin dar bir aralık (-0,86 mm’den 0,5 mm’ye kadar) içinde olduğunu, vital ve devital kanallar arasında anlamlı istatistiksel bir fark olmadığı bildirilmiştir.

Dunlap ve ark. (164)’larının, Root ZX kullanılarak yaptıkları in vivo bir çalışmada; 17’si vital, 17’si nekroz olmak üzere toplam 34 adet dişte ölçüm yapmışlar

ve canlı dişlerde AD'ye olan uzaklığı 0,21 mm, nekroze dişlerde ise 0,51 mm olarak saptamışlar ve anlamlı bir farkın olmadığını bildirmişlerdir.

Akisue ve ark. (166), yirmi sekiz adet (58 kanal) vital ve 115 adet nekroz (236 kanal) dişte yaptıkları bir in vivo çalışmada; AD'ye olan uzaklığı (0,0 mm – 0,4 mm) aralığında bularak, ölçümlerin başarılı seviyede olduğunu kabul etmişlerdir. Elements Diagnostic Unit and Apex Locator ile kök kanalı uzunluğunun belirlenmesindeki doğruluk oranı, vital kanallar için %94,8; nekroz kanallar için %97 düzeyinde bildirilirken gruplar arasında ise herhangi anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (166).

Pommer O. ve ark. (131) kök kanalı içeriğinin EAB'ların ölçüm doğruluğu üzerindeki etkisine baktıkları bir çalışmada; cihazın, vital kanallarda apikal daralmayı (%93,9), nekrotik kanallardan (%76,6) daha yüksek doğrulukla belirlediğini ve bu farkın anlamlı düzeyde olduğunu saptamışlardır. Araştırmacılar, enflamatuvar kök rezorpsiyonu olan nekroz dişlerde, AD noktasının değişebileceğini ya da tamamen bozulabileceğini ve bu durumun ölçüm doğruluğunu olumsuz etkileyebileceğini belirtmişlerdir (167).

2.7.2. Elektrik İleten Solüsyonlar

Kök kanallarındaki elektrolit varlığının, bazı EAB'lerin ölçüm hassasiyetini azaltıyor olması; endodontik tedavide kullanılan yıkama solüsyonlarının bu cihazların ölçüm hassasiyeti üzerindeki etkisinin araştırılmasına neden olmuştur (168, 169).

Özsever ve ark. (169), %2,5'luk ve %0,9'luk NaOCl çözeltileri ile %0,2'lik klorheksidin glukonatın, Propex'in ölçüm hassasiyeti üzerindeki etkisini in vivo olarak incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışmanın sonunda, klorheksidin çözeltisi ile ektripasyon sonrası kanal içi ortamının cihazın ölçüm doğruluğunu azaltmadığını fakat farklı konsantrasyondaki NaOCl çözeltilerinin ise tam aksine bir etki oluşturduğunu saptamışlardır.

Fan ve ark. (168)'ları, farklı irrigasgon solüsyonlarının (%0,9 NaOCl, %3 H₂O₂, %2,5 NaOCl ve %17 EDTA) ve kanal çapının; Root ZX, Propex ve Neosono Ultima EZ adlı EAB cihazların doğruluğuna olan etkisini inceledikleri bir çalışmada 16 farklı çapta, 48 adet kök kanalını simüle eden tüp kullanmışlardır. Root ZX kanallar kuruyken, gerçek uzunluğa olan mesafe $\pm 0,5$ mm için ölçüm güvenilirliğini %75 - %91,7 aralığında ve ± 1 mm için ise %100 olarak bildirmişler ve ölçümlerin kanalın çapından etkilenmediğini bulmuşlardır. Kanallar daha az iletken bir elektrolit olan

%3'lük H_2O_2 solüsyonu ile doldurulduğunda, kanal çapı artsa bile ölçüm doğruluğu ± 1 mm için %75-%100 aralığında saptanmıştır. Kanallar daha güçlü elektro iletken olan %0,9'luk ve %2,5'luk NaOCl solüsyonları ve %17'lik EDTA ile doldurulduğunda kanal çapı arttıkça, Root ZX'in doğruluğunun azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak, içi elektrolitle dolu ve çapı geniş olan kanallarda Root ZX'in kullanımının yeniden değerlendirilmesinin gerektiği bildirilmiştir. Propex'in, kanallar kuruyken veya daha az iletken olan %3'lük H_2O_2 solüsyonu ile doluyken yapılan ölçümlerin tümünde; kanal çapındaki artıştan etkilenmeksizin $\pm 0,5$ mm tolerans aralığında başarılı ölçüm yapabildiği bildirilmiştir (168). Kanallar güçlü elektrolitlerle doldurulduğunda, Propex tarafından kaydedilen gerçek uzunluğa olan ölçüm mesafesi, kanal çapı ile ters orantılı ve gerçek uzunluktan daha uzun olarak ölçülmüştür. Çalışmada, Neosono Ultima EZ'nin ölçüm doğruluğunun kanal içeriği ve kanal çapından etkilenmediği ve 6 adet kanalın dışında gerçek uzunluğa olan mesafenin tüm kanallarda 1 mm'nin altında ölçüldüğü bildirilmiştir (168).

Duran-Sindreu F ve ark. (170), iPex ve Root ZX adlı EAB'lerin; %2,5'luk NaOCl ve %2'lik klorheksidin (CHX) solüsyonlarının varlığında, performansını değerlendirmek amacıyla 32 adet tek köklü diş üzerinde yaptıkları çalışmada, her iki cihazın ölçüm hassasiyetinin solüsyonlardan etkilenmediğini bildirmişlerdir. Ancak iki apeks bulucu arasında, kullanılan irrigasyon solüsyonlarından bağımsız olarak ÇB belirlemede anlamlı fark olduğunu ve Root ZX'in daha doğru ölçümler yaptığını bildirmişlerdir (170). Ayrıca, Duran-Sindreu F ve ark. (170), çalışmanın bulgularının, Stöber ve ark. (154)'nın yaptığı benzer çalışma ile uyuşmadığını da bildirmişler. Stöber ve ark. (154), irrigasyon ajanı olarak %2,5'luk NaOCl'in varlığında iPex ve Root ZX cihazları arasında çalışma boyunu doğru belirleme performansında anlamlı bir fark saptamazlarken; Duran-Sindreu F ve ark. (170), aynı cihazlar ve irrigant ile birlikte anlamlı bir fark bildirmişlerdir. Wrbas ve ark. (171)'na göre, çalışma boyunun belirlenmesinde EAB tipleri arasındaki doğruluk ve farklılıkları tam olarak karşılaştırmak için aynı dişleri kullanmak önemlidir. Duran-Sindreu F ve ark. (170), bu çalışmada, çalışma boyunun belirlenmesinde, Root ZX ve iPex için sırasıyla $\pm 0,5$ mm'ye kadar %46,4'lük ve %42,8'lik bir doğruluk oranı bildirirken; Stöber ve ark. (154), bu doğruluk oranlarını Root ZX ve iPex için sırasıyla $\pm 0,5$ mm'ye kadar %72 ve %57,8 olarak saptamışlardır. Ancak Stöber ve ark., Root ZX ve iPex adlı cihazları değerlendirirken, her ikisi için sırasıyla biri 18 adet diğeri ise 19 adet farklı diştten

oluşan iki ayrı grup oluşturmuşlardır. Her apeks bulucu için farklı dişler kullanıldığından dolayı, yapılan bu incelemede iPex ve Root ZX'in ölçüm performansları doğrudan karşılaştırılamamıştır (154).

Tınaz ve ark. (159), farklı konsantrasyonlarda kullanılan %0,5'lik, %1'lik, %2,65'lik ve %5,25'lik NaOCl solüsyonlarının, Root ZX'in ölçüm güvenilirliği üzerinde etkisiz olduğunu bildirmişlerdir.

Diemer F ve ark. (172) tarafından yapılan bir çalışmada, Root ZX Mini ve Locapex 6 adlı EAB'lerin sırasıyla %0,5'lik, %2,5'lik ve %5'lik NaOCl konsantrasyonlarının varlığındaki ölçüm etkinliğine bakılmıştır. Bu çalışmada gruplar arasında anlamlı bir fark bulamazken, her iki cihazın da solüsyon konsantrasyonlarından bağımsız olarak, başarılı ölçümler yaptığı belirlenmiştir (172).

Çınar F ve ark. (173) tarafından gerçekleştirilen bir mikro bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) çalışmasında; Raypex 5, Propex Pixi ve Root ZX Mini adlı EAB'ların, kanal içinde sırasıyla kan, pulpa dokusu ve yıkama ajanı varken ölçüm etkinlikleri kıyaslanmıştır. 25 adet çekim ihtiyacı olan, tek köklü vital diş bu çalışmaya dâhil edilmiştir. Başlangıçta kanlı pulpa dokusu varken 10 numaralı K – tipi eğe kullanılarak çalışma uzunluğu ölçülmüş, ardından pulpa dokusu çıkarılmış ve sistem sodyum hipoklorit solüyonu ile yıkanarak, ÇB tekrardan ölçülmüştür. Son olarak, dişler çekilmiş ve mikro-BT ile taranarak, gerçek ÇB'leri tespit edilmiştir. Araştırmacılar, hem pulpa dokusu hem de NaOCl varlığında, her üç cihazın da ölçüm performansını başarılı olarak bulmuşlardır (173).

Al-Hadlaq (174) tarafından yapılan bir çalışmada, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator, Root ZX Mini, Root ZX, Mini Apex Locator (SybronEndo) adlı EAB'ların ölçüm etkinliği kanalların içinde okaliptüs yağı, kloroform ve portakal yağı varken kıyaslanmış ve anlamlı bir saptanmamıştır.

Çok seanslı tedavilerde, kanal içi medikamanı olarak kullandığımız kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) artıklarının, EAB cihazların, ölçüm başarısı üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar da yapılmıştır. Uzunoğlu ve ark. (175), 90 adet üst lateral dişlerini kullandıkları bir çalışmada önceden kanal boyları ölçülmüş ve ardından sisteme $\text{Ca}(\text{OH})_2$ uygulanmıştır. Medikamanın farklı yıkama ajanları ile uzaklaştırıldığı bu çalışmada, residüel $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kalıntılarının cihazların ölçüm performansını olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır. Üstün ve ark. (176) ise çalışma boyu ölçüldükten sonra kanallara kalsiyum hidroksit uygulanmış ve dişler 3 farklı çalışma grubuna ayrılmıştır.

Bu araştırmada, uygulanan Ca(OH)_2 çözeltisi, çalışma boyundan sırasıyla 1, 2 ve 4 mm geride olacak şekilde temizlenmiş ve ölçümler tekrarlanmıştır. Kanalda 4 mm'lik medikamanın residüel olarak bırakılmasının, diğerkalıntılara göre anlamlı düzeyde, EAB cihazın ölçüm kapasitesini azalttığı görülmüştür. Araştırmacılar vardıkları bu sonucun ışığında, hekimlere bir ara seans medikamanı olan kalsiyum hidroksitin, kök kanallarından mümkün olabildiğince en az kalacak şekilde uzaklaştırılması gerektiğini önermişlerdir (176).

2.7.3. Yatay ve Dikey Kök Kırıkları

Ebrahim ve ark. (177), Root ZX, Foramatron D10 (Parkell Electronic Division, Farmingdale, NY, ABD) ve Apex NRG (Kibbutz Afikim, İsrail) adlı cihazların ölçüm etkinliğini, yapay olarak yaratılmış yatay ve dikey kırıklı dişler üzerinde in vitro olarak incelemişlerdir. Çalışmada, tek köklü 90 adet çekilmiş diş, altı ayrı gruba ayrılmıştır. İlk üç grupta kuronal, orta ve apikal kök bölgelerine kadar gelen yatay kırıklar; son üçünde ise kuronal, orta ve apikal 1/3'lük bölgelere erişen dikey kırıklar yaratılmıştır. Bu dişler, %1'lik agar içersine yerleştirilmiş ve B ölçümleri, 10 numaralı K tipi eğenin apeks değeriine ulaştığı anda kaydedilmiştir. Her üç cihazın da yatay kök kırıklarının konumunu belirlemede doğru olduğu görülürken, dikey kök kırıklarının konumunun tespitinde güvenilirmez ve yetersiz olduğu saptanmıştır. Ancak, Root ZX'in diğerklerine kıyasla hem yatay hem de dikey kök kırıklarının konumunu belirlemede anlamlı derecede daha etkin olduğu da tespit edilmiştir (177).

Goldberg ve ark. (178) in vitro olarak yürüttüğü bir araştırmada ise EAB'lerin yatay oblik kök kırıklı dişlerde, kuronal kök kanal parçasının çalışma uzunluğunu doğru bir şekilde tespit edebildiğı bildirilmiştir. Bu alışmada Root ZX, NovApex (Forum Technologies, Rishon Le-Zion, İsrail), ProPex ve Elements Apex Locator kullanılmış ve cihazlar arasında, ölçüm etkinliği açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır (178).

2.7.4. Kök Perforasyonları

Kök perforasyonları iyatrojenik faktörler, iç veya dış rezorpsiyonlar ve çürükler sonucunda oluşabilen patolojilerdir. Kök perforasyonlarının tespitinde; doğrudan kanamanın gözlemlenmesi, kanamanın kâğıt kon ile değerkendirilmesi, radyografik inceleme ve EAB'lerin kullanımı en etkin yöntemlerdir (179).

1976 yılında, Sono-Explorer'ın kök perforasyonlarını saptamak, lokalize etmek ve tedavi etmek için potansiyel bir araç olarak kullanımı ilk kez bildirilmiştir (180).

Perforasyon belirlemede, hangi jenerasyona ait olduğundan bağımsız olarak, her türlü EAB'nin kullanımı mümkündür. Fakat bu işlem esnasında, kanal aleti ile perforasyon alanındaki periodontal dokuya temas edildiğinde kısa devre oluşur ve apeksin ötesine geçmiş gibi bir okuma görülür. Farklı EAB cihazların, perforasyon tespitindeki başarıları birçok çalışmada karşılaştırılmış fakat cihazlar arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (181, 182, 183, 184).

2.7.5. Metallerin Etkisi

Farklı metal türlerinin, EAB'ların ölçüm güvenilirliği üzerinde bir etkisi olup olmadığı sorusu varlığını devam ettirse de bu bir problem olarak görülmemiştir.

Nekoofar ve ark. (130) iki farklı metal türü kullanarak Neosono Ultima EZ'nin (Amadenat) güvenilirliğini test etmişlerdir. NiTi ve paslanmaz çelik kullanılan araştırmada ölçüm doğrulukları sırasıyla %94 ve %91 olarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Başka araştırmacılar da yine metal çeşitlerinin, EAB'ların ölçüm güvenilirliği üzerinde anlamlı bir fark yaratmadığını bildirmiştir (157,185)

2.7.6. Kalp Pili Taşıyan Hastalar

Hastada kalp pili bulunması durumunda, vitalometre ve EAB gibi elektrikli cihazların kullanımı, diş hekimi için bir tedavi zorluğu oluşturabilir. Bu cihazlar kalp pilinin işlevini bozabilir ve/veya hasta için hayati risk oluşturabilir. Bu nedenle tedaviye başlamadan önce, elektrikli cihazların kalp piline potansiyel etkisinin olup olmadığı dikkatle incelenmelidir. Kalp pilinin işlevine yönelik potansiyel etkiyi, implante edilmiş kalp pilinin türü ve hastanın bu pile olan bağımlılığı belirler.

Teknolojik ilerlemelerle birlikte kalp pili çeşitliliğinin artmasına bağlı olarak, kalp pillerinin EAB kullanımından etkilenmediği bildirilmiştir. Ancak, bu çalışmaların in vivo olmadığı göz önüne alındığında, hasta üzerinde tedaviye başlamadan önce kardiyologla işbirliği yapılması daha dikkatli bir yaklaşım olacaktır (186, 187).

2.7.7. Kök Gelişimi Tamamlanmamış Daimî Dişler, Süt Dişleri ve Açık Apeks Sahip Dişler

Açık apeksi olan dişlerde, EAB cihazların genellikle gerçek apikal foramen daha kısa bir ölçüm yapma eğilimleri olduğu görülür. Bu erken, yani kısa ölçümlerin sebebi, ince dentin duvarındaki empedans oranının ani azalması olabilir. EAB'lar, eğenin temas ettiği her yerdeki en büyük empedans değişimini ölçerler. Toplam empedans, apikal bölgede oluşturulan empedans ile dentin duvarının empedansının toplamı olarak değerlendirilir. Dentin duvarı, apikal foramenle karşılaştırıldığında çok daha düşük bir elektrik kapasitesine sahip olduğundan, empedans değişikliği esas olarak eğe ucu ile apikal foramen arasındaki mesafeye bağlıdır. Dentin duvarının aşırı incilmesi durumunda, kök dentin duvarının empedansı, eğe ucu ile dudak klipsi arasındaki toplam empedansı etkileyebilir ve bu da erken bir ölçümle sonuçlanabilir (157).

İlaveten, açık apeksi olan kalıcı dişlerde, kök kanalının apikal boyutu genellikle kuralın üçte iki boyutundan daha geniştir. Bu durumda, ölçüm sırasında kanal eğesi, kök kanalının apikal dentin duvarlarına dokunamaz ve EAB'ler doğru ölçüm yapamaz. Ancak, kök gelişimi tamamlanmış ve apikal kök rezorpsiyonu olan daimî dişlerde, kök kanalı genellikle rezorpsiyon alanına doğru giderek daralan konik bir şekle sahip olduğundan, eğe apikale doğru hareket ederken, dişin apikal sınırında dentinle temas edeceğinden dolayı doğru bir elektronik ölçüm yapılabilir (50, 188).

Süt dişlerinin kök kanal tedavisi esnasında, çeşitli zorluklarla karşılaşılabilir. Bunlar arasında; kök kanalı duvarlarının ince olmasına bağlı olarak, mekanik şekillendirme sırasında perforasyon oluşabilmesi veya kırık riskinin artması ayrıca kökün fizyolojik rezorpsiyonu bulunmaktadır. Süt dişlerinde fizyolojik şekilde gelişen kök rezorpsiyonu, süt dişlerinde veya genç kalıcı dişlerde, apikal foramen çapının büyüklüğü ya da apeksogenezinin tamamlanmaması gibi durumlarda, EAB'ların ÇB'yi belirlemedeki etkinliklerinde muğlaklıklar doğabilir (189). Tosun ve ark. (190), Triauto ZX ve Root ZX ile 34 adet fizyolojik kök rezorpsiyonu mevcut olan süt dişi ile 19 adet rezorpsiyosuz süt dişi üzerinde yaptıkları çalışmada; rezorpsiyon mevcut olmayan dişlerde her iki EAB cihazın oldukça güvenilir olduğunu bildirmişlerdir. Rezorpsiyon olan dişlerde ise en çok olumsuz sonuçların TriAuto ZX'le yapılanlar olduğu izlenmiştir (190).

Açık apeks terimi genellikle, apikal stop noktası hazırlamanın zor olduğu, geniş çaptaki apikal forameni açıklamak için kullanılır. Açık apekse kök ucu rezeksiyonu, aşırı enstrümantasyon ve yaygın rezopsiyon sebep olabilir. Bu tür dişlerde, bozulan apikal anatomi ve hasar görmüş periodontal ligament, kök kanalının uzunluğunun radyografik değerlendirmesini daha da karmaşık hale getirir. Bu sebeple, Avrupa Endodonti Derneği, kök kanal tedavisi sonrasında EAB bulucu kullanımının ardından bir radyografi çekilerek durumun doğrulanmasını tavsiye etmektedir (138).

2.7.8. Apikal Foramenin Çapı ve Eğe Boyutu

Apikal foramen boyutu ile elektronik apeks bulucuların doğruluğu arasındaki ilişki geniş çapta araştırılmıştır. Klinik uygulamada; anatomik özellikler, aşırı enstrümantasyon, kök rezorpsiyonu, kök gelişimi tamamlanmamış dişler geniş apikal foramenin nedeni olabilir ve bu durumda, dişlerde elektronik olarak ÇB saptanmasında büyük zorluklar yaşanabilir. Mevcut olan in vitro çalışmalar; foramenlerdeki genişletme seviyeleri, değişik EAB markaları, ölçümlerin karşılaştırılması için gereken anatomik parametreler ve doğruluk değerlendirmesindeki tolerans oranları gibi farklı metodolojiler üzerine kurulduğu için büyük ölçüde farklılık gösterir. Tüm bu değişken etkenler, bu konunun literatürde hala tartışmalı bir konu olmasını açıklayabilir (46).

Birçok çalışma, EAB'lere ait olan ölçüm doğruluğunun, apikal foramen çap artışı ile ters orantılı olduğunu bildirmektedir. Kovacevic ve Tamarut (191) tarafından yapılan bir çalışmada, apikal foramen genişletmesinin 0,25 mm olduğu örneklerdeki ölçüm sonuçlarının doğruluğunun, 0,45 ve 0,70 mm'lik çap oranlarına kıyasla görece daha anlamlı olduğu belirlenmiştir. Cam tüpler kullanarak kanalları simüle eden veya apikal daralmanın yok edildiği kanalları değerlendiren diğer yazarlar, 0,4 mm ve üzerindeki apikal açıklıkların, EAB'ların ölçüm etkinliğini azalttığını göstermişlerdir (192, 188). Root ZX'in farklı apikal çaplardaki ölçüm performansını inceleyen Herrera ve ark. (45) $\pm 0,5$ mm'lik bir hata aralığındaki doğruluğu, 0,6 mm'lik apikal çapta %87 oranında; 0,7 mm'lik çapta ise 45 numara veya daha büyük çaplı eğeler kullanıldığında %84 olarak rapor etmişlerdir. Herrera ve ark (45) Root ZX'in; 0,6 mm'lik apikal çap için eğe büyüklüğünden bağımsız olarak doğru ölçüm yaptığını; 0,7 ila 0,8 mm arasındaki apikal çaplar için eğelerin numarasının foramene göre ayarlanması gerektiğini; 0,9 mm'nin üzerindeki çaplarda ise doğru sonuç alabilmenin imkânsız olduğunu bildirmişlerdir.

Bazı araştırmacılar ise apikal foramenin çapının ve kullanılan eğenin EAB'nun ölçüm güvenilirliğini etkilemediğini bildirmiştir. Lee ve ark (193), farklı diş gruplarının kök kanallarında 25 numaralı eğeden daha küçük ve daha büyük ebattaki kanal aletlerinin, EAB'lerin ölçüm performansı üzerindeki etkilerini kıyaslamışlardır. Farklı apikal foramen çaplarına sahip 31 adet diş üzerinde gerçekleştirilen bu çalışmada, çalışma boyunun belirlenmesinde 25 numaralı kanal aletinden daha küçük ya da daha büyük boyutlarda alet kullanımının, ölçüm sonuçlarının doğruluğu açısından herhangi bir anlamlı fark yaratmadığı bildirilmiştir. Nguyen ve ark. (194), Root ZX kullanarak eğe büyüklüğü ve kök kanalı çaplarının, EAB ölçümleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu deneyde, genişletilmiş apikal foramenler hem küçük numaralı kanal eğeleri hem de çapa uygun kanal eğeleri ile ölçülmüştür. Çalışmada, başlangıç uzunluğu önce 10 numaralı bir eğeyle ölçülmüş sonra kanallar 60 numaraya kadar genişletilmiştir. Kanal aletinin ucuna ait konumun histo-morfometrik olarak incelendiği bu çalışmada, 10 ve 60 numara büyüklüğündeki eğelerle yapılan ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (194).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez çalışması, İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı Kliniği'nde gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya başlamadan önce İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'na başvuruda bulunulmuş, 27.12.2022 tarih ve 136 sayılı toplantısında görüşülerek etik yönden uygun bulunmuştur.

3.1. Gereç

- Araştırmada kullanılan materyaller:
- 64 adet tek köklü, tek kanallı üst kesici ve kanin dişleri ile alt küçük-azı dişleri.
- (10 – 80) numara büyüklüklerinde, K- tipi paslanmaz çelik el eğeleri (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre).
- 90, 100, 110, 120 numaralı paslanmaz çelik el eğeleri (VDW, Munich, Almanya).
- %5'lik konsantrasyondaki Sodyum Hipoklorit (NaOCl) solüsyonu (Altun Sterilizasyon ve Medikal, İstanbul, Türkiye).
- Distile su.
- 'Md-Chelcream' %19'luk EDTA Jel (Meta Biomed, Güney Kore).
- Steril şırınga, 5 ml (Hayat Tıbbi Aletler, İstanbul, Türkiye).
- 30 gauge (G) büyüklüğünde, çift yan delikli, endodontik yıkama iğnesi (Double Sideport, Raito, Jiangsu, Çin Halk Cumhuriyeti).
- 5110 – 200 Dijital Kumpas, 0 – 200 mm IP54 (Loyka, İstanbul, Türkiye).
- Karborandum Separe disk (Dentorium, Farmingdale, NY, ABD).
- Aljinat Ölçü Maddesi (Zhermck SpA, Badia Polesine, İtalya).
- 'Kepler Advanced Loupe', 6,4 x büyüten büyüteç (Samsø, Danimarka).
- 'Root ZX Mini (J. Morita, Tokyo, Japan)' marka elektronik apeks bulucu cihaz.
- 'Propex II (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)' marka elektronik apeks bulucu cihaz.
- 'Adaptive Apex Locator (Optica Laser, Sofia, Bulgaristan)' marka elektronik apeks bulucu cihaz.

3.2. Yöntem

3.2.1. Örnek Dişlerin Seçim Kriterleri

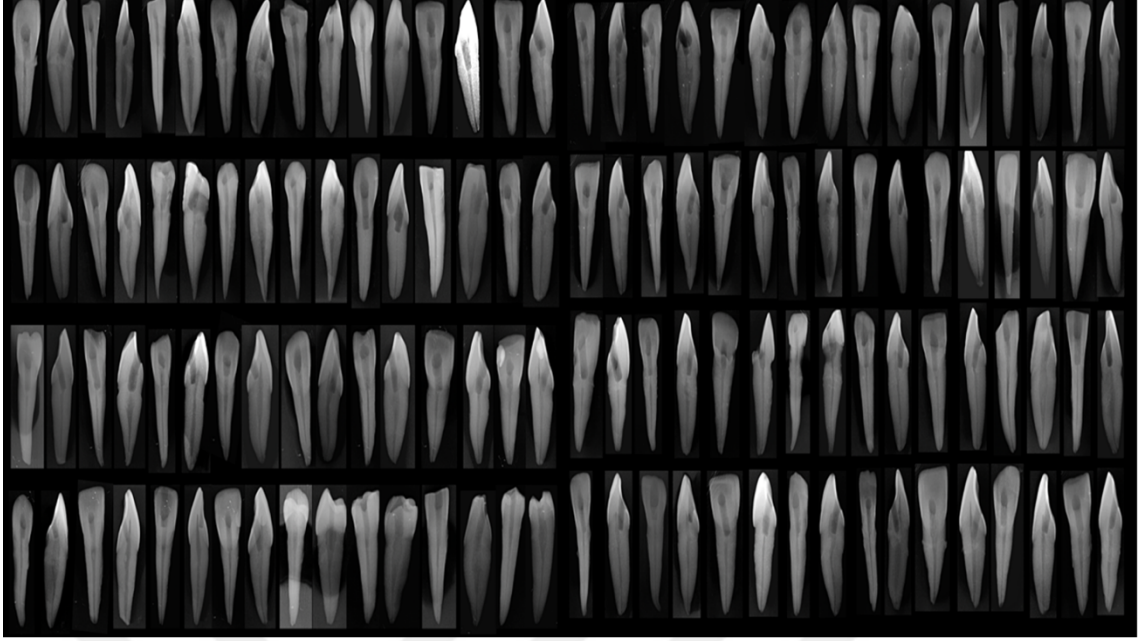
Çalışmada, İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı'ndan temin edinilen 64 adet üst kesici, kanin ve alt küçükazı dişleri kullanılmıştır. İlgili dişler; periodontal hastalık, protetik tedavi planlaması ve/veya ortodontik planlama sebebiyle çekilmişlerdir. Çalışmaya dâhil edilen dişlerin sahip olduğu seçim kriterleri, aşağıdaki şekilde sıralanmıştır;

- Kök ucu gelişiminin tamamlanmış olması,
- Kök kanallarının; tek adet, eğimsiz ve olabildiğince düz olması (Schneider tekniğine göre, eğim açısı $\leq 5^\circ$),
- Dişlerde kök kırığı veya rezorpsiyon olmaması,
- Önceden kök kanalı tedavisi görmemiş olması,
- Kök kanal açıklığının radyografide izlenebilir ve kalsifikasyon nedeniyle tıkanmamış olması.

Birden çok kanala sahip, eğimli kanalları olan, kök gelişimi tamamlanmamış, önceden kanal tedavisi başlanmış veya tamamlanmış, kırık ve çatlak ile iç ve/veya dış rezorpsiyon içeren, kök kanal açıklığının radyografide izlenemediği kalsifiye kanallı, restorasyon veya yaygın çürük bulunan ve ayrıca morfolojik şekil bozukluğu olan anomalili dişler çalışma dışında bırakılmıştır.

Dişler çalışmadan önce %10'uk konsantrasyona sahip formaldehid solüsyonu içinde, oda sıcaklığında saklanmış ve deneyden 8 saat önce, %5'lik sodyum hipoklorit solüsyonu içinde bekletilip daha sonra üzerindeki organik debris artıkları, periodontal küret yardımıyla uzaklaştırılmıştır.

Örnek dişlerin mesiodistal ve bukkolingual yönlerden radyografisi alınarak; kanal varyasyonları, kanal açıklığı, iç ve dış rezorpsiyonun olup olmadığı kontrol edilmiştir. Gerekli seçim kriterlerine sahip olmayan dişler çalışmaya dâhil edilmemiştir.



Şekil 3: Örnek dişlerin meziodistal ve bukkolingual yönden grafisi

3.2.2. Gerçek Kök Kanalı Çalışma Uzunluğunun Saptanması

Ölçüm sırasında net ve sabit bir referans yüzeyi elde etmek için dişler minesement sınırından karborandum separe disk ile kesilmiştir. Kanal ağzları belirlendikten sonra, 10 numaralı K – tipi eğe ile kanalda kalsifikasyon olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Her grup için 16 ve toplamda 64 adet diş kullandığımız çalışmada; A, B, C ve D olmak üzere dört adet grup oluşturulmuştur. 6.4x Loupe kullanılarak, 15 numaralı K – tipi eğe, kök kanalına yerleştirilmiş ve kök ucundan (majör apikal foramenden) görününe kadar ilerletilmiştir. Eğenin lastik rondeli, önceden düzleştirilen diş yüzeyine tam olarak temas ettirilerek, sabitlenmiştir. Daha sonra, kanaldan çıkarılan eğenin uç kısmı olan "D₀" noktasının lastik rondeli kadar olan mesafesi, dijital kumpas kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler 0,01 mm aralığındaki hassasiyette olacak şekilde yapılmıştır. Bu ölçümlerden 0,5 mm çıkartılarak, kök kanalının gerçek uzunluğu belirlenmiştir. Her bir diş için ölçüm üçer kez, aynı hekim tarafından tekrarlanmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınarak, kaydedilmiştir.

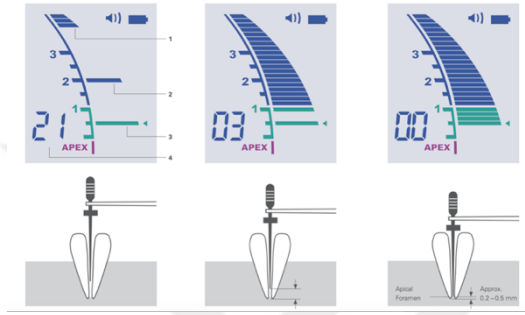
3.2.3. Belirlenen Apikal apların Oluşturulması ve Elektronik Apeks Bulucu ile Kök Kanalı alışma Uzunluğunun Saptanması

Dişler, her grupta 16 adet olacak şekilde rastgele ayrılmıştır. Crown-Down yöntemi ile şekillendirilen dişlerde, GrupA için 30 numara, K – tipi eğe ile 1 mm taşkın şekillendirme yapılarak 0,32 mm’lik; GrupB için 50 numara K tipi eğe ile 1 mm taşkın şekillendirme yapılarak 0,52 mm’lik; GrupC için 80 numara K – tipi eğer ile 1 mm taşkın şekillendirme yapılarak 0,82 mm’lik ve GrupD için ise 120 numara K tipi eğe ile 1 mm taşkın şekillendirme yapılarak 1,22 mm’lik apikal çap değerleri elde edinilmiştir. Dişler, Crown-Down yöntemi ile şekillendirilirken her eğe değişiminde kanallar, 2 ml hacminde ve %5’lik konsantrasyondaki sodyum hipoklorit solüsyonu ile 30 gauge çift yan delikli endodontik yıkama iğnesi kullanılarak yıkanmış ve ardından 2 ml distile su ile yıkanmış ve EDTA jeli uygulanmıştır. Final yıkama işlemi, 2 ml miktarındaki %5’lik sodyum hipoklorit çözeltisi kullanılarak, yandan perfore irrigasyon iğnesinin aşağı ve yukarı yönlerde hareket ettirilmesiyle tamamlanmıştır.

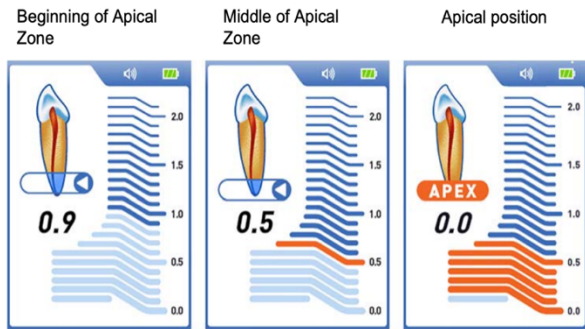
Elektronik lmler, aljinat içeren düzenek yardımıyla gerçekleştirilmiştir. rnek dişler, aljinat dolu kap içerisine, mine-sement birleşimine kadar 5 mm açıklık kalacak şekilde gmlmştir ve aynı anda EAB’nun metal klipsi de kabın içerisindeki aljinata yerleştirilmiştir. Bütün lmler, doğru ölçüm yapılabilmesi adına, aljinatın yeterli nemi barındırdığı, ilk yarım saatlik zaman dilimi içerisinde tamamlanmıştır. Elektronik lm öncesi, dişin kuronal bölümündeki yıkama solüsyonunun fazlası, pamuk peletlere emdirilerek elimine edilmiştir. Ölçümler, GrupA için 30; GrupB için 50; GrupC için 80 ve en son olarak da GrupD için 120 numara büyüklüğündeki, K tipi eğeler kullanılarak yapılmıştır.

Ölçümler esnasında, her grubun apikal çapına uygun byklğteki K tipi eğe kanala yerleştirilmiş ve cihazların ekranında, “0” noktasına varıldığının; Root ZX Mini için “00” ve Propex II için “0.0” sembollerinin görünmesi ve onlara eşlik eden solid nitelikli sinyallerin duyulmasıyla, eğe kanaldan çıkartılmıştır. Aynı uygulama, Adaptive Optica Laser adlı EAB cihaz için ise ekranda “foramen physiologicum” yazısının okunması ve “konuşan bir insan sesinin simülasyonu” şeklinde olan “apeks” sesi duyulana dek yapılmıştır (şekil 4, 5, 6). Ayrıca eğeler kanaldan çıkartılırken, dişe temas eden rondelin konumsal stabilitesinin korunması için, iki adet rondel kullanılmıştır. Eğenin u kısmının lastik rondele kadar olan uzunluğu, dijital kumpas

kullanılarak 0,01 mm hassasiyette olacak şekilde, ölçülmüştür. Her bir diş için ölçüm, üçer kez tekrarlanmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Ölçümler, eğerin “0” noktasında 5 saniye süresince sabit kaldığında, geçerli sayılmış ve kayıt altına alınmıştır. Dişlerde elektronik yöntemle ölçülen uzunluklar ‘Elektronik Apeks Bulucu ile Ölçülen Kök Kanalı Çalışma Boyu (EÇB)’olarak adlandırılmıştır. Sonrasında Root ZX Mini ile yapılan ölçümler ‘RZX’, Propex II ile yapılan ölçümler ‘PX’, Adaptive Optica Laser ile yapılan ölçümler ‘OL’olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4: Root ZX Mini Apex Kullanım Kılavuzu



Şekil 5: Propex II kullanım kılavuzu



Şekil 6: Adaptive Apex Locator (Optica Laser) kullanım kılavuzu

3.3. İstatistiksel Değerlendirme

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için IBM SPSS Statistics 22 programı kullanıldı. Çalışma verileri değerlendirilirken parametrelerin gruplar arası karşılaştırmalarında Ki-Kare testi ve Fisher Freeman Halton Exact Ki-kare testi kullanıldı. Anlamlılık $p<0.05$ düzeyinde değerlendirildi.



4. BULGULAR

Gruplar arasında RZX ölçümlerinin 0.5mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Gruplar arasında PX ölçümlerinin 0.5mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p:0.001$; $p<0.05$). Grup D'de (%93,7) 0.5mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan daha kısa ölçme oranları, Grup A (%0), Grup B (%6,3) ve Grup C'den (%62,5) anlamlı şekilde yüksekti. Grup C'de (%62,5) 0.5 mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan daha kısa ölçme oranları, Grup A (%0) ve Grup B'den (%6,3) anlamlı şekilde yüksekti.

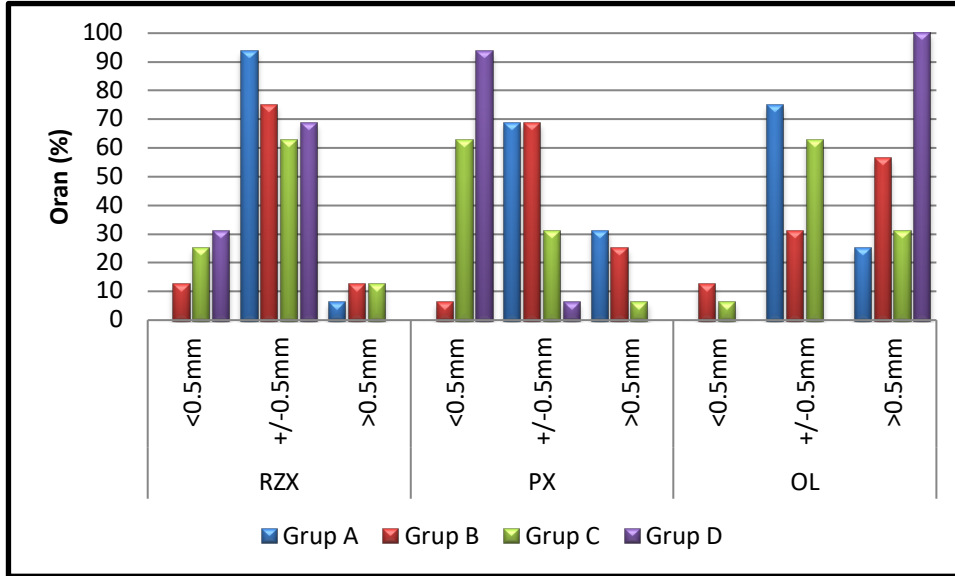
Gruplar arasında OL ölçümlerinin 0.5mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p:0.001$; $p<0.05$). Grup D'de (%100) 0.5mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan daha uzun ölçme oranları, Grup A (%25), Grup B (%56,3) ve Grup C'den (%31,2) anlamlı şekilde yüksekti.

Tablo 1: Gruplara göre gerçek çalışma boyuna göre ± 0.5 mm aralığındaki, 0.5mm'den kısa ve 0.5mm'den uzun ölçümlerin değerlendirilmesi

		Grup A	Grup B	Grup C	Grup D	p
		n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	
RZX	<0.5mm	0 (%0)	2 (%12,5)	4 (%25)	5 (%31,2)	0,189
	+/-0.5mm	15 (%93,7)	12 (%75)	10 (%62,5)	11 (%68,8)	
	>0.5mm	1 (%6,3)	2 (%12,5)	2 (%12,5)	0 (%0)	
PX	<0.5mm	0 (%0)	1 (%6,3)	10 (%62,5)	15 (%93,7)	0,001*
	+/-0.5mm	11 (%68,8)	11 (%68,7)	5 (%31,2)	1 (%6,3)	
	>0.5mm	5 (%31,2)	4 (%25)	1 (%6,3)	0 (%0)	
OL	<0.5mm	0 (%0)	2 (%12,5)	1 (%6,3)	0 (%0)	0,001*
	+/-0.5mm	12 (%75)	5 (%31,2)	10 (%62,5)	0 (%0)	
	>0.5mm	4 (%25)	9 (%56,3)	5 (%31,2)	16 (%100)	

Ki-kare test

* $p<0.05$



Grafik 1: Elektronik apeks bulucuların gerçek çalışma boyuna göre $\pm 0.5\text{mm}$ aralığındaki, 0.5mm 'den kısa ve 0.5mm 'den uzun ölçümlerin grafik ile gösterimi

Gruplar arasında RZX ölçümlerinin 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p > 0.05$).

Gruplar arasında PX ölçümlerinin 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p: 0.001$; $p < 0.05$). Grup D'de (%75) 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan daha kısa ölçme oranları, Grup A (%0), Grup B (%0) ve Grup C'den (%31,2) anlamlı şekilde yüksekti. Grup C'de (%31,2) 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan daha kısa ölçme oranları, Grup A (%0) ve Grup B'den (%0) anlamlı şekilde yüksekti.

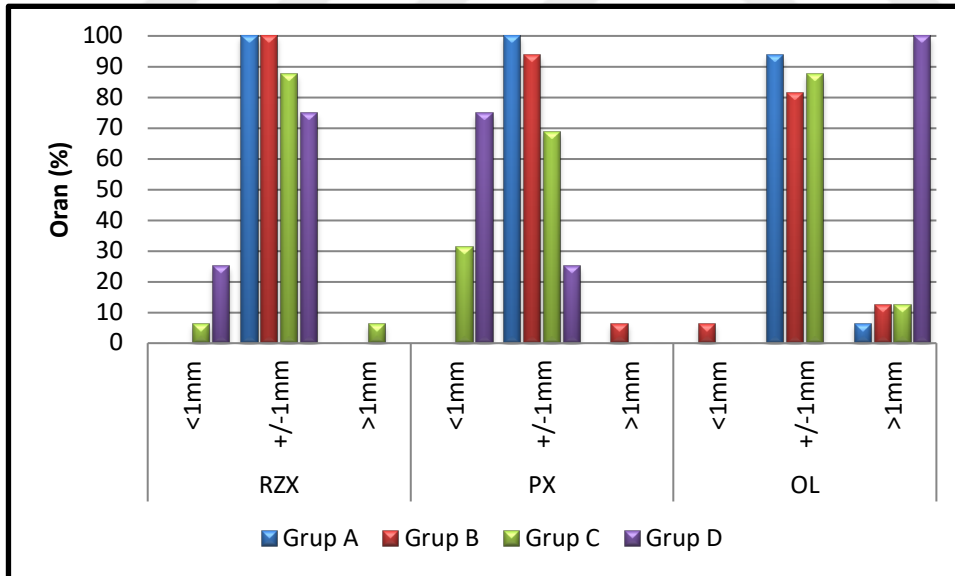
Gruplar arasında OL ölçümlerinin 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p: 0.001$; $p < 0.05$). Grup D'de (%100) 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan daha uzun ölçme oranları, Grup A (%6,3), Grup B (%12,5) ve Grup C'den (%12,5) anlamlı şekilde yüksekti.

Tablo 2: Gruplara göre gerçek çalışma boyuna göre ± 1 mm aralığındaki, 1mm'den kısa ve 1mm'den uzun ölçümlerin değerlendirilmesi

		Grup A	Grup B	Grup C	Grup D	p
		n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	
RZX	<1mm	0 (%0)	0 (%0)	1 (%6,3)	4 (%25)	0,054
	+/-1mm	16 (%100)	16 (%100)	14 (%87,5)	12 (%75)	
	>1mm	0 (%0)	0 (%0)	1 (%6,3)	0 (%0)	
PX	<1mm	0 (%0)	0 (%0)	5 (%31,2)	12 (%75)	0,001*
	+/-1mm	16 (%100)	15 (%93,7)	11 (%68,8)	4 (%25)	
	>1mm	0 (%0)	1 (%6,3)	0 (%0)	0 (%0)	
OL	<1mm	0 (%0)	1 (%6,3)	0 (%0)	0 (%0)	0,001*
	+/-1mm	15 (%93,7)	13 (%81,3)	14 (%87,5)	0 (%0)	
	>1mm	1 (%6,3)	2 (%12,5)	2 (%12,5)	16 (%100)	

Ki-kare test

* $p < 0.05$



Grafik 2: Elektronik apeks bulucuların gerçek çalışma boyuna göre ± 1 mm aralığındaki, 1mm'den kısa ve 1mm'den uzun ölçümlerin grafik ile gösterimi

Gruplar arasında RZX ölçümlerinin 0.5mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p > 0.05$).

Gruplar arasında PX ölçümlerinin 0.5mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p:0.001$; $p<0.05$). GrupD’de (%93,7) 0.5mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma oranları, GrupA (%31,2) ve GrupB’den (%31,2) anlamlı şekilde yüksekti. GrupC’de (%68,8) 0,5 mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma oranları, GrupA (%31,2) ve Grup B’den (%31,2) anlamlı şekilde yüksekti.

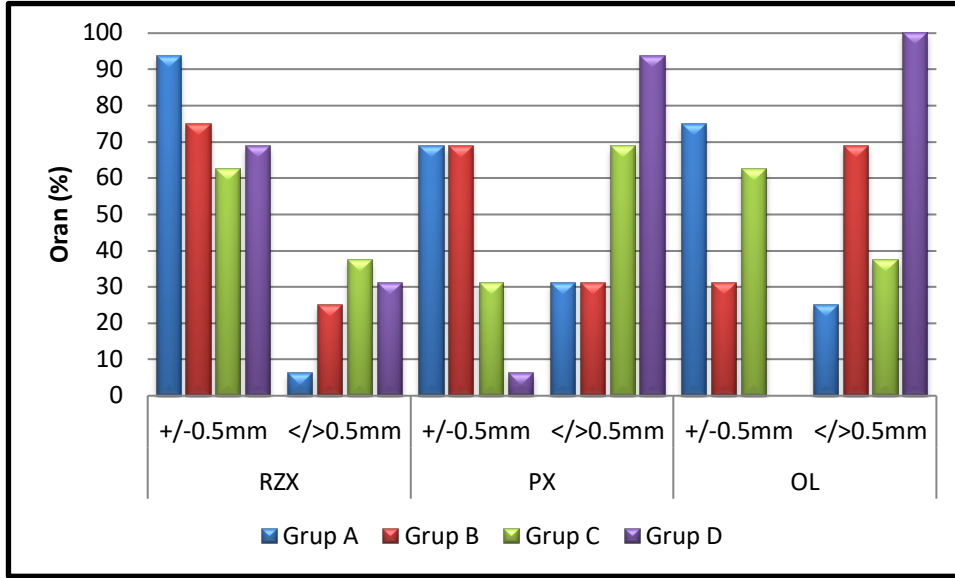
Gruplar arasında OL ölçümlerinin 0,5mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p:0.001$; $p<0.05$). GrupD’de (%100) 0,5mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma oranları, GrupA (%25), GrupB (%68,8) ve GrupC’den (%37,5) anlamlı şekilde yüksekti. GrupB’de (%68,8) 0,5mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma oranları, GrupA’dan (%25) anlamlı şekilde yüksekti.

Tablo 3: Gruplara göre gerçek çalışma boyuna göre ± 0.5 mm aralığındaki ölçümlerin değerlendirilmesi

		Grup A	Grup B	Grup C	Grup D	p
		n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	
RZX	+/-0.5mm	15 (%93,7)	12 (%75)	10 (%62,5)	11 (%68,8)	0,201
	</>0.5mm	1 (%6,3)	4 (%25)	6 (%37,5)	5 (%31,2)	
PX	+/-0.5mm	11 (%68,8)	11 (%68,8)	5 (%31,2)	1 (%6,3)	0,001*
	</>0.5mm	5 (%31,2)	5 (%31,2)	11 (%68,8)	15 (%93,7)	
OL	+/-0.5mm	12 (%75)	5 (%31,2)	10 (%62,5)	0 (%0)	0,001*
	</>0.5mm	4 (%25)	11 (%68,8)	6 (%37,5)	16 (%100)	

Fisher Freeman Halton Exact test

** $p<0.05$*



Grafik 3: Elektronik apeks bulucuların gerçek çalışma boyuna göre $\pm 0.5\text{mm}$ aralığındaki, 0.5mm 'den kısa ve 0.5mm 'den uzun ölçümlerin grafik ile gösterimi

Gruplar arasında RZX ölçümlerinin 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p:0.047$; $p<0.05$). GrupD'de (%25) 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma oranları, GrupA (%0) ve GrupB'den (%0) anlamlı şekilde yüksekti.

Gruplar arasında PX ölçümlerinin 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p:0.001$; $p<0.05$). GrupD'de (%75) 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma oranları, GrupA (%0), GrupB'den (%6,3) ve GrupC'den (%31,2) anlamlı şekilde yüksekti. GrupC'de (%31,2) 1 mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma oranları, GrupA'dan (%0) anlamlı şekilde yüksekti.

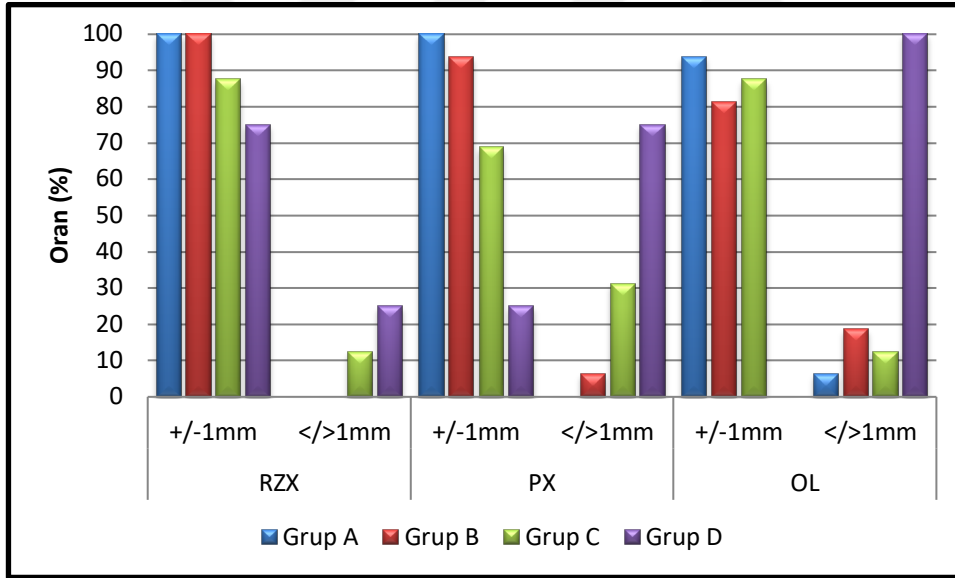
Gruplar arasında OL ölçümlerinin 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p:0.001$; $p<0.05$). GrupD'de (%100) 1mm güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma oranları, GrupA (%6,3), GrupB (%18,7) ve GrupC'den (%12,5) anlamlı şekilde yüksekti.

Tablo 4: Gruplara göre gerçek çalışma boyuna göre $\pm 1\text{mm}$ aralığındaki ölçümlerin değerlendirilmesi

		Grup A	Grup B	Grup C	Grup D	p
		n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	
RZX	$\pm 1\text{mm}$	16 (%100)	16 (%100)	14 (%87,5)	12 (%75)	0,047*
	$</>1\text{mm}$	0 (%0)	0 (%0)	2 (%12,5)	4 (%25)	
PX	$\pm 1\text{mm}$	16 (%100)	15 (%93,7)	11 (%68,8)	4 (%25)	0,001*
	$</>1\text{mm}$	0 (%0)	1 (%6,3)	5 (%31,2)	12 (%75)	
OL	$\pm 1\text{mm}$	15 (%93,7)	13 (%81,3)	14 (%87,5)	0 (%0)	0,001*
	$</>1\text{mm}$	1 (%6,3)	3 (%18,7)	2 (%12,5)	16 (%100)	

Fisher Freeman Halton Exact test

* $p < 0.05$



Grafik 4: Elektronik apeks bulucuların gerçek çalışma boyuna göre $\pm 1\text{mm}$ aralığındaki, 1mm'den kısa ve 1mm'den uzun ölçümlerin grafik ile gösterimi

5. TARTIŞMA

Kök kanal tedavisinin başarısı için, kök kanal tedavisinin apikal bölgedeki bitim sınırları önemli bir prognostik faktör olmaya devam etmektedir (195, 196, 197). Modern klinik endodontinin ilk bilimsel temelini atan Davis (62), kök kanalı tedavisi sonucunda başarı için periapikal dokunun korunmasının bir gereklilik olduğunu ve başarının dişin apikal bölgesinin dikkatli bir şekilde tedavi edilmesine bağlı olduğunu belirtmiştir. Modern klinik endodontinin temelini atıldığı yıllardan bu yana, apikal cerrahi sonucu elde edilen biyopsi, periapikal dokuları içeren endodontik tedavi görmüş çekilen dişler üzerinde yapılan birçok histolojik çalışma, bu gözlemi doğrulamıştır (63, 170, 64, 65, 67, 68).

Endodontik tedavi, genellikle birbirini takip eden ve dört adımı içeren bir dizi yol gösterici ilkeden oluşur, bu ilkeler; enstrümantasyon, irrigasyon, ilaç tedavisi ve obtürasyon olarak sıralanır. Tedavi başarısı; apikal periodontitisin önlenmesi ve/veya ortadan kaldırılması, hastalık semptomlarının giderilmesi olarak tanımlanır (53). Bu işlemlerden herhangi birindeki başarısızlık, tedavi sonucunu potansiyel olarak etkilerken, bu ilkelerin doğru bir şekilde uygulanabilmesi ilk aşamada çalışma boyunun doğru belirlenmesine bağlıdır (53, 56). Çalışma boyunun doğru belirlenmesinin, optimal iyileşmeye olan katkısı çok büyüktür. Bu hesaplamadaki doğruluk, endodontik tedavinin kendisine bağlı olarak apikal bölgede küçük bir yara yüzeyinin oluşması ayrıca iltihaplanma ve kanama kontrolü gibi faktörlerin de varlığı hesaba katıldığında, çok önemli bir vazgeçilmez olmaktadır. Bu yaklaşım periapikal dokuları, endodontik işlemler sırasında potansiyel olarak ortaya çıkabilecek malzeme ve enstrümantasyon irritasyonlarından koruyacaktır. Ayrıca bu yaklaşım sayesinde; tedavi sonrası oluşması beklenen sement, fizyolojik olarak, oldukça dar bir alanda daha hızlı bir şekilde oluşacak ve dolayısıyla minör ve majör foramenler arasındaki karışık histolojiye sahip dokunun metaplastik ve rejeneratif kabiliyetleri de korunacağı için periyodonsiyumu koruyacak olan bariyerin de yapımı hızlanacaktır (13, 61). Belirlenen çalışma uzunluğunun tedavinin başarısını doğruluğundan etkilendiği uzun dönem takip çalışmaları ile gösterilmiştir (196).

ÇB saptanması için kâğıt kon üzerindeki nem izini, apikal darlığın taktik olarak algılanmasını, dişin tahmini uzunluğunun bilinmesini, konvansiyonel ve dijital

radıyografı çekimini esas alan birçok teknik kullanılmıştır (1, 5, 13, 24, 28). Geleneksel olarak, kök kanalının anatomisi ve çevre dokular ile ilgili bilgi edinmek için en yaygın kullanılan yöntem radyografidir. Bununla birlikte, radyografik olarak çalışma boyu belirlemek çeşitli sınırlamalar içermektedir. Bu sınırlamalar arasında, radyasyona maruz kalma, yöntemin zaman alıcı olması ve genellikle anatomik yapılarla örtüşen 2-boyutlu bir görüntü nedeniyle yorumun zorluğu bulunmaktadır. Ayrıca, bu yöntem gözlemcinin yorumuna tâbi olduğundan, subjektif bir değerlendirme söz konusu olabilmektedir. EAB cihazlar, apikal daralımı tanımlamak ve çalışma boyunu belirlemek için radyografik yöneme alternatif olarak sunulmuştur (198, 24, 14).

EAB'lerin güvenilirliği, in vitro veya in vivo çalışmalarıyla değerlendirilebilir (199, 41, 149). Bu çalışmada, daha iyi standardizasyon ve farklı değişkenlerin objektif olarak test edilmesine olanak tanıdığı için in vitro araştırma tercih edilmiştir.

EAB'lerin klinik kullanımdan önce doğruluk açısından test edilmesi için ve öğretim amacıyla, güvenilir in vitro modellere ihtiyaç duyulmaktadır (159). Tüm elektronik apeks bulucular ile ilgili temel varsayım, insan dokularının, elektriksel bileşenlerinin kombinasyonu ile modellenen belirlı özelliklere sahip olmasıdır (76). Bu nedenle in vitro modeller, klinik durumun taklidi hedeflenerek test edilen dişlerin, periodonsiyumun elektriksel direncine benzer elektro-iletken materyallerinin içersine gömülmesi esasına dayanarak tasarlanmışlardır (15, 200, 201, 202).

Aljinat modelin yeterliliğinin test edildiği bir çalışmada, aljinat yüksek elastikiyete ve viskoziteye sahip kullanımı kolay uygun bir materyal olarak bildirilmiştir (203). Ortam materyali olarak agar, aljinat, jelatin, saline ve saline bandırılmış çiçek süngerinin karşılaştırıldığı başka bir çalışmada, materyaller arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olmamasına rağmen, aljinat gerçek çalışma uzunluğu ile en uyumlu sonuçları sağlamıştır (204). İn vitro modellerin yapısından kaynaklanan sınırlamalarının üstesinden gelmek amacıyla kullanılan aljinat kalıbın göreceli sertliği, diğer modellerle kaydedilen erken elektronik okumalardan sorumlu olan kanal içindeki sıvı hareketini engellediği bildirilmiştir (205, 141). Sıkı kıvamına rağmen, aljinat, iyonların dolaşımına izin veren bir jel olarak kalır. Jelatin ve agar modelleri ile yapılan çalışmalarda özellikle açık apeksli dişlerde, hatalı erken okumaların, ortam materyallerinin kök kanalına ilerlemesi kaynaklı bir problem olduğu bildirilmiştir (204). Tüm bu nedenler dolayısıyla, çalışmamızın apikal daralımın bozulduğu dişler üzerinde gerçekleşeceği göz önünde bulundurularak aljinat tercih edilmiştir. Aljinatin nem kaybını önlemek

amacıyla Lucena-Martin ve ark. (206) ile D'Assuncao ve ark. (207) çalışmalarını aljinatın hazırlanmasından sonraki 2 saat içerisinde tamamlarken, Lipski ve ark. (208) 30 dakika içerisinde tamamlamışlardır. Aljinatın dehidrate olarak elektro-iletkenliğinde kayıp yaşanmaması adına dişler nemli ve soğuk bir ortamda saklansa dahi ölçümler aljinatın sertleşmesinden 30 dakika sonra yapılırsa ölçüm güvenilirliği düşebileceği belirtilmiştir (207). Bu doğrultuda çalışmamızda, yoğun nem kaybını engellemek amacıyla aljinatın hazırlanmasını takiben 30 dk içerisinde EAB ile elektronik ölçümler tamamlanmıştır.

Bu çalışmada tüm diş tipleri için, major foramen ile AD arasındaki mesafenin yaklaşık olarak 0,5 – 1,0 mm olduğu kabul edilerek (27, 209, 78), loupe altında eğe major foramene kadar ilerletilip, referans uzunluktan 0,5 mm çıkarılarak gerçek ÇB elde edilmiştir.

Bazı yazarlar, EAB'leri kullanırken eğeyi major foramenin ilerisine taşımanın ve sonra geri çekmenin, EAB'lerin okumalarının doğruluğunu artırabileceğini bildirmişlerdir (164, 193). Bu nedenle ölçümü doğrulamak amacıyla eğe, foramenden <0,5 mm kadar ilerletilerek EAB'tan apeks ötesinde olduğu sinyali görüldü ve ardından tekrar geri çekilerek tutarlı apeks okuması elde edildi.

Elektronik apeks bulucuların doğruluğunun değerlendirildiği birçok çalışmada çalışma boyu ölçümlerinde paslanmaz çelik el eğeleri kullanılmıştır (46, 48, 45, 161). Gehlot ve ark. (210) yaptığı çalışmada, Root ZX ve Root ZX MINI ile birlikte paslanmaz çelik eğe kullanımının, Ni-Ti eğe kullanımına kıyasla daha doğru ölçüm sonucu gösterdiğini istatistiksel olarak anlamlı bir farkla bildirmiştir. Bu nedenle çalışmamızda, paslanmaz çelik el eğeleri ile ÇB ölçümleri yapılmıştır.

Gerçek kök kanal çalışma boyunun belirlenmesi sırasında çıplak gözle kök ucundan çıkan eğeyi görmek yetersiz kalabilmektedir. Eğenin konumunun büyütme altında daha net görülebilmesi gerçeği, çalışmalarda dental loupelerin veya dental operasyon mikroskobunun kullanılması gerekliliğini doğurmuştur (211, 212, 213, 214). Bizim çalışmamızda da gerçek kök kanal uzunlukları belirlenirken 6.4x büyütmeye sahip dental loupe kullanılmıştır.

EAB'lerin güvenilirliğinin değerlendirilmesinde farklı güven aralıkları referans alınmıştır. Bazı çalışmalar, apikal foramene $\pm 0,5$ mm mesafeyi kabul edilebilir sayarken (93, 215, 154) bazı çalışmalar ± 1 mm mesafeyi kabul edilebilir olarak tercih etmişlerdir (216, 155). $\pm 0,5$ mm'lik hata varyasyonu oldukça hassas bir aralık olduğu için apeks

bulucuları değerlendirirken bizim çalışmamızda hem $\pm 0,5\text{mm}$ hem de $\pm 1\text{ mm}$ tercih edilen güven aralığı olmuştur.

Birçok çalışma, EAB'lerin kök ucu gelişimi tamamlanmış, dişlerde çalışma uzunluğunu %75 ile %96,5 arasında doğru bir şekilde belirleyebildiğini göstermiştir (164, 217, 141, 218, 219). Başka klinisyenler tarafından yapılan çalışmalarda bu oran %35 ile %100 aralığında bildirilmiştir (48). Bizim çalışmamızda apikal daralımın bozulmadığı GrupA için Root ZX Mini (RZX) 0,5 mm güven aralığında %93,7 doğrulukla ölçüm yaparken, Propex II (PX) %68,8, Adaptive Apex Locator (OL) %75 oranında doğru ölçüm yapabilmektedir. Çalışmamızda yine GrupA için Root ZX Mini (RZX) 1 mm güven aralığında %100 doğrulukla ölçüm yaparken, Propex II (PX) %100 ve Adaptive Apex Locator (OL) %93,7 oranında doğru ölçüm yapmıştır. Zamanla bu cihazlar gelişse de onların ölçüm hassasiyetlerini azaltan faktörlerin varlığı sürmektedir. Bu faktörler; maksiller sinüs içindeki kökler, apikal foramen çap artışı, residüel kalsiyum-hidroksit bulunması, iletken sıvıların varlığı, C-kanal yapısı, retreatment ihtiyacı, kanal eğimindeki artış, servikal çürükler, metal kuronlar, pulpanın vitalite durumu ve periapikal lezyonlar şeklinde sayılabilir (33, 14, 220, 24, 30). EAB'lerin ölçüm hassasiyetlerini azaltan faktörlerin içinde özellikle apikal foramen çapındaki değişim ile ölçüm yapılan aletin büyüklüğü arasındaki ilinti, endodontik tedavi başarısını doğrudan etkileyen, güncel ve çok önemli bir konudur (40, 221).

6. Nesil olarak piyasaya sürülen Adaptive Apex Locator (Optica Laser, Sofya, Bulgaristan) ile yapılan tek ex vivo çalışmada ise diğeri dördüncü nesil (iPex II, NSK Nakanishi inc., Tokyo, Japonya) olan iki EAB cihazın, kuru kök kanalındaki ölçüm etkinliği kıyaslanmış ve aralarında fark saptanmamıştır. Bu nedenle, yapılan bu ex vivo çalışmanın amacı ek olarak; altıncı nesil bir EAB olan Optica Laser'ın ölçüm performansını, dört farklı çapta apikal foramenleri olan dişleri kullanarak, beşinci ve üçüncü nesil cihazların performansları ile kıyaslamak ve doğruluğunu saptamaktır. Bu kıyasları yaparken; üçüncü nesil olan Root ZX çalışmamıza özellikle dahil edilmiştir. Klinik toleransa ve kullanılan referans noktasına bağlı olarak %82-100 güvenilirlikle ölçüm yaptığı bildirilen Root ZX, aynı zamanda yeni çıkan EAB'lerin güvenilirlik değerlendirmesinde rehber alınan bir cihazdır (93, 145, 161).

Bizim çalışmamızda gruplar arasında RZX ölçümlerinin, $\pm 0,5\text{mm}$ güven aralığında gerçek çalışma boyundan sapma miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır. RZX $\pm 0,5\text{ mm}$ güven aralığında GrupA, GrupB,

GrupC, GrupD için sırasıyla %93,7, %75, %62,5, %68 oranında gerçek çalışma boyunu tespit edebilmiştir. RZX ölçümlerinin ± 1 mm güven aralığında GrupA, GrupB, GrupC, GrupD için sırasıyla; %100, %100 %87,5 ve %75 oranında gerçek çalışma boyunu tespit edilmiştir.

Kovacevic ve Tamarut (191) tarafından yapılan bir çalışmada, apikal foramen genişletmesinin 0,25 mm olduğu örneklerdeki ölçüm sonuçlarının doğruluğunun, 0,45 ve 0,7 mm'lik çap oranlarına kıyasla görece daha anlamlı olduğu belirlenmiştir. Cam tüpler kullanarak kanalları simüle eden veya apikal daralımın yok edildiği kanalları değerlendiren diğer yazarlar, 0,4 mm ve üzerindeki apikal açıklıkların, EAB'ların ölçüm etkinliğini azalttığını göstermişlerdir (192, 188). Root ZX'in farklı apikal çaplardaki ölçüm performansını inceleyen Herrera ve ark. (45) $\pm 0,5$ mm'lik bir hata aralığındaki doğruluğu, 0,6 mm'lik apikal çapta %87 oranında; 0,7 mm'lik çapta ise 45 numara veya daha büyük çaplı eğeler kullanıldığında %84 olarak rapor etmişlerdir. Herrera ve ark. (45) Root ZX'in; 0,6 mm'lik apikal çap için ege büyüklüğünden bağımsız olarak doğru ölçüm yaptığını; 0,7 ila 0,8 mm arasındaki apikal çaplar için eğelerin numarasının foramene göre ayarlanması gerektiğini; 0,9 mm'nin üzerindeki çaplarda ise doğru sonuç alabilmenin imkânsız olduğunu bildirmişlerdir.

Kolanu SK ve ark. (40) Propex Pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)'nin, 0,6, 0,7 ve 0,8 mm'lik apikal çaplardaki ölçüm etkinliğini incelemiş ve çap artışının, beşinci nesil bir cihazın bile ölçüm hassasiyetini azalttığını bulmuşlardır. Akisue E ve ark. (46) ise apikal çap artışının, MiniApex (SybronEndo Corp, Orange, CA), Root ZX II (J. Morita Mfg Corp, Kyoto, Japan) ve Elements Apex Locator (Sybron Endo Corp)'ın ölçüm hassasiyetini etkilemediğini bulmuşlardır. Fakat beklenilenin aksine, çap artışının dördüncü nesil bir cihaz olan iPex (NSK Inc, Kanuma, Japan) ile beşinci nesil bir cihaz olan Propex II (Dentsply Maillefer)'nin ölçüm etkinliğini azalttığını görmüşlerdir. Bizim çalışmamızda da Root ZX Mini tüm apikal çaplarda anlamlı fark oluşturmayacak düzeyde doğru ölçümler yapmıştır. Propex II ise GrupA ile GrupBde klinik olarak kabul edilebilir düzeyde ölçüm yapsa da GrupC ve GrupD de istatistiksel olarak anlamlı derece başarısız ölçüm yapmış ve çalışma boylarını kısa ölçme eğilimi göstermiştir.

Aydın ve ark. (41) dört farklı çaptaki 20'şer adet dişi G0, G32, G57, G72 olarak gruplandığı çalışmada; Root ZX ve Raypex 6 'nın bu dört farklı çapta ölçüm hassasiyetini incelemişlerdir. G57 ve G72 gruplarında iki apeks bulucu cihazın da

ölçüm hassasiyetinin önemli ölçüde azaldığını ancak Root ZX ve Raypex 6 arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığını bildirmişlerdir. Bizim çalışmamızda Root ZX Mini artan apikal çap boyutundan etkilense de anlamlı bir fark bulunamış ve tüm gruplarda başarılı ölçüm yapmıştır. Bizim çalışmamızda kullanılan 6. nesil olarak piyasaya sürülen Optica laser ise gruplar arasında anlamlı derecede farklı ölçümler yapmıştır. Artan apikal çap boyutu ile birlikte hassasiyetinde azalma olmuş ve taşkın ölçme eğilimi göstermiştir. Özellikle bu durum çalışmamızda, hiçbir doğru ölçüm sonucunun alınamadığı GrupD’de açıkça görülmektedir. EAB’ların apikal daralmayı belirlediği düşünüldüğünde bu sonuç, bu apikal daralmanın tamamen bozulmasıyla ilişkili olabilir. Büyük numaralı eğeler, kök kanallarının konik şeklini paralel bir konfigürasyona dönüştürür. Bu da hatalı okumaların bir nedeni olabilir. Ayrıca, ElAyouti ve ark. (222) belirttiği gibi, dentin duvarlarının elektro-iletkenliği, apikal dallanmaların varlığı da EAB’ların doğruluğunu etkileyebilir.

Bizim çalışmamızın aksine elektronik apeks bulucuların apikal çap değişiminden etkilenmediğini orada koyan çalışmalar da vardır. Shacham M ve ark. (47) ise, Apit 11 (Osada, Tokyo, Japan) adlı EAB’nun 0,6, 0,7 ve 0,8 mm’lik apikal çaplardaki ölçüm etkinliğinin, kanal aleti çapı ile foramen çapı uyumlu olduğunda değişmediğini görmüşlerdir. Ekici ve ak. (48) da yaptıkları bir çalışmada Raypex 5 (VDW), Raypex 6 (VDW), iPex (NSK) ve iPexII (NSK) adlı EAB’ların 0,27, 0,33 ve 0,39 mm’lik apikal çaplardaki ölçüm etkinliğini kıyaslamışlar ve altıncı, beşinci ve dördüncü nesil cihazların ölçüm hassasiyetleri arasında bir fark görmemişlerdir. Gene, Demir E ve ark. (49)’ınca yapılan bir in vitro çalışmada da beşinci nesil bir cihaz olan Propex II ile üçüncü nesil bir cihaz olan Root ZX Mini adlı EAB’lerin ölçüm hassasiyetleri arasında, apikal çap artışlarından kaynaklanan anlamlı bir fark saptanmamıştır.

Karuntanović ve ark. (32) yaptıkları bir in vitro çalışmada; Ipex II’nin ölçüm hassasiyetinin, Adaptive Apex Locator’ inkinden daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Ipex II nin ölçüm değerleri kontrol grubuna daha yakın ancak, bu ölçüm farkının istatistiksel olarak anlamlı olmaması nedeniyle her iki cihazın da yeterli doğrulukta ölçüm yapabildiğini ve klinik kullanıma uygun olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, yeni nesil apex locator örneklerinin her zaman eski nesillere kıyasla daha doğru olmadığı, bu çalışmada gösterilmiştir. Bizim çalışmamız da yapılan çalışmayı desteklemiş ve apikal daralmanın bozulmadığı GrupA için diğer apeks bulucularla arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Endodontik ÇB'yi belirlemede hiçbir teknik gerçekten tatmin edici değildir. Modern elektronik apeks bulucu cihazlar kök kanalı tedavisinin bitim konumunu yüksek bir doğrulukla belirlese de bazı yetersizlikleri vardır. Apikal anatomi bilgisi, radyografilerin dikkatli çekilmesi ve ayrıca EAB cihazların uygun ve doğru bir şekilde kullanılması, hekimlerin öngörülebilir sonuçlara ulaşmalarına yardımcı olacaktır. EAB'lerin güvenilirliğini etkileyebilen parametrelerin tespiti için daha fazla sayıda araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yetersizliklerin ve dezavantajların üstesinden gelmek ve hata oranını düşürmek için; in vitro ve ex vivo çalışma bulguları, klinik ve radyografik olarak uzun dönem takip edilen in vivo çalışma bulgularıyla desteklenmeli ve endodontik tedavinin başarısı üzerindeki rolü değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Mahmoud, Okba, et al. "Comparative evaluation of accuracy of different apex locators: Propex IQ, Raypex 6, Root ZX, and Apex ID with CBCT and periapical radiograph—in vitro study." *International Journal of Dentistry* 2021 (2021): 1-7.
2. Nasiri, Kaveh, and Karl-Thomas Wrbas. "Accuracy of different generations of apex locators in determining working length; a systematic review and meta-analysis." *The Saudi Dental Journal* 34.1 (2022): 11-20.
3. Özlek, Esin, and Mert Gökay Eroğlu. "Farklı Yıkama Sistemlerinin, Kanal Dolgu Materyalinin Kök Kanalına Bağlanma Dayanımı Üzerine Olan Etkisinin İn-Vitro Olarak İncelenmesi." *Van Tıp Dergisi* 23.3 (2016): 252-258.
4. De Camargo, Éricson Janolio, et al. "Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators." *Journal of Endodontics* 35.9 (2009): 1300-1302.
5. Genc Şen, Ozgur, and Ali Erdemir. "Endodontide çalışma boyu belirleme yöntemleri." *7tepe Klinik Dergisi* 14.2: 117-124.
6. Mosleh, Hamid, et al. "Electronic apex locator: A comprehensive literature review—Part I: Different generations, comparison with other techniques and different usages." *Dental Hypotheses* 5.3 (2014): 84-97.
7. Taneja, Sonali, et al. "Comparative evaluation of accuracy of three electronic apex locators in different simulated clinical conditions-an in vitro study." *Ann Med Health Sci Res* 7.3 (2017): 190-4.
8. Peker, Begum Unsal, et al. "Accuracy of working length measurement by Raypex 6: Electronic apex locator versus actual measurements under stereomicroscope." *Balkan Journal of Dental Medicine* 26.1 (2022): 15-21.
9. Wolf, Thomas Gerhard, et al. "Influence of embedding media on the accuracy of working length determination by means of apex locator: an ex vivo study." *Scientific reports* 11.1 (2021): 3340.
10. Singh, Pheiroijam Herojit, Ningthoukhongjam Rati Devi, and N. Sukumar Singh. "Comparison Between Accuracy of Two Different Electronic Apex Locators in Determining Working Length of Root Canals: An In Vitro

- Study." *International Journal Of Drug Research And Dental Science* 2.1 (2020): 14-17.
11. Erdoğan, A. Enes, and Bade Sonat. "Üç farklı apeks bulucunun NAOCI varlığında kanal çalışma boyu belirleme etkinliklerinin in vitro karşılaştırılması." *European Annals of Dental Sciences* 44.1 (2017): 15-26.
 12. Kuştarcı, Alper, Dilara Arslan, and Demet Altunbaş. "In vitro comparison of working length determination using three different electronic apex locators." *Dental research journal* 11.5 (2014): 568.
 13. Marek, Ewa, et al. "The influence of two forms of chlorhexidine on the accuracy of contemporary electronic apex locators." *BMC oral health* 20 (2020): 1-8.
 14. Asena, Okur, Tuğrul Aslan, and Burak Sağsen. "Farklı Kanal İçi Ortamların Apeks Bulucuların Doğruluğu Üzerine Etkisi." *Selcuk Dental Journal* 8.3: 859-867.
 15. Gordon, M. P. J., and N. P. Chandler. "Electronic apex locators." *International endodontic journal* 37.7 (2004): 425-437.
 16. Koç, Simay, Alper Kuştarcı, and Kürşat Er. "Accuracy of different electronic apex locators in determination of minimum Root perforation diameter." *Australian Endodontic Journal* 49 (2023): 179-186.
 17. Alamoudi, Ruaa A., et al. "The value of assessing case difficulty and its effect on endodontic iatrogenic errors: a retrospective cross-sectional study." *Libyan Journal of Medicine* 15.1 (2020).
 18. Khemka, Amit, et al. "Evaluation of canal curvature on accuracy of apex locator-An invitro study." *International Journal of Community Health & Medical Research* 5.4 (2019).
 19. Batista, Antonio, et al. "Ex vivo Analysis of Three Electronic Apex Locators Accuracy with Different Settings." *British Journal of Medicine and Medical Research* 16.11 (2016): 1-7.
 20. Yousuf, Waqas, Moiz Khan, and Hasan Mehdi. "Endodontic Procedural Errors: Frequency, Type of Error, and the Most Frequently Treated Tooth." (2015).
 21. Cimilli, Hale, et al. "Comparing the accuracy of four electronic apex locators for determining the minor diameter: An ex vivo study." *Journal of Dental Sciences* 8.1 (2013): 27-30.

22. Elsewify, Tarek. "Influence of irrigants on accuracy of iPex II and DentaPort ZX in working length determination." *Egyptian Dental Journal* 64.3-July (Fixed Prosthodontics, Dental Materials, Conservative Dentistry & Endodontics) (2018): 2827-2832.
23. Santos, Lucineide de Melo Santos, and José Ivo Limeira dos Reis. "Comparative analysis of the electronic and radiographic determination of root canal length of primary molars—an ex vivo study." *Brazilian Journal of Oral Sciences* 8.4 (2009): 189-192.
24. Kaval, Mehmet Emin, and Hicran Dönmez. "Elektronik Apeks Bulucular." (2013): 73-78.
25. Sübay, Rüstem Kemal, Özlem Kara, and Melike Ordulu Sübay. "Comparison of four electronic root canal length measurement devices." *Acta odontologica scandinavica* 75.5 (2017): 325-331.
26. Altunbas, D., et al. "Comparison of various current electronic apex locators to determine the working length using the clearing technique." *Nigerian journal of clinical practice* 18.3 (2015): 359-363.
27. 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* 17.4 (1984): 192-198.
28. Dubey, Nisha, Sanjeev Tyagi, and Raghvendra Kumar Vidua. "Advancement and role of electronic apex locators." *International Journal of Applied Dental Sciences* 6.2 (2020): 504-506.
29. Finkler, Timothy. "The Effect of Insulating K-Type Files on Accuracy and Reliability as Used in Two Electronic Apex Locators." (2011).
30. Shirazi, Zainab, Anas Al-Jadaa, and Abdul Rahman Saleh. "Electronic Apex Locators and their Implications in Contemporary Clinical Practice: A Review." *The Open Dentistry Journal* 17.1 (2023).
31. Tselnik, Marat, J. Craig Baumgartner, and J. Gordon Marshall. "An evaluation of root ZX and elements diagnostic apex locators." *Journal of endodontics* 31.7 (2005): 507-509.
32. Karuntanović, Tamara, et al. "In vitro comparison of the accuracy of two apex locators of different generations." *Acta Medica Medianae* 58.1 (2019): 28-32.
33. Alim, Betül Ayca. "Güncel Endodonti ve Restoratif Çalışmaları." (2020):23-32

34. Khadse, Amruta, et al. "Electronic apex locators-an overview." *Indian Journal of Conservative and Endodontics* 2.2 (2017): 35-40.
35. Budak, Nilay. "Elektronik Kök Kanal Uzunluğu Ölçüm Cihazları." *Aydın Dental Journal* 3.2 (2017): 49-60.
36. Khadse, Amruta, et al. "Electronic apex locators-an overview." *Indian Journal of Conservative and Endodontics* 2.2 (2017): 35-40.
37. Singh, Harpreet, and Pooja Kapoor. "Generations of apex locators: which generation are we in." *Stomatological Dis Sci* 3.4 (2019).
38. Srivastava, Vipul, et al. "Evaluation of the use of sixth generation apex locators as a diagnostic tool to detect root perforations." *International Journal of Dental and Medical Specialty* 2.4 (2015): 10-14.
39. Kaufman, Arie Y., and Senia Keila. "Conservative treatment of root perforations using apex locator and thermatic compactor—case study of a new method." *Journal of endodontics* 15.6 (1989): 267-272.
40. Kolanu, Sreeha Kaluva, et al. "Evaluation of Correlation Between apical Diameter and File Size Using Propex Pixi Apex Locator." *Journal of clinical and diagnostic research*: 8.12 (2014): 18-20.
41. Aydin, Ugur, et al. "In vitro evaluation of Root ZX and Raypex 6 in teeth with different apical diameters." *Journal of conservative dentistry*: 18.1 (2015): 66
42. Briseño-Marroquín, Benjamín, et al. "Influence of instrument size on the accuracy of different apex locators: an in vitro study." *Journal of endodontics* 34.6 (2008): 698-702.
43. Ebrahim, A. K., et al. "The effects of file size, sodium hypochlorite and blood on the accuracy of Root ZX apex locator in enlarged root canals: an in vitro study." *Australian Dental Journal* 51.2 (2006): 153-157.
44. Sadeghi, Shiva, and Masoomah Abolghasemi. "The effect of file size on the accuracy of the raypex 5 apex locator: an in vitro study." *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects* 2.1 (2008): 24.
45. Herrera, Manuela, et al. "Critical diameter of apical foramen and of file size using the Root ZX apex locator: an in vitro study." *Journal of endodontics* 37.9 (2011): 1306-1309.

46. Akisue, Eduardo, et al. "Not all electronic foramen locators are accurate in teeth with enlarged apical foramina: an in vitro comparison of 5 brands." *Journal of endodontics* 40.1 (2014): 109-112.
47. Shacham, Maayan, et al. "Accuracy and stability of electronic apex locator length measurements in root canals with wide apical foramen: an ex vivo study." *BDJ open* 6.1 (2020): 22.
48. Ekici, Mügem Aslı, Bağdagül Helvacıoğlu Kıvanç, and Adil Ekici. "Genişletilmiş apikal foramenlere sahip dişlerde multi-frekans elektronik apeks bulucuların doğruluğunun karşılaştırılması: ex vivo." *Acta Odontologica Turcica* 35.1 (2018): 17-22.
49. Demir, Ecehan, et al. "Farklı preparasyon genişliklerinde iki elektronik apeks bulucu cihazın doğruluğunun değerlendirilmesi." *Acta Odontologica Turcica* 32.2 (2015): 47-50.
50. Hülsmann, Michael, and Klaus Pieper. "Use of an electronic apex locator in the treatment of teeth with incomplete root formation." *Dental Traumatology* 5.5 (1989): 238-241.
51. Guimarães, Bruno Martini, et al. "Accuracy evaluation of three electronic apex locators in teeth with immature apices." *RSBO Revista Sul-Brasileira de Odontologia* 11.4 (2014): 382-386.
52. Öz, Hasan, Özkan Adıgüzel, and Sadullah Kaya. "Comparison of the accuracy of three different electronic apex locators used in root canals enlarged in different apical diameters." *International Dental Research* 11.Suppl. 1 (2021): 12-18.
53. Chugal, Nadia, et al. "Endodontic treatment outcomes." *Dental Clinics* 61.1 (2017): 59-80.
54. Molander, A., et al. "Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis." *International endodontic journal* 31.1 (1998): 1-7.
55. Sjögren, U., et al. "Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis." *International endodontic journal* 30.5 (1997): 297-306.
56. Ng, Y-L., V. Mann, and K. Gulabivala. "Tooth survival following non-surgical root canal treatment: a systematic review of the literature." *International endodontic journal* 43.3 (2010): 171-189.

57. Ricucci. "Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review." *International Endodontic Journal* 31.6 (1998): 384-393.
58. Katz, Alexander, Aviad Tamse, and Arie Y. Kaufman. "Tooth length determination: a review." *Oral surgery, oral medicine, oral pathology* 72.2 (1991): 238-242.
59. American Association of Endodontists. Glossary of endodontic terms. 10th ed. Chicago: American Association of Endodontics; 2020.
60. Ricucci, and Langeland. "Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study." *International endodontic journal* 31.6 (1998): 394-409.
61. Tınaz C. Endodonti. İçinde Alaçam T, editör. Bölüm:14 Kök Kanal Tedavisinde Çalışma Boyutunun Belirlenmesi. Ankara: Özyurt Matbaacılık; 2012. sf.515-528.
62. Davis, W. Clyde. "Pulpectomy vs. pulp extirpation." *Dental Items* 44 (1922): 81-100.
63. Blayney, J. R. "Present conception of vital reactions which occur within apical tissues after pulp removal." *The Journal of the American Dental Association* (1922) 16.5 (1929): 851-860.
64. Engström, B., and L. Spångberg. "Wound healing after partial pulpectomy. A histologic study performed on contralateral tooth pairs." *Odontologisk tidskrift* 75.1 (1967): 5-18.
65. Hatton, Edward H., William G. Skillen, and O. H. Moen. "Histologic findings in teeth with treated and filled root canals." *The Journal of the American Dental Association* (1922) 15.1 (1928): 56-60.
66. Nyborg, H., and B. Tullin. "Healing processes after vital extirpation. An experimental study of 17 teeth." *Odontologisk Tidskrift* 73.4 (1965): 430-446.
67. Seltzer, Samuel, et al. "Biologic aspects of endodontics: Part III. Periapical tissue reactions to root canal instrumentation." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 26.5 (1968): 694-705.
68. Seltzer, Samuel, et al. "Biologic aspects of endodontics: IV. Periapical tissue reactions to root-filled teeth whose canals had been instrumented short of their apices." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 28.5 (1969): 724-738.

69. Lin, Louis, et al. "Pulp biopsies from the teeth associated with periapical radiolucency." *Journal of endodontics* 10.9 (1984): 436-448.
70. Lin, L. M., P. Gaengler, and K. Langeland. "Periradicular curettage." *International Endodontic Journal* 29.4 (1996): 220-227.
71. Oguntebi, B., et al. "Predominant microflora associated with human dental periapical abscesses." *Journal of clinical microbiology* 15.5 (1982): 964-966.
72. Pascon, E. A., J. H. Introcaso, and K. Langeland. "Development of predictable periapical lesion monitored by subtraction radiography." *Endodontics & Dental Traumatology* 3.4 (1987): 192-208.
73. Langeland, K. "PatologõÂa pulpar y periapical." *Endodoncia. pp. 35q75. Barcelona, Spain: Springer-Verlag IbeÂrica, SA* (1995).
74. Grove, Carl J. "Why root canals should be filled to the dentinocemental junction." *The Journal of the American Dental Association* (1922) 17.2 (1930): 293-296.
75. Skillen, William G. "Why root canals should be filled to the dentinocemental junction." *The Journal of the American Dental Association* (1922) 17.11 (1930): 2082-2090.
76. Nekoofar, M. H., et al. "The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices." *International endodontic journal* 39.8 (2006): 595-609.
77. Ponce, Elías Harrán, and José Antonio Vilar Fernández. "The cemento-dentino-canal junction, the apical foramen, and the apical constriction: evaluation by optical microscopy." *Journal of endodontics* 29.3 (2003): 214-219.
78. Kuttler, Yury. "Microscopic investigation of root apexes." *The Journal of the American Dental Association* 50.5 (1955): 544-552.
79. Green, David. "A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 9.11 (1956): 1224-1232.
80. Weine, F. S., M. H. Smulson, and J. B. Herschman. "Endodontic therapy. ed." *St. Louis: Mosby* 640 (1996): 641.
81. Schaeffer, Michelle A., Robert R. White, and Richard E. Walton. "Determining the optimal obturation length: a meta-analysis of literature." *Journal of endodontics* 31.4 (2005): 271-274.

82. Coolidge, Edgar D. "Anatomy of the root apex in relation to treatment problems." *The Journal of the American Dental Association* (1922) 16.8 (1929): 1456-1465.
83. Ingle J Ti. Endodontics. Philadelphia: Lea&Febiger; 1985
84. Tınaz C. Kanal tedavisinde çalışma boyutu. Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi. 2001;18(1):31-37.
85. Stock, C. "Endodontics--position of the apical seal." *British dental journal* 176.9 (1994): 329.
86. Holland, Roberto, and Valdir de Souza. "Ability of a new calcium hydroxide root canal filling material to induce hard tissue formation." *Journal of Endodontics* 11.12 (1985): 535-543.
87. Stabholz, Adam, Ilan Rotstein, and Mahmoud Torabinejad. "Effect of preflaring on tactile detection of the apical constriction." *Journal of endodontics* 21.2 (1995): 92-94.
88. Philippas, George G. "Influence of occlusal wear and age on formation of dentin and size of pulp chamber." *Journal of Dental Research* 40.6 (1961): 1186-1198.
89. Leeb, Joel. "Canal orifice enlargement as related to biomechanical preparation." *Journal of Endodontics* 9.11 (1983): 463-470.
90. Seidberg, Bruce H., et al. "Clinical investigation of measuring working lengths of root canals with an electronic device and with digital-tactile sense." *The Journal of the American Dental Association* 90.2 (1975): 379-387.
91. Bergenholtz, Gunnar, Preben Hörsted-Bindslev, and Claes Reit, eds. *Textbook of endodontology*. John Wiley & Sons, 2013.
92. Castellucci, Arnaldo, ed. *Endodontics*. Vol. 2. Il Tridente (Firenze), 2005.
93. Hargreaves, Kenneth M., and Stephen Cohen. *Cohen's pathways of the pulp*. Elsevier, 2010.
94. Ingle, John I., Leif K. Bakland, and J. Craig Baumgartner. "Ingle's endodontics 6th ed." *United States of America: BC Decker* 1053 (2008).
95. Stock, Christopher JR, Kishor Gulabivala, and Richard T. Walker. "Endodontics." (2004).
96. Marcos-Arenal, Jose Luis, et al. "Evaluating the paper point technique for locating the apical foramen after canal preparation." *Oral Surgery, Oral*

- Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 108.5 (2009): e101-e105.
97. Brown, D. W. P. "Paper points revisited: risk of cellulose fibre shedding during canal length confirmation." *International endodontic journal* 50.6 (2017): 620-626.
 98. Gutmann, James L., and Paul E. Lovdahl. *Problem solving in endodontics: prevention, identification and management*. Elsevier Health Sciences, 2010.
 99. Rosenberg, David B. "The paper point technique. Part 1." *Dentistry today* 22.2 (2003): 80-86.
 100. Simon, Stephane, et al. "Apical limit and working length in endodontics." *Dental update* 36.3 (2009): 146-153.
 101. Nair, PN Ramachandran, et al. "Therapy-resistant foreign body giant cell granuloma at the periapex of a root-filled human tooth." *Journal of Endodontics* 16.12 (1990): 589-595.
 102. Koppang, Hanna Strømme, et al. "Cellulose fibers from endodontic paper points as an etiological factor in postendodontic periapical granulomas and cysts." *Journal of endodontics* 15.8 (1989): 369-372.
 103. Cohen, S., and R. Burns. "Pathways of the Pulp, ed 6th." *St Louis, Mosby-Year Book* (1994).
 104. American Association of Endodontists. Nomenclature Committee. *An annotated glossary of terms used in endodontics*. 1973.
 105. Olson, A. K., et al. "The ability of the radiograph to determine the location of the apical foramen." *International Endodontic Journal* 24.1 (1991): 28-35.
 106. Levy, A. B., and L. Glatt. "Deviation of the apical foramen from the radiographic apex." *Oral health* 62.6 (1972): 10.
 107. Pineda, Franklin, and Yury Kuttler. "Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 33.1 (1972): 101-110.
 108. Williams, Clayton B., Anthony P. Joyce, and Steven Roberts. "A comparison between in vivo radiographic working length determination and measurement after extraction." *Journal of endodontics* 32.7 (2006): 624-627.

109. ElAyouti, Ashraf, Roland Weiger, and Claus Löst. "Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length." *Journal of endodontics* 27.1 (2001): 49-52.
110. Tamse, A., I. Kaffe, and D. Fishel. "Zygomatic arch interference with correct radiographic diagnosis in maxillary molar endodontics." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 50.6 (1980): 563-565.
111. Dummer, P. M. H., and J. M. Lewis. "An evaluation of the Endometric Probe in root canal length estimation." *International endodontic journal* 20.1 (1987): 25-29.
112. Brettell, David S., et al. "The imaging performance of a storage phosphor system for dental radiography." *The British journal of radiology* 69.819 (1996): 256-261.
113. Scarfe, W. C., B. J. Potter, and A. G. Farman. "Effects of instruction on the knowledge, attitudes and beliefs of dental students towards digital radiography." *Dentomaxillofacial Radiology* 25.2 (1996): 103-108.
114. Orafi, I., et al. "The impact of different viewing conditions on radiological file and working length measurement." *International Endodontic Journal* 43.7 (2010): 600-607.
115. Khorasani, Mohammad Mahdi Yaghooti, and Hamed Ebrahimnejad. "Comparison of the accuracy of conventional and digital radiography in root canal working length determination: An invitro study." *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects* 11.3 (2017): 161.
116. Almeida, Solange Maria de, et al. "Image quality in digital radiographic systems." *Brazilian dental journal* 14 (2003): 136-171.
117. Bóscolo, Frab Norberto, et al. "Clinical study of the sensitivity and dynamic range of three digital systems, E-speed film and digitized film." *Brazilian dental journal* 12.3 (2001): 191-195.
118. Van Der Stelt, Paul F. "Better imaging: the advantages of digital radiography." *The Journal of the American Dental Association* 139 (2008): 7-13.
119. Custer, L. E. "Exact method of locating the apical foramen." *The Dental Register* 72.9 (1918): 420.
120. Suzuki, K. "Experimental study on iontophoresis." *Jpn J Stomatology* 16 (1942): 411-429.

121. Sunada, Imao. "New method for measuring the length of the root canal." *Journal of dental research* 41.2 (1962): 375-387.
122. Coombs Jr, Clyde F. *Electronic instrument handbook*. McGraw-Hill Education, 2000.
123. Hartov, Alexander, et al. "A multichannel continuously selectable multifrequency electrical impedance spectroscopy measurement system." *IEEE transactions on biomedical engineering* 47.1 (2000): 49-58.
124. Lazrak, Ahmed, Guy D. Griffin, and Paul C. Gailey. "Studying electric field effects on embryonic myocytes." *Biotechniques* 23.4 (1997): 736-741.
125. Van Driessche, Willy, et al. "Transepithelial capacitance decrease reveals closure of lateral interspace in A6 epithelia." *Pflügers Archiv* 437 (1999): 680-690.
126. Bridges, Jack E. "Non-perceptible body current ELF effects as defined by electric shock safety data." *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association* 23.7 (2002): 542-544.
127. Niple, J. C., et al. "A portable meter for measuring low frequency currents in the human body." *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association* 25.5 (2004): 369-373.
128. Gandhi, Om P. "Electromagnetic fields: human safety issues." *Annual review of biomedical engineering* 4.1 (2002): 211-234.
129. Meredith, Neil, and Kishor Gulabivala. "Electrical impedance measurements of root canal length." *Dental Traumatology* 13.3 (1997): 126-131.
130. Nekoofar, M. H., et al. "The accuracy of the Neosono Ultima EZ apex locator using files of different alloys: an in vitro study." *Journal of the California Dental Association* 30.9 (2002): 681-684.
131. Pommer, Oliver, Oliver Stamm, and Thomas Attin. "Influence of the canal contents on the electrical assisted determination of the length of root canals." *Journal of endodontics* 28.2 (2002): 83-85.
132. Tınaz, A. Cemal, et al. "The effects of sodium hypochloride concentrations on the accuracy of an apex locating device." *Journal of endodontics* 28.3 (2002): 160-162.

133. Foster, K. R., and H. P. Schwan. "Dielectric properties of tissues and biological materials: a critical review." *Critical Reviews in Biomedical Engineering* 17.1 (1989): 25-104.
134. Suchde, R. V., and S. T. Talim. "Electronic ohmmeter: an electronic device for the determination of the root canal length." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 43.1 (1977): 141-150.
135. Kobayashi, Chihiro. "Electronic canal length measurement." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 79.2 (1995): 226-231.
136. Kaufman, A. Y., S. Szajkis, and N. Niv. "The efficiency and reliability of the Dentometer for detecting root canal length." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 67.5 (1989): 573-577.
137. Tidmarsh, B. G., W. Sherson, and N. L. Stalker. "Establishing endodontic working length: a comparison of radiographic and electronic methods." *The New Zealand dental journal* 81.365 (1985): 93-96.
138. Jain, Priyanka. "Determination of working length." *Current Therapy in Endodontics* (2016): 87-110.
139. Keller, Michael E., Cecil E. Brown Jr, and Carl W. Newton. "A clinical evaluation of the Endocater—an electronic apex locator." *Journal of Endodontics* 17.6 (1991): 271-274.
140. Himel, Van T., and Richard N. Schott. "An evaluation of the durability of apex locator insulated probes after autoclaving." *Journal of Endodontics* 19.8 (1993): 392-394.
141. Fouad, Ashraf F., et al. "A clinical evaluation of five electronic root canal length measuring instruments." *Journal of Endodontics* 16.9 (1990): 446-449.
142. Czerw, Russell J., et al. "In vitro evaluation of the accuracy of several electronic apex locators." *Journal of endodontics* 21.11 (1995): 572-575.
143. De Moor, R. J., et al. "Accuracy of four electronic apex locators: an in vitro evaluation." *Endodontics & dental traumatology* 15.2 (1999): 77-82.
144. Himel, V. T., and C. Cain. "An evaluation of two electronic apex locators in a dental student clinic." *Quintessence international (Berlin, Germany: 1985)* 24.11 (1993): 803-806.

145. Pagavino, Gabriella, Riccardo Pace, and Tiziano Baccetti. "A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator." *Journal of Endodontics* 24.6 (1998): 438-441.
146. Stoll, R., et al. "Effectiveness of four electronic apex locators to determine distance from the apical foramen." *International Endodontic Journal* 43.9 (2010): 808-817.
147. Stare, Z., J. Šutalo, and N. Galic. "The effect of apical foramen and electrode diameter on the accuracy of electronic root canal measuring devices." *8TH International conference on measurement in clinical medicine, Croatia*. 1998.
148. Saito, T., and Y. Yamashita. "Electronic determination of root canal length by newly developed measuring device. Influences of the diameter of apical foramen, the size of K-file and the root canal irrigants." *Dentistry in Japan* 27.1 (1990): 65-72.
149. Frank, Alfred L., and Mahmoud Torabinejad. "An in vivo evaluation of Endex electronic apex locator." *Journal of Endodontics* 19.4 (1993): 177-179.
150. Tınaz, Cemal, and Tansev Mihçioğlu. "Elektrik ileten ana kon guta perkanın in vitro ve in vivo doğruluğunun incelenmesi." *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 17.2 (2000): 23-29.
151. Kobayashi, C., et al. "New practical model of the division method electronic root canal length measuring device." *J Jpn Endodon Assoc* 12 (1991): 143-148.
152. Kobayashi, Chihiro, and Hideaki Suda. "New electronic canal measuring device based on the ratio method." *Journal of Endodontics* 20.3 (1994): 111-114.
153. B.L. Product Manager Diagnostic Products. In. Anaheim, CA, USA: Sybron Endo; 2003.
154. Stöber, Eva K., et al. "An evaluation of root ZX and iPex apex locators: an in vivo study." *Journal of endodontics* 37.5 (2011): 608-610.
155. Ounsi, H. F., and A. Naaman. "In vitro evaluation of the reliability of the Root ZX electronic apex locator." *International endodontic journal* 32.2 (1999): 120-123.
156. Hoer, D., and T. Attin. "The accuracy of electronic working length determination." *International endodontic journal* 37.2 (2004): 125-131.
157. Kim, Euseong, and Seung-Jong Lee. "Electronic apex locator." *Dental clinics of North America* vol. 48,1 (2004): 35-54.

158. Kaufman, A. Y., S. Keila, and M. Yoshpe. "Accuracy of a new apex locator: an in vitro study." *International endodontic journal* 35.2 (2002): 186-192.
159. Tinaz, Ali Cemal et al. "The accuracy of three different electronic root canal measuring devices: an in vitro evaluation." *Journal of oral science* vol. 44,2 (2002): 91-95
160. Kara Ö. İrrigasyon Solüsyonlarının Çalışma Boyu Saptanmasında Kullanılan Elektronik Kök Kanal Uzunluğu Ölçüm Cihazlarının Doğrulukları Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi. İstanbul: Endodonti, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü; 2016.
161. Plotino, G., et al. "Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator and ProPex." *International Endodontic Journal* 39.5 (2006): 408-414.
162. Bonilla, Maria, et al. "Accuracy of a new apex locator in ex-vivo teeth using scanning electron microscopy." *Endod Pract* 16 (2014): 14-20.
163. Dimitrov, Slavcho, and Dimitur Roshkev. "Sixth generation adaptive apex locator." *Journal of IMAB-Annual Proceeding (Scientific Papers)* 15.2009 (2009): 75-78.
164. Dunlap, Craig A., et al. "An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals." *Journal of Endodontics* 24.1 (1998): 48-50.
165. Mayeda, David Lee, et al. "In vivo measurement accuracy in vital and necrotic canals with the Endex apex locator." *Journal of endodontics* 19.11 (1993): 545-548.
166. Akisue, Eduardo, Giulio Gavini, and Jose Antonio Poli de Figueiredo. "Influence of pulp vitality on length determination by using the Elements Diagnostic Unit and Apex Locator." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 104.4 (2007): e129-e132.
167. Inoue, Noboru, and D. H. Skinner. "A simple and accurate way of measuring root canal length." *Journal of Endodontics* 11.10 (1985): 421-427.
168. Fan, W., et al. "Evaluation of the accuracy of three electronic apex locators using glass tubules." *International endodontic journal* 39.2 (2006): 127-135.
169. Özsezer, Ebru, Uğur İnan, and Uğur Aydın. "In vivo evaluation of ProPex electronic apex locator." *Journal of endodontics* 33.8 (2007): 974-977.

170. Duran-Sindreu, F., et al. "In vivo evaluation of the iPex and Root ZX electronic apex locators using various irrigants." *International endodontic journal* 46.8 (2013): 769-774.
171. Wrbas, K. T., et al. "In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators." *International Endodontic Journal* 40.2 (2007): 133-138.
172. Diemer, Franck, et al. "Effect of sodium hypochlorite concentration on electronic apex locator reliability." *Materials* 15.3 (2022): 863.
173. Çınar, Firdevs, and Yakup Üstün. "Ex Vivo evaluation of the accuracy of 3 electronic apex locators in different environments: a micro-computed tomography study." *European endodontic journal* 5.3 (2020): 226.
174. Al-Hadlaq, Solaiman M. "Effect of chloroform, orange solvent and eucalyptol on the accuracy of four electronic apex locators." *Australian Endodontic Journal* 39.3 (2013): 112-115.
175. Uzunoglu, Emel, et al. "Calcium hydroxide dressing residues after different removal techniques affect the accuracy of Root-ZX apex locator." *Restorative dentistry & endodontics* 40.1 (2015): 44-49.
176. Ustun, Yakup, et al. "The effect of residual calcium hydroxide on the accuracy of a contemporary electronic apex locator." *Acta Odontologica Scandinavica* 73.2 (2015): 132-136.
177. Ebrahim, Aqeel K., Reiko Wadachi, and Hideaki Suda. "Accuracy of three different electronic apex locators in detecting simulated horizontal and vertical root fractures." *Australian Endodontic Journal* 32.2 (2006): 64-69.
178. Goldberg, Fernando, et al. "The evaluation of four electronic apex locators in teeth with simulated horizontal oblique root fractures." *Journal of endodontics* 34.12 (2008): 1497-1499.
179. Alhadainy, Hatem A. "Root perforations: A review of literature." *Oral surgery, oral medicine, oral pathology* 78.3 (1994): 368-374.
180. Kaufman, A Y. "The sono-explorer as an auxiliary device in endodontics." *Refu'at ha-peh vеха-shinayim (Tel Aviv, Israel : 1969)* vol. 25,3 (1976): 27-31, 23-6.

181. D'Assunção, Fábio Luiz Cunha, et al. "Accuracy and repeatability of 3 apex locators in locating root canal perforations: an ex vivo study." *Journal of endodontics* 40.8 (2014): 1241-1244.
182. Kaufman, A. Y., et al. "Reliability of different electronic apex locators to detect root perforations in vitro." *International endodontic journal* 30.6 (1997): 403-407.
183. Moghaddam, Kiumars Nazari, et al. "In vitro detection of simulated apical root perforation with two electronic apex locators." *Iranian Endodontic Journal* 5.1 (2010): 23.
184. Li, Yue-Heng, et al. "Accuracy of three different electronic apex locators in determination of perforation with various conditions in vitro." *Hua xi kou qiang yi xue za zhi= Huaxi kouqiang yixue zazhi= West China journal of stomatology* 29.3 (2011): 272-275.
185. Thomas, Anthony S., Gary R. Hartwell, and Peter C. Moon. "The accuracy of the Root ZX electronic apex locator using stainless-steel and nickel-titanium files." *Journal of endodontics* 29.10 (2003): 662-663.
186. Beach, Curt W., J. Douglas Bramwell, and Jeffrey W. Hutter. "Use of an electronic apex locator on a cardiac pacemaker patient." *Journal of endodontics* 22.4 (1996): 182-184.
187. Garofalo, Raphael R., et al. "Effect of electronic apex locators on cardiac pacemaker function." *Journal of endodontics* 28.12 (2002): 831-833.
188. Huang, Lizi. "An experimental study of the principle of electronic root canal measurement." *Journal of endodontics* 13.2 (1987): 60-64.
189. Mente, J., et al. "Electronic determination of root canal length in primary teeth with and without root resorption." *International Endodontic Journal* 35.5 (2002): 447-452.
190. Tosun, G., et al. "Accuracy of two electronic apex locators in primary teeth with and without apical resorption: a laboratory study." *International endodontic journal* 41.5 (2008): 436-441.
191. Kovačević, Maja, and Tomislav Tamarut. "Influence of the concentration of ions and foramen diameter on the accuracy of electronic root canal length measurement—An experimental study." *Journal of endodontics* 24.5 (1998): 346-351.

192. Cheng, Lei, Qin Su, and Y. X. Huang. "In vitro evaluation of correlation between the size of apical foramen and the accuracy of root ZX." *Hua xi kou Qiang yi xue za zhi= Huaxi Kouqiang Yixue Zazhi= West China Journal of Stomatology* 26.1 (2008): 56-59.
193. Lee, Seung Jong, et al. "Clinical accuracy of a new apex locator with an automatic compensation circuit." *Journal of Endodontics* 28.10 (2002): 706-709.
194. Nguyen, H. Q., et al. "Electronic length measurement using small and large files in enlarged canals." *International Endodontic Journal* 29.6 (1996): 359-364.
195. Kojima, Koko, et al. "Success rate of endodontic treatment of teeth with vital and nonvital pulps. A meta-analysis." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 97.1 (2004): 95-99.
196. Ng, Y-L., et al. "Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature—Part 2. Influence of clinical factors." *International endodontic journal* 41.1 (2008): 6-31.
197. Sjögren, U. L. F., et al. "Factors affecting the long-term results of endodontic treatment." *Journal of endodontics* 16.10 (1990): 498-504.
198. Serna-Peña, Gabriela, et al. "In vivo evaluation of 3 electronic apex locators: Root ZX Mini, Apex ID, and Propex Pixi." *Journal of endodontics* 46.2 (2020): 158-161.
199. Nahmias, Yosef, James A. Aurelio, and Harold Gerstein. "An in vitro model for evaluation of electronic rootcanal length measuring devices." *Journal of endodontics* 13.5 (1987): 209-214.
200. Aurelio, James A., Yosef Nahmias, and Harold Gerstein. "A model for demonstrating an electronic canal length measuring device." *Journal of endodontics* 9.12 (1983): 568-569.
201. Donnelly, Jerome C. "A simplified model to demonstrate the operation of electronic root canal measuring devices." *Journal of endodontics* 19.11 (1993): 579-580.
202. Katz, A., A. Y. Kaufman, and S. Szajkis. "An in vitro model for testing the accuracy of apex locators." *Revue Francaise Dendodontie* 11 (1992): 67.
203. Keila, S., et al. "RS 34 morphometric analysis of working length determined by impedance type apex locators." *Journal of Endodontics* 20.4 (1994): 196.

204. Baldi, Járcio V., et al. "Influence of embedding media on the assessment of electronic apex locators." *Journal of endodontics* 33.4 (2007): 476-479.
205. Czerw, Russell J., Michael S. Fulkerson, and Jerome C. Donnelly. "An in vitro test of a simplified model to demonstrate the operation of electronic root canal measuring devices." *Journal of Endodontics* 20.12 (1994): 605-606.
206. Lucena-Martin, C., et al. "In vitro evaluation of the accuracy of three electronic apex locators." *Journal of Endodontics* 30.4 (2004): 231-233.
207. DAssunção, Fábio Luiz Cunha, Diana Santana de Albuquerque, and Linalda Correia de Queiroz Ferreira. "The ability of two apex locators to locate the apical foramen: an in vitro study." *Journal of endodontics* 32.6 (2006): 560-562.
208. Lipski, Mariusz, et al. "Evaluation of alginate as a substitute for root-surrounding tissues in electronic root canal measurements." *Australian Endodontic Journal* 39.3 (2013): 155-158.
209. Green, David. "Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 13.6 (1960): 728-733.
210. Gehlot, Paras Mull, Vinutha Manjunath, and Mysore Krishnaswamy Manjunath. "An in vitro evaluation of the accuracy of four electronic apex locators using stainless-steel and nickel-titanium hand files." *Restorative dentistry & endodontics* 41.1 (2016): 6-11.
211. Bernardes, Ricardo Affonso, et al. "Evaluation of precision of length determination with 3 electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator, and RomiAPEX D-30." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 104.4 (2007): e91-e94.
212. Guise, George M., Gary G. Goodell, and Glen M. Imamura. "In vitro comparison of three electronic apex locators." *Journal of endodontics* 36.2 (2010): 279-281.
213. Hör, David, S. Krusy, and T. Attin. "Ex vivo comparison of two electronic apex locators with different scales and frequencies." *International endodontic journal* 38.12 (2005): 855-859.
214. Uzun, Orhan, et al. "Accuracy of two root canal length measurement devices integrated into rotary endodontic motors when removing gutta-percha from root-filled teeth." *International Endodontic Journal* 41.9 (2008): 725-732.

215. Meares, W. Anthony, and H. Robert Steiman. "The influence of sodium hypochlorite irrigation on the accuracy of the Root ZX electronic apex locator." *Journal of endodontics* 28.8 (2002): 595-598.
216. Gutmann, J. L., and J. E. Leonard. "Problem solving in endodontic working-length determination." *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ: 1995)* 16.3 (1995): 288-290.
217. Felipe, M. C. S., and I. J. Soares. "In vitro evaluation of an audiometric device in locating the apical foramen of teeth." *Dental Traumatology* 10.5 (1994): 220-222.
218. Goldberg, Fernando. "Evaluación clínica del Root ZX en la determinación de la conductometría." *Rev. Asoc. Odontol. Argent* (1995): 180-182.
219. McDonald, N. J., and Eric J. Hovland. "An evaluation of the apex locator Endocater." *Journal of endodontics* 16.1 (1990): 5-8.
220. Khadse, Amruta, et al. "Electronic apex locators-an overview." *Indian Journal of Conservative and Endodontics* 2.2 (2017): 35-40.
221. Nam, Juhee, et al. "Variations in the morphology of apical constriction affecting electronic readings: An in vitro investigation using 3D-printed tooth models." *Australian Endodontic Journal* 49 (2023): 245-252.
222. ElAyouti, A., et al. "Determining the apical terminus of root-end resected teeth using three modern apex locators: a comparative ex vivo study." *International Endodontic Journal* 38.11 (2005): 827-833.

ETİK KURUL KARARI

Tarih ve Sayı: 03.01.2023-1526795



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DIŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
KLINİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU



Sayı: 619

27.12.2022

Konu: Dr.Öğretim Üyesi Emir DİNÇOL

Dr.Öğretim Üyesi Emir DİNÇOL

Endodonti Anabilim Dalı

İlgi: İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalının
18.11.2022 gün ve 1391164 sayılı yazısı.

Sorumlu araştırmacılığını üstlendiğiniz 2022/47 REV-1 dosya nolu " Değişik Apeks Bulucunun Farklı Çaptaki Apikal Foramenleri olan Dişlerdeki Ölçme Etkinliğinin İncelenmesi: ex vivo bir çalışma " başlıklı çalışma kurulumuzun 27/12/2022 tarih ve 136 sayılı toplantısında görüşülerek etik yönden uygun bulunmuş ve tutanaklar ekte sunulmuştur.

Bilgilerinizi rica ederim.

Prof. Dr. Funda YALÇIN

İ.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Klinik
Araştırmalar Etik Kurul Başkanı

E-imzalı

Eki: İ.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Araştırmaları Etik Kurulu Karar Formu