



T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI



**FARKLI APİKAL ÇAPLARDA GENİŞLETİLEN
KÖK KANALLARINDA KULLANILAN ÜÇ FARKLI
ELEKTRONİK APEKS BULUCUNUN
DOĞRULUĞUNUN KARŞILAŞTIRILMASI**

Dt. Hasan ÖZ

UZMANLIK TEZİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Prof. Dr. Özkan ADIGÜZEL

DİYARBAKIR

2020

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 eklediğimi, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve tezimi Dicle Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu standartlarına uygun bir şekilde hazırladığımı beyan ederim.

09/11/2020

Hasan ÖZ

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca hem klinik tecrübesiyle hem de akademik bilgisiyle yol gösterici olan ve tez çalışmam süresince her konuda yardımını esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Özkan ADIGÜZEL'e,

Uzmanlık eğitimimin verimli, disiplinli ve prensipli başlamasına vesile olan Dr. Öğr. Üyesi M. Sinan OCAK'a

Eğitimim süresince emeği geçen, her daim bilgi ve tecrübesine ihtiyaç duyduğum ve faydalandığım değerli hocalarım; Prof. Dr. Sadullah KAYA, Dr. Öğr. Üyesi Merve YENİÇERİ ÖZATA'ya,

Maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen eşim Dt. Aysun ALTAŞ ÖZ ve oğlum Emir'e,

Emekleri üzerimde fazlasıyla olan babam Burak ÖZ, annem Esma ÖZ ve kardeşlerim Halime ve Hatice'ye,

Her konuda desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım; Dt. Haluk GÖREN, Dt. Güliz Rana TELLİOĞLU AVCI, Dt. Ahmet AKAY ve Dt. Ferhat ÇOBANCI'ya,

Anabilim dalındaki asistan arkadaşlarıma ve klinik personellerine;

En içten dileklerimle sonsuz teşekkürlerimi sunarım...

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	i
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR ve SİMGELER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
RESİMLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
ÖZET.....	1
ABSTRACT	3
1. GİRİŞ ve AMAÇ	5
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. Apikal Foramenin Anatomisi	7
2.2. Çalışma Uzunluğunun Önemi	10
2.3. Kanal Boyu Tespitinde Kullanılan Yöntemler.....	11
2.3.1. Parmak hassasiyeti	11
2.3.2. Radyografik yöntem.....	12
2.3.3. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KİBT)	13
2.3.4. Elektronik yöntem.....	13
2.4. Elektronik Apeks Bulucular ve Çalışma Mekanizmaları.....	14
2.4.1. Atom ve yapısı	15
2.4.2. İyonlar ve elektrolit.....	15
2.4.3. Elektrik yükü, gerilim ve akım	16
2.4.4. Direnç.....	16
2.4.5. Elektrik devreleri ve insan vücudu.....	17
2.4.6. Ohm kanunu	18
2.4.7. Doğru akım ve alternatif akım	18
2.4.8. Kapasitörler	19
2.4.9. Empedans ve ölçümü	20
2.4.10. Diş dokusunun elektriksel özellikleri.....	21
2.5. Elektronik Apeks Bulucuların Tarihçesi ve Gelişimi	23
2.5.1. Birinci nesil rezistans tipi elektronik apeks bulucular	24

2.5.2. İkinci nesil empedans tipi elektronik apeks bulucular	25
2.5.3. Üçüncü nesil frekans tipi elektronik apeks bulucular	26
2.5.4. Dördüncü nesil orantı tipi elektronik apeks bulucular	27
2.6. Elektronik Apeks Bulucuların Doğruluğunu Etkileyen Faktörler.....	28
2.6.1. Pulpanın canlılığı.....	28
2.6.2. Süt dişleri.....	29
2.6.3. Apikal kök rezorpsiyonu	30
2.6.4. Perforasyonlar	30
2.6.5. Kök kırıkları	31
2.6.6. Elektrik ileten solüsyonlar.....	32
2.6.7. Kanal aletinin metal tipi	33
2.6.8. Elektromanyetik alanların etkisi.....	34
2.6.9. Apikal çap ve kanal aletinin büyüklüğü	35
2.7. Elektronik Apeks Bulucu Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları.....	37
2.7.1. Avantajları	37
2.7.2. Dezavantajları.....	37
2.8. Elektronik Apeks Bulucularla İlgili Çalışmalar	38
2.8.1. İn vivo	38
2.8.2. İn vitro	41
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	46
3.1. Gereç	46
3.2. Yöntem	55
4. BULGULAR.....	63
5. TARTIŞMA	75
6. SONUÇLAR	83
7. KAYNAKLAR.....	84
8. EKLER.....	100
EK-1: Etik Kurul Karar Belgesi	100
9. ORJİNALLİK RAPORU	101
10. ÖZGEÇMİŞ.....	102

KISALTMALAR ve SİMGELER

AF	Apikal foramen
AD	Apikal daralım
EAB	Elektronik apeks bulucu
SDB	Sement dentin birleşimi
KIBT	Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi
CT	Bilgisayarlı tomografi
ALARA	(As Low As Reasonably Achievable) Mümkün olduğunca düşük
R	Direnç
Ω	Ohm, Direnç birimi
Q	Elektriksel yük
I	Akım
V	Voltaj
ρ	Özdirenç
<i>l</i>	Uzunluk
A	Kesit alanı
$\Omega.m$	Özdirenç birimi
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım
<i>f</i>	Frekans
C	Kapasitans
ϵ	Dielektrik sabiti
X_c	Kapasitif reaktans
π	Pi sayısı
Z	Empedans
ω	Açısal frekans
No.	Numara
Ark.	Arkadaşları

dk.	Dakika
sn.	Saniye
ml	Mililitre
kHz	Kilohertz
Hz	Hertz
NaOCl	Sodyum hipoklorit
EDTA	Etilen diamin tetra asetik asit
H₂O₂	Hidrojen peroksit
Anova	Tek yönlü varyans analizi
mm	Milimetre
m	Metre
°	Derece
p	İstatistik anlamlılık düzeyi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Apikal foramenin anatomisi.	8
Şekil 2. Apikal darlığın topoğrafisi (28).	10
Şekil 3. Alternatif akım ve doğru akımın zaman eksenli grafikte gösterimi.	19
Şekil 4. Doğru akım sağlayan bir gerilime bağlanmış kapasitörün gösterimi.	19
Şekil 5. Kök kanalı ve oral mukoza arasındaki elektriksel özellikler için önerilen bir eşdeğer devre modeli.....	22
Şekil 6. Schneider yöntemi ile kök eğim derecesinin belirlenmesi.	46
Şekil 7. G25 grubunda Root ZX mini ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.	65
Şekil 8. G25 grubunda Raypex 6 ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.....	65
Şekil 9. G25 grubunda Propex Pixi ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.	66
Şekil 10. G40 grubunda Root ZX mini ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.	68
Şekil 11. G40 grubunda Raypex 6 ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.	68
Şekil 12. G40 grubunda Propex Pixi ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.	69
Şekil 13. G50 grubunda Root ZX mini ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.	71
Şekil 14. G50 grubunda Raypex 6 ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.	71
Şekil 15. G50 grubunda Propex Pixi ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.	72
Şekil 16. Gruplar arası 15 no.lu ege ile yapılan ölçümlerin ortalama değerleri ile gerçek uzunluk ortalama değerlerinin grafiksel gösterimi.	74

RESİMLER DİZİNİ

Resim 1. Çalışmada kullanılan dişler.	47
Resim 2. 10 numara K tipi eğe (VDW GmbH, Münih, Almanya).	48
Resim 3. Leica Z16 stereo mikroskop (Leica, Wetzlar, Almanya).	48
Resim 4. Dijital kumpas (Aleks Makine, İstanbul, Türkiye).	49
Resim 5. Reciproc Eğe R25, R40, R50 (VDW GmbH, Münih, Almanya).	49
Resim 6. X-Smart Plus (Dentsply, Ballaigues, İsviçre).	50
Resim 7. Navitip (Ultradent, South Jordan, USA) 25 mm iğne ucu.	50
Resim 8. 15 numara K tipi eğe (VDW GmbH, Münih, Almanya).	51
Resim 9. 25 numara K tipi eğe (VDW GmbH, Münih, Almanya).	51
Resim 10. 40 numara K tipi eğe (VDW GmbH, Münih, Almanya).	52
Resim 11. 45-80 numara K tipi eğe (VDW GmbH, Münih, Almanya).	52
Resim 12. Aljinat (Cavex, CJ Haarlem, Hollanda).	53
Resim 13. Raypex 6 (VDW, Münih, Almanya).	53
Resim 14. Root Zx Mini (J. Morita Corp., Kyoto, Japonya).	54
Resim 15. Propex Pixi (Dentsply, Ballaigues, İsviçre).	54
Resim 16. Gruplara ayrılmış, gerçek uzunlukları kaydedilmiş dişler.	55
Resim 17. Dişlerin çift stoperli eğe kullanılarak genişletilmesi.	56
Resim 18. Raypex 6 cihazı ile yapılan ölçüm.	58
Resim 19. Raypex 6 cihazı ile yapılan ölçüm.	58
Resim 20. Root ZX mini cihazı ile yapılan ölçüm.	60
Resim 21. Root ZX mini cihazı ile yapılan ölçüm.	60
Resim 22. Propex Pixi cihazı ile yapılan ölçüm.	62
Resim 23. Propex Pixi cihazı ile yapılan ölçüm.	62

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. G25 grubu için tanımlayıcı istatistik ve Shapiro-Wilk değerleri.	63
Tablo 2. G25 grubu ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ve Anova değerleri.	64
Tablo 3. G40 grubu için tanımlayıcı istatistik ve Shapiro-Wilk değerleri.	66
Tablo 4. G40 grubu ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ve Anova değerleri.	67
Tablo 5. G50 grubu için tanımlayıcı istatistik ve Shapiro-Wilk değerleri.	69
Tablo 6. G50 grubu ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ve Anova değerleri.	70
Tablo 7. Farklı apikal çaplara sahip G25, G40, G50 gruplarında 15 no.lu ege ile yapılan elektronik ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi	73

ÖZET

Farklı Apikal Çaplarda Genişletilen Kök Kanallarında Kullanılan Üç Farklı Elektronik Apeks Bulucunun Doğruluğunun Karşılaştırılması

Hasan ÖZ

Danışman: Prof. Dr. Özkan ADIGÜZEL

Endodonti Anabilim Dalı

Amaç:

Elektronik apeks bulucularla ilgili temel varsayım, insan dokularının, elektrikli bileşenlerin bir kombinasyonu ile modellenebilecek belirli özelliklere sahip olmasıdır. Radyasyonun zararlı etkileri, radyografik teknikle çalışma boyu tespitinin zor olması sebebiyle elektronik apeks bulucuların kullanımı rutin hale gelmektedir. Genişlemiş apikal foramen; anatomik özellikler, taşkın şekillendirme, kök rezorpsiyonu veya tamamlanmayan apikal kök oluşumu sonucu olabilir ve kök kanal tedavisi sırasında elektronik yöntemle çalışma boyu tespitinde zorluklar oluşturabilir. Bu çalışma üç farklı apeks bulucunun doğruluğunu farklı apikal çaplarda genişletilmiş dişlerde karşılaştırmayı amaçlamaktadır.

Gereç ve Yöntem:

Çalışmamızda ortodontik ve periodontal nedenlerle çekilmiş çürüksüz ve restorasyonsuz 60 adet alt çene küçük azı dişi kullanıldı. Gerçek kanal uzunluğu x10 büyütmede stereo mikroskop ve 10 no.lu K tipi eğe kullanılarak belirlendi.

Dişler üç farklı gruba ayrıldı:

Grup G25: Belirlenen gerçek kanal uzunluğunda apikal çap 0,25 mm olacak şekilde genişletildi. Elektronik ölçümlerde 15 ve 25 no.lu K tipi eğeler kullanıldı.

Grup G40: Belirlenen gerçek kanal uzunluğunda apikal çap 0,40 mm olacak şekilde genişletildi. Elektronik ölçümlerde 15 ve 40 no.lu K tipi eğeler kullanıldı.

Grup G50: Belirlenen gerçek kanal uzunluğunda apikal çap 0,50 mm olacak şekilde genişletildi. Elektronik ölçümlerde 15 ve 50 no.lu K tipi eğeler kullanıldı.

Genişletilmiş dişlerle aljinat model oluşturuldu. Root Zx Mini (J. Morita Corp., Kyoto, Japonya), Raypex 6 (VDW, Mnh, Almanya), Propex Pixi (Dentsply, Ballaigues, İsviçre) elektronik apeks bulucuları kullanılarak her diş için elektronik yöntemle çalışma uzunluğu tespit edildi.

Bulgular:

Değişkenlerin normal dağılımıdan gelme durumları araştırılırken birim sayıları nedeniyle Shapiro Wilk testinden yararlanılmıştır. Aynı apikal çapta, farklı eğelerle elektronik apeks bulucunun doğruluğunun değerlendirilmesinde tek yönlü varyans analizi kullanılmıştır. Elektronik lm sonuçları gerçek uzunluktan 0,5 mm’den daha kısa veya 0,05 mm’den daha uzun ölçüm yapmışsa başarısız, diğer koşullarda başarılı sayılmıştır. Farklı apikal çaplarda, apikal çapla uyumsuz eğe kullanımının doğruluğa etkisinin değerlendirilmesinde Ki-kare exact testi kullanılmıştır. Anlamlılık düzeyi 0,05 olarak değerlendirilmiştir.

Grup G25: 15 no.lu eğe ile gerçek kanal uzunluğuna en yakın sonuç veren Propex pixi, 25 no.lu eğe ile Raypex 6 elektronik apeks bulucusudur. Ancak aralarında anlamlı bir fark yoktur.

Grup G40: 15 no.lu eğe ile gerçek kanal uzunluğuna en yakın sonuç veren Raypex 6, 40 no.lu eğe ile Propex Pixi elektronik apeks bulucusudur. Ancak aralarında anlamlı bir fark yoktur.

Grup G50: 15 ve 25 no.lu eğeler ile gerçek kanal uzunluğuna en yakın sonuç veren Root ZX mini elektronik apeks bulucusudur. Ancak aralarında anlamlı bir fark yoktur.

0,25, 0,40 ve 0,50 apikal çaplara sahip dişlerde 15 no.lu eğe ile yapılan elektronik ölçüm sonuçlarına göre apikal çapla uyumsuz eğe kullanımının doğruluğa anlamlı bir etkisi yoktur.

Sonuç:

Dişlerin sahip olduğu apikal çapla uyumlu eğe kullanımı gerçek kanal uzunluğuna yakın ölçüm yapılmasını sağlar. 0,5 mm’ye kadar apikal çapa sahip dişlerde, apikal çaptan daha küçük boyutlu eğe ile yapılan elektronik ölçümlerde elektronik apeks bulucuların doğruluğu eğe boyutundan etkilenmez.

ABSTRACT

Comparison of the Accuracy of Three Different Electronic Apex Locators Used in Root Canals Enlarged in Different Apical Diameters

Hasan OZ

Adviser of Thesis: Prof. Dr. Ozkan ADIGUZEL

Department of Endodontics

Aim:

The basic assumption with electronic apex locators is that human tissues have certain properties that can be modeled by a combination of electrical components. The use of electronic apex locators is becoming routine because of the harmful effects of radiation and the difficulty of determining the working length with radiographic technique. Enlarged apical foramen; anatomical features may be the result of overflow shaping, root resorption, or incomplete apical root formation, and may cause difficulties in determining the length of the study by electronic method during root canal treatment. This study aims to compare the accuracy of three different apex locators in enlarged teeth with different apical diameters.

Materials and Methods:

In our study, 60 mandibular premolars without caries and restoration, extracted for orthodontic and periodontal reasons, were used. The actual canal length was determined at x10 magnification using a stereo microscope and a number 10 K file.

Teeth were divided into three different groups:

Group G25: The apical diameter was enlarged to 0,25 mm in the determined actual canal length. K-type files numbered 15 and 25 were used for electronic measurements.

Group G40: The apical diameter was enlarged to 0,40 mm in the determined actual canal length. K-type files numbered 15 and 40 were used for electronic measurements.

Group G50: The apical diameter was enlarged to 0,50 mm in the determined actual canal length. K-type files numbered 15 and 50 were used for electronic measurements.

An alginate model was created with enlarged teeth. The working length was determined electronically for each tooth using electronic apex locators of Root Zx Mini (J. Morita Corp., Kyoto, Japan), Raypex 6 (VDW, Munich, Germany), Propex Pixi (Dentsply, Ballaigues, Switzerland).

Results:

Shapiro Wilk test was used to investigate the status of variables coming from the normal distribution because of the unit numbers. One-way analysis of variance was used to evaluate the accuracy of the electronic apex locator with different files in the same apical diameter. If the electronic measurement results were measured shorter than 0,5 mm or longer than 0,05 mm than the actual length, it was considered unsuccessful, and successful in other conditions. The Chi-square exact test was used to evaluate the effect of using files with different apical diameters incompatible with the apical diameter on accuracy. The level of significance was evaluated as 0,05.

Group G25: Propex pixi, which gives the closest result to the actual canal length with file number 15, is the Raypex 6 electronic apex locator with file number 25. However, there is no significant difference between them.

Group G40: Raypex 6, which gives the closest result to the actual canal length with file number 15, is the Propex Pixi electronic apex locator with file number 40. However, there is no significant difference between them.

Group G50: Root ZX mini electronic apex locator that gives the closest result to the actual canal length with files number 15 and 25. However, there is no significant difference between them.

According to the electronic measurement results performed with file number 15 in teeth with 0,25, 0,40 and 0,50 apical diameters, the use of a file that is incompatible with the apical diameter does not have a significant effect on accuracy.

Conclusion:

The use of a file compatible with the apical diameter of the teeth enables measurement close to the actual canal length. The accuracy of the electronic apex locator is not affected by the file size in electronic measurements made with a file size smaller than the apical diameter in teeth with an apical diameter up to 0,5 mm.

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Kök kanal sistemi içinde mikroorganizmaların varlığı genellikle kök kanal tedavisi başarısızlığının ana nedeni olarak kabul edilir (1). Bu nedenle, kök kanal sisteminin maksimum dezenfeksiyonu ve kök kanalının üç boyutta tıkanması zorunludur. Ayrıca, apikal daralım (AD) genellikle kök kanal preparasyonunun ve dolumunun sona ermesi gereken anatomik referans noktası olarak kabul edilir (2). Bununla birlikte, AD'nin klinik bakış açısına yerleştirilmesi, büyük ölçüde değişken olan konumu ve üç boyutlu yapısı nedeniyle çok zordur (3).

Koronal referans noktası ile apikal daralım arasındaki mesafeye endodontide çalışma uzunluğu adı verilir. Çalışma uzunluğunu belirleme yöntemleri arasında parmak hassasiyeti, kök kanal uzunlukları ve anatomi bilgisi, işlem öncesi radyografilerin değerlendirilmesi ve elektronik apeks bulucular (EAB) yer alır (1).

Geleneksel olarak radyografi, kök kanalının ve çevresindeki dokuların anatomisi hakkında bilgi edinmede en çok kullanılan yöntem olmuştur (2). Bununla birlikte, radyografik olarak yapılan çalışma uzunluğu ölçümü radyasyona maruz kalma, zaman harcaması ve yorumlamanın zorluğu gibi çeşitli sınırlamalar sunar; çünkü genellikle anatomik yapılarla örtüşen ve gözlemcinin yorumlamasına tabi olan iki boyutlu bir görüntüdür (3-5).

İlk nesil EAB'ler radyografiyle kıyaslandığında, ölçümler kabul edilen çalışma boyundan belirgin ölçüde kısa veya uzun çıkmıştır. İlk nesil cihazların güvenilirliklerinin az olması nedeniyle, ikinci nesil cihazlar geliştirilmiştir (6).

İkinci nesil cihazlar kanal aletinin kanal içerisindeki yerini belirlemek için ilk nesil cihazların kullandığı direnç yerine empedans ölçümü yapan tek frekanslı empedans tipi cihazlardır. Empedans, direnç ve kapasitif reaktanstan oluşur. Bu özellik, farklı kanal koşullarında farklı frekanslar kullanılarak mesafeyi ölçmek için kullanılır. İkinci nesil cihazların dezavantajı kanal içerisinde elektrolit varlığında ve kuru kanallarda doğru sonuçlar vermemesidir (7).

Üçüncü nesil cihazlar ikinci nesil cihazlarla benzerlik gösterir ancak farkları; apikal foramen (AF)'den uzaklığı ölçmek için iki frekans kullanmaları, daha güçlü mikro işlemcilerle sahip olmaları ve net sonuçlar için matematik ve algoritma

hesaplamaları da yapabilmeleridir. Eğe apikale doğru ilerledikçe, iki farklı frekans ile ölçülen empedans değerleri arasındaki fark değişmeye başlar ve AD'ye ulaşıldığında empedans değerleri maksimum farka ulaşır (7).

Dördüncü nesil cihazlar, Kobayashi ve ark.'nın çalışmalarında orantı metodunu tanıtması ve kendini kalibre eden Root ZX'in (J. Morita, Tokyo, Japonya) geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır (8, 9). Orantı metodu, farklı frekanslı iki elektrik akımının, kanal içerisindeki elektrolit tipinden bağımsız olarak ölçülebilir ve oran olarak karşılaştırılabilir empedansa sahip olma prensibi ile çalışır. Kök kanalının kapasitansı AD'de belirgin ölçüde artar ve empedans oranı AD'ye yaklaştıkça hızla düşer (7).

Teknoloji alanındaki gelişmelerle çalışma prosedürleri geliştirilen yeni nesil EAB'lerin kullanımı ile çalışma uzunluğunun elektronik olarak belirlenmesinde yüksek başarı oranları yakalanabilmekte olup, EAB'lerin yaygın kullanımı tedavilerde daha az radyografi alınmasını, endodontik tedavinin güvenliğini ve güvenilirliğini artırarak endodontik uygulamalara katkı sağlamaktadır (10).

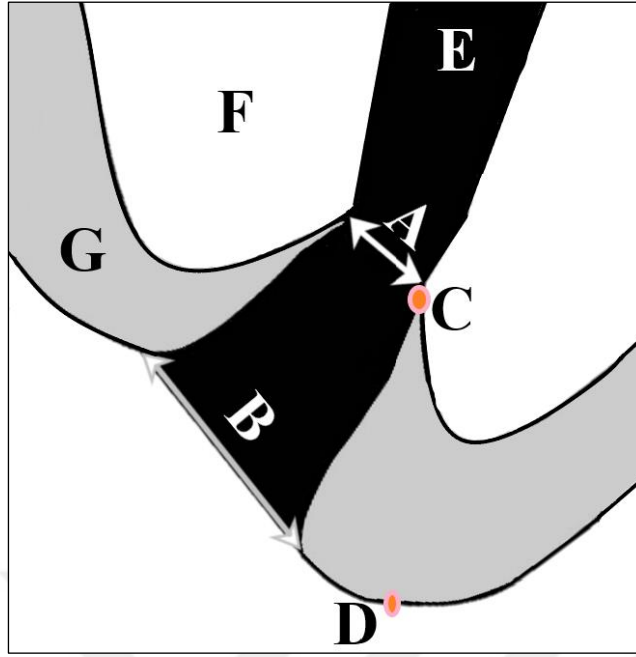
AF'nin büyüklüğü ile EAB'lerin doğruluğu arasındaki ilişki birçok araştırmaya konu olmuştur. Genişlemiş AF; morfolojik özellikler, taşkın preparasyon, kök rezorpsiyonu veya apikal kök oluşumunda eksikliğin bir sonucu olabilir ve kök kanal tedavisi sırasında EAB'ler ile çalışma uzunluğu belirlenmesinde zorluklar oluşturabilir (11-15).

Bu çalışma farklı apikal çaplarda genişletilmiş dişlerde; Root ZX mini, Raypex 6 ve Propex pixi marka EAB cihazların doğruluklarının kıyaslanmasını amaçlamaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Apikal Foramenin Anatomisi

Apikal diş anatomisi kavramı, apikal daralım, sement-dentin birleşimi ve apikal foramen olmak üzere bir kökün apikal bölgesindeki üç anatomik ve histolojik noktaya dayanır (16). Kanal anatomisi, kanal girişinden AD'ye kadar konik bir yapıdadır ve AD genellikle AF'ye 0,5 ile 1,5 mm daha koronaldedir (17). AD genellikle kök kanalının en küçük çapa sahip bölümü olarak kabul edilir; aynı zamanda hekimlerin, şekillendirme, temizleme, dezenfeksiyon ve dolum için apikal sonlandırma olarak en çok başvurdukları referans noktasıdır. Bu alanın enstrümanlar veya dolgu malzemeleri ile ihlali uzun vadeli, başarılı sonuçlar için önerilmemektedir (16). Sement-dentin birleşimi (SDB), kanalda sementin dentin ile birleştiği noktadır; aynı zamanda pulpa dokusunun bittiği ve periodontal dokuların başladığı noktadır. SDB'nin kök kanalındaki yeri önemli ölçüde değişir. Genellikle AD ile aynı alanda değildir ve tahminen AF'den yaklaşık 1 mm uzağa yerleşir (18, 19). Kanal tedavisinin SDB'de bitirilmesi, teorik olarak mikroorganizmaların periapikal dokulara geçişini önleyecek ve doku sıvılarının kök kanalına girmesini engelleyecektir (20, 21). Ancak SDB'nin, çalışma boyu belirlenirken referans alınması, klinik olarak tespit edilemeyen histolojik bir nokta olduğundan ve dişe göre değişkenlik gösterdiğinden dolayı mümkün olmamıştır (22).



Şekil 1. Apikal foramenin anatomisi.

A: Apikal daralım (AD), B: Apikal foramen (AD), C: Sement-dentin birleşimi (SDB), D: Radyolojik apeks, E: Kök kanalı, F: Dentin, G: Sement.

Kök kanalı; AD veya küçük apikal çaptan sonra, AF'ye veya büyük apikal çapa yaklaştıkça genişler. Büyük ve küçük çaplar arasındaki boşluk, huni şeklinde, hiperbolik olarak veya bir çana benzer şekilde tanımlanmıştır. Büyük ve küçük apikal çaplar arasındaki ortalama uzunluk genç bir bireyde 0,5 mm ve daha yaşlı bir bireyde 0,67 mm'dir. Sement birikimi nedeniyle mesafe yaşlı bireylerde daha fazladır (17).

AF genel olarak radyolojik apekte bulunmamaktadır ve gerçek konumu kök kanal tedavisinin başarısı açısından büyük önem taşımaktadır. AF kökün bukkal veya lingual yüzeyinde bulunuyorsa, AF'nin yerini radyografik olarak tespit etmek mümkün değildir (17).

Von der Lehr ve ark.'nın yapmış olduğu çalışmada %37 olguda AF'nin kök apeksinde yer aldığını bildirmiştir (23).

Green'in çalışmasında, arka grup dişlerin %50'sinde AF'nin radyolojik apekte konumlanmadığı, ön grup dişlerde ise %80 olguda konum değişikliklerinin olduğunu bildirmiştir (24).

Pineda ve Kuttler, 7275 adet diş kullanarak yaptıkları çalışmada %83 oranında AF'nin radyolojik apekte bulunmadığını saptamışlardır (25).

Ön grup dişlerde AF'nin %1-5 oranında radyolojik apekten 1 mm veya daha fazla uzaklıkta bulunduğu; arka grup dişlerde ise daha yüksek oranda AF sapması görüldüğü bildirilmiştir. Arka grup dişlerin daha fazla oklüzal kuvvete maruz kalmaları ve daha fazla sement birikimi bu sapma oranının yükselmesine sebep olmuştur (26-29). Enflamatuvar kök rezorpsiyonu da AF'nin konumunun bozulmasına neden olabilmektedir (30).

AF geçmişte güvenilir referans noktalarından bir tanesi olarak kabul edilmiştir (31). Ancak, lingual ya da bukkal yüzeyde bulunan AF iki boyutlu olan radyografilerle tespit edilememektedir (32, 33).

AD, kanal tedavisinin sonlanımı için en küçük boyuta sahip olan noktadır ve bu noktadaki sonlanmanın, kanlanmanın azalması sebebiyle en az doku hasarı ile iyileşmenin sonuçlanması beklenmektedir (34, 35). Şekillendirme ve doldurma işlemlerinin AD'de sonlandırılması durumunda periapikal bölgedeki en uygun histolojik yanıtın görüldüğü saptanmıştır (36)

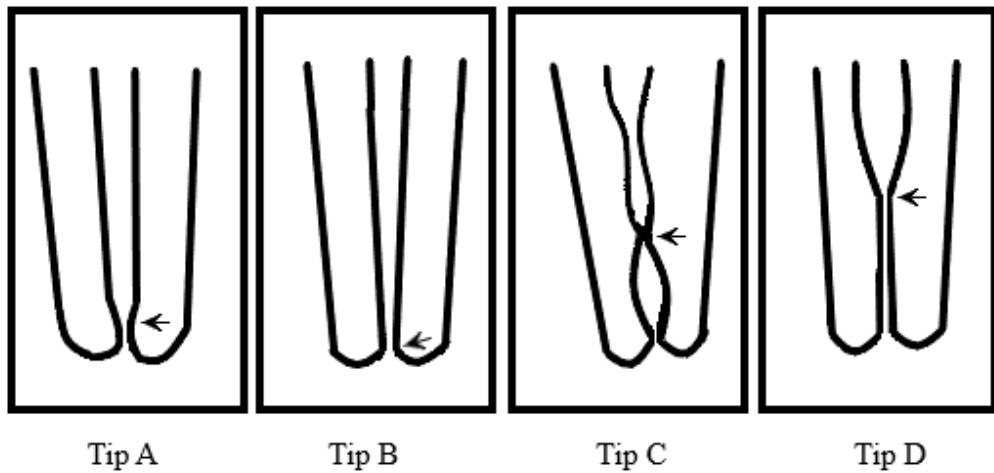
AD'nin genellikle dentin dokusunda veya SDB hizasında olduğu bildirilmiştir (17). AD ile SDB arasındaki ilişkiyi belirlemeye yönelik bir çalışmada 50 adet mandibular premolar diş kullanılmış, AD'nin SDB'nin koronalinde bulunduğu ve bu ilişkinin diştten dişe değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir (37)

AD, radyolojik apekten ortalama 0,5-1 mm koronalde konumlandığı için; radyografik yöntemle çalışma boyu belirlenerek yapılan tedavilerde şekillendirme ve dolum işlemlerinin radyolojik apekten 0,5-1 mm geride tamamlanması önerilmiştir (4). Ancak yapılan çalışmada radyolojik apekten 0-2 mm koronalde yapılan kanal şekillendirmeleri incelenmiş ve premolar dişlerde %51, molar dişlerde ise %22 oranında taşkın şekillendirme bildirmişlerdir (38). Başka bir çalışmada çalışma uzunluğu radyolojik apekten 1 mm kısa olarak belirlenmiş ve kanal eğesinin AD'ye göre konumu değerlendirilmiştir; keser dişlerde %22, premolar dişlerde %35 ve molar dişlerde %11 oranında AD'de konumlanma saptanmıştır (39).

Enflamatuvar kök rezorpsiyonuna bağı olarak AD'de de rezorpsiyon meydana gelebilmektedir (30). Sürekli sement birikimi ile AD ve radyolojik apeks arasındaki ilişki de değişmektedir (40).

Apikal daralım radyolojik apekse göre ortalama bir mesafe alınarak bulunabilecek bir yer değildir ve bu yöntemle çalışma boyutu belirlemek güvenilirliği ve gerçekçiliği olmayan bir yöntemdir (41).

AD'nin apekte basit bir daralım gibi olduğu düşünülse de Dummer ve ark. tüm diş gruplarını kapsayan bir topoğrafi çalışması yapmışlar ve AD'nin değişken bir topoğrafiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları sınıflamada Tip B'nin taşkın kanal dolgusuna, Tip D'nin ise kısa kanal dolgusuna neden olabileceğini öne sürmüşlerdir (28).



Şekil 2. Apikal darlığın topoğrafisi (28).

Tip A: Geleneksel tek darlık, Tip B: Açılı darlık, Tip C: Çoklu darlık, Tip D: Paralel Darlık.

2.2. Çalışma Uzunluğunun Önemi

Kök kanallarının doldurulmasında referans noktasının SDB olduğu ve pulpanın periodontal dokular ile birleştiği bu noktadan itibaren çıkartılması gerektiği belirtilmiştir (20).

SDB, periodontal ligamentin başladığı ve pulpanın bittiği anatomik ve histolojik yerdir. Kök kanal tedavisi hazırlama teknikleri, kanal içeriği ve apikal dokular arasındaki bu doğal bariyeri kullanmayı amaçlamalıdır (42).

Kök kanalının şekillendirme ve dolumunun AD'ye yakın veya bu mesafeden kısa olması gerektiği genel olarak kabul edilir. En uygun histolojik koşulların, şekillendirme ve dolumun AD'nin gerisinde kaldığı zaman oluştuğu; taşkın güta-perka ve kanal patının ağrı olmadan da her zaman şiddetli bir enflamatuvar reaksiyona neden olduğu bulunmuştur (35)

İşlem sonrası ağrıyı azaltmak için farmakolojik olmayan bir strateji olarak kök kanalı şekillendirme işlemi sırasında eş zamanlı olarak çalışma uzunluğunu kontrol etmenin, postoperatif ağrıyı önlemek için yararlı bir teknik olduğu ifade edilmiştir (43).

Klinisyenlerin yaptığı sorgulama; tedavinin sonlanımı olan AD'yi ve çalışma uzunluğunu nasıl doğru bir şekilde tespit edebileceğidir. Çalışmalar, en iyi iyileşmenin kanal dolgusunun radyolojik apeksin 2 mm'lik kısmı içinde olduğu zaman olduğunu bildirmiştir (44). Kök apekslerinin anatomisindeki yaş ve diş tipine göre varyasyonlar bu 2 mm'lik mesafeyi bulma işlemini daha da zorlaştırmaktadır (7).

2.3. Kanal Boyu Tespitinde Kullanılan Yöntemler

2.3.1. Parmak hassasiyeti

Deneyimli hekimlerin bile sorun yaşayabildiği yöntemdir çünkü AD bölgesinde birçok anatomik varyasyon bulunmaktadır. Bu varyasyonlar dişin tipine, AD'nin çapına, yerine ve hastanın yaşına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (7). Deneyimli klinisyenlerin bile ancak %60 vakada AD bölgesini parmak hassasiyeti ile tespit ettikleri gösterilmiştir (45).

Enflamatuvar rezorpsiyon sonucu oluşan kalsifiye olmuş veya tıkanmış apikal bölge nedeniyle birçok vakada parmak hassasiyeti ile AD'nin tam olarak belirlenemeyeceği bildirilmiştir (46).

Sadece parmak hassasiyetiyle çalışma boyu tespiti yapılamayacağı belirtilerek, EAB kullanım imkanı olmadığında çalışma boyutu tespitinde parmak hassasiyeti ve radyografik metodun birlikte kullanımı önerilmiştir (47).

2.3.2. Radyografik yöntem

Radyografik yöntemle çalışma boyu tespitinin yanı sıra kanal eğimleri, perforasyonlar ve bulunamayan kanallar gibi tanısal bilgilere de radyografik yöntem ile ulaşılabilmektedir (48).

Dijital görüntüleme sistemleri çalışma uzunluğu tespiti için geleneksel intraoral filmler kadar veya daha iyi performans gösterir (49). Dijital görüntüler üzerinde yapılan ölçümler ile geleneksel filmlerden anlamlı bir farkı görülmemiştir (50). Dijital radyografinin en büyük avantajı, hastanın aldığı radyasyon dozunun intraoral filmlere göre daha az olmasıdır (51). Ayrıca dijital görüntüleme yazılımı ile üç farklı ölçüm de yapılabilir; a) doğrusal ölçüm, iki nokta arasındaki mesafenin milimetre olarak ölçümü, b) açı ölçümü, iki çizgi arasındaki açının ölçümü ve c) alan ölçümü, görüntünün bir bölümünün alanı veya görüntünün tamamının alanının ölçümü (16).

Radyografik yöntemle çalışma boyu belirlenirken, AD radyolojik apeksten ortalama 0,5-1 mm koronalde konumlandığı için, şekillendirme ve dolum işlemlerinin radyolojik apeksten 0,5-1 mm geride bitirilmesi önerilmiştir (4). Ancak radyografiler üç boyutlu bir yapıyı iki boyutlu olarak göstermekte, pozisyonlandırma ve yorumlama açısından hassasiyet gerektirmektedir (7).

AF'nin kökün bukkal veya lingual yüzeyinden periapikal dokulara açılma sıklığı mezial veya distal yüzeylerden açılma sıklığından iki kat fazladır (52).

EAB ile radyografik yöntemin çalışma boyu tespitinin güvenilirliği kıyaslamasında; EAB ile AD'den sapmalar, radyografik yöntemle göre anlamlı olarak daha az bulunmuştur. Bu sonuçla EAB ile çalışma boyu tespitinin daha güvenilir olduğu belirtilmiştir (53).

Radyasyonun zararlı etkileri, radyografik yöntemdeki teknik sorunlar, şekillendirme ve dolum işlemlerinin AF ve ötesine geçmemesi için, kök kanal boyunu

elektronik olarak tespit edebilen cihazlar radyografik yöntemle güçlü bir alternatif olarak piyasaya sürülmüştür (54).

2.3.3. Konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT)

Konik ışınli bilgisayarlı tomografik görüntüleme, endodontik tedavi öncesi tanı ve tedavi planlaması için üç boyutta güvenilir anatomik bilgi sağlamada yararlı olan çağdaş bir radyolojik görüntüleme sistemidir (55-57).

Bir üst molardeki doldurulmamış dördüncü kanal, periapikal lezyonlar ve dikey kök kırıkları gibi bulgular, periapikal radyografilere kıyasla KIBT görüntüleme yöntemi kullanılarak daha doğru bir şekilde tanımlanmaktadır (58-60)

KIBT görüntüleme AF'yi bulma ve kök kanal anatomisini üç boyutta gösterme potansiyeline sahiptir. KIBT taramaları tanı ve tedavi planlaması için mevcut olduğunda, klinisyenler mevcut tüm bilgilerden faydalanmalıdır (61, 62).

Diş hekimliğinde herhangi bir endikasyon için önceden var olan bir KIBT taraması potansiyel olarak çalışma boyutunun işlem öncesi tahmini için de kullanılabilir (61-63).

KIBT görüntüleme endikasyonu her vaka için eleştirel olarak değerlendirilmeli, ALARA (makul olarak gerçekleştirilebilecek ölçüde düşük) prensibine uyarak halihazırda elde edilmiş KIBT görüntüleri analiz edilmelidir (64). Daha yüksek radyasyon seviyesi nedeniyle, KIBT görüntülemenin sadece ikincil bir görüntüleme yöntemi olarak kullanılması gerekir. KIBT'nın endodontik uygulamalarda kullanımı ile ilgili olarak, Amerikan Endodontistler Derneği (AAE) ve Amerikan Oral ve Maksillofasiyal Radyoloji Derneği (AAOMR) tarafından yayınlanan en son bildirim; "KIBT, endodontik tanı veya tedavilerde klinik belirti ve semptomların yokluğunda tarama amacıyla rutin olarak kullanılmamalıdır." şeklindedir (65).

2.3.4. Elektronik yöntem

Periapikal dokuların elektriksel iletkenliğinin, kök kanalının iletkenliğinden daha fazla olduğuna dayanarak, elektrik iletiminden faydalanılarak çalışma boyunun tespit edilebileceği fikri ilk olarak 1918 yılında Custer tarafından ortaya atılmıştır. Custer,

kök kanalı kuru ya da alkol gibi elektriksel iletkenliği olmayan bir solüsyon ile doldurulmuşsa iletkenlik değerinin daha kolay tespit edilebileceğini belirtti. Başka bir ifadeyle, AF'ye yakın iletkenliğin ters değeri olan elektriksel direncin, kök kanalının koronal bölgesinde olduğundan çok daha az olduğunu keşfetti (66).

Köpek dişlerinde yapılan çalışmada, kanal içine bir kanal aleti elektrot olarak kullanılmış, bu alet AF'yi geçerek periodontal membrana ulaştığında oral mukozaya yerleştirilen diğer elektrot ile arasında 6,5 k Ω 'luk bir elektriksel direnç olduğu ve bu direnç değerinin ağız içerisinde sabit olduğu gösterilmiştir. 6,5 k Ω 'luk bu direnç değerinin hastanın yaşı, cinsiyeti ve dişin türü gibi durumlardan etkilenmediği belirtilmiştir (67).

EAB'ler, endodontik tedavinin başarısını arttırmak ve konvansiyonel radyografi ile ilişkili dezavantajları azaltmak amacıyla geliştirilmiştir. Çalışmalar, EAB'lerin çalışma uzunluğu tespitinde radyografilerden daha doğru bir tahmin sağladığını göstermiştir (53, 68). EAB kullanımı, çalışma uzunluğunu belirlemek için radyografi sayısını azaltarak hastanın iyonize radyasyona maruz kalmasını azaltır. Hamilelik sırasında da kanal tedavisi yapılmasına olanak sağlar (54).

Günümüz EAB'leri elektrolitten bağımsız olarak apikal foramenlerin yerini belirlemede yüksek güvenilirlik, yüksek doğruluk ve yüksek tekrarlanabilirliğe sahiptir (69)

2.4. Elektronik Apeks Bulucular ve Çalışma Mekanizmaları

Tüm EAB cihazlarla ilgili temel varsayım, insan dokularının, elektrikli bileşenlerin bir kombinasyonu ile modellenebilecek belirli özelliklere sahip olmasıdır. Bu nedenle, modelin direnç ve empedans gibi elektriksel özelliklerini ölçerek, AF'nin tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Kök kanal sistemi, elektrik akımına izolatör olan dentin ve sement ile çevrilidir. Bununla birlikte, kanal alanı içindeki iletken doku ve sıvıların elektriksel olarak kendisinin elektrik akımının bir iletkeni olan periodontal ligament ile bağlandığı AF vardır. Böylece, kanal içerisindeki doku ve sıvıyla dentin, bir direnç oluşturur. Bu direncin değeri dentinin AF'ye kadar olan boyutuna ve dentinin doğal öz direncine bağlıdır. Bir kanal aleti kanal içerisine girip AD'ye yaklaştığında, kanal aletinin ucu ve AF arasındaki mesafe azalır, dolayısıyla dentinin

dirence etki eden uzunluğu azalır. Direnç özelliklerinin yanı sıra, dış kökünün yapısı kapasitif özelliklere de sahiptir. Bu nedenle, AF'yi tespit etmek için diğer çeşitli prensipleri kullanan farklı elektronik yöntemler geliştirilmiştir. En basit cihazlar direnci ölçerken, diğer cihazlar yüksek frekans, iki frekans veya çoklu frekanslarda akım kullanarak empedansı ölçer. Ek olarak, bazı sistemler AF'yi tespit etmek için düşük frekanslı salınım veya bir voltaj gradyan yöntemi kullanır (54).

2.4.1. Atom ve yapısı

Elektroniğin temellerini anlamak için, en küçük parçacık olan atomun yapısı tanımlanmalıdır. Atomlar elektronlardan, protonlardan ve nötronlardan oluşur (54). Klasik Bohr modeline göre; atomlar, yörüngeleri elektronlarla çevrili merkezi bir çekirdeği içeren gezegensel bir yapıya sahiptir (70). Elektronlar çekirdekten belli mesafelerdeki yörüngelerde döner. Pozitif yüke sahip çekirdek ile negatif yüke sahip elektron arasındaki çekim kuvveti, çekirdekten uzaklaştıkça azalır. Bu nedenle, bir atomun en dış yörüngesinde bulunan elektronlar atoma nispeten gevşek bir şekilde bağlanır. Örneğin, bakır atomu en dış yörüngesinde bir elektrona sahiptir ve bu elektron yeterli termal enerji kazandığında yörüngeden ayrılabilir ve serbest bir elektron olabilir. Oda sıcaklığında bakırın herhangi bir atoma bağlı olmayan ve hareket etmekte serbest olan çok sayıda serbest elektronu bulunur. Serbest elektronlar bakırı mükemmel bir iletken yapar ve elektrik akımını mümkün kılar (54).

2.4.2. İyonlar ve elektrolit

Bir atomdaki elektron sayısı değiştiğinde, elektrik yükü değişecektir. Bir atom elektron kazanırsa, negatif hale; elektron kaybederse, pozitif hale gelir. Her iki durumda da elektrik yükünün +1, +2, -1, -2, vb. büyüklüğü kazanılan veya kaybedilen elektron sayısına karşılık gelir. Elektrik yükü taşıyan atomlara iyon denir. Katyon, elektron kaybeden ve pozitif yük edinmiş bir iyondur; anyon elektron kazanan ve negatif yük edinmiş bir iyondur.

Elektronlar yalnızca elektrik devresindeki bir tel boyunca akmaz, aynı zamanda bir çözeltide iyonlar varsa elektronlar suda da taşınabilirler. Elektriği kabloya benzer şekilde ileten iyonik çözeltilere elektrolitler denir. Elektrolitlerin iletkenliği, iyonların

çözeltiden elektrotlara doğru hareket etmesinin sonucudur. Bir çözelti içindeki iki elektrot tam bir elektrik devresinin bir parçası olduğunda katyonlar negatif kutup olan katoda çekilir ve anyonlar pozitif kutup olan anoda çekilir.

Herhangi bir iyonun iletkenliği, iyonun su içinde hareket edebilme kolaylığı ile etkilenecektir. Herhangi bir iyonun bir çözelti boyunca hareket etme kolaylığı, toplam yük ve iyonun büyüklüğü gibi faktörlere bağlıdır; büyük iyonlar elektrolit boyunca harekete küçük iyonlardan daha fazla direnç gösterir. Mevcut iyonların sayısı arttıkça, çözeltinin elektrik iletkenliği de artar (54).

2.4.3. Elektrik yükü, gerilim ve akım

Elektrik yükü (Q) pozitif ya da negatif olabilir. Elektron, negatif elektrik yükü gösteren en küçük parçacıktır. Bir maddede elektron fazlası mevcut olduğunda net negatif bir elektrik yükü vardır ve bunun tersine, elektron eksikliği net bir pozitif elektrik yükü oluşturur. Zıt kutup yükleri olan maddeler birbirini çeker ve aynı kutup yükleri olan maddeler birbirini iter.

Kuvvetlerin üstesinden gelmek ve yükleri belirli bir mesafede tutmak için belirli bir miktarda enerji kullanılmalıdır. Karşılıklı tüm yükler, aralarındaki fark nedeniyle belirli bir potansiyel enerjiye sahiptir. Yüklerin potansiyel enerjisindeki fark gerilimdir. Gerilim (V), elektrik devrelerinde itici güçtür ve akımı oluşturur. Gerilim birimi voltur. Gerilim, bir devrede elektron veya iyonlara hareketleri için enerji sağlar. Bu hareket, elektrik devresinde yapılan işle sonuçlanan elektrik akımıdır. Akım (I) ölçüm birimi amperdir (54).

2.4.4. Direnç

Bir maddede elektron akımı mevcut olduğunda, elektronlar zaman zaman atomlarla çarpışır. Bu çarpışmalar elektronların enerjilerinin bir kısmını kaybetmesine neden olur ve böylece hareketlerini kısıtlar. Ne kadar fazla çarpışma olursa, elektron akışı o kadar fazla kısıtlanır, buna direnç denir. Direnç (R) birimi ohm'dur. Direnç maddenin türüne göre değişir. Bununla birlikte, elektrik akımı iyonlar tarafından oluşturulduğunda, akım başka yollarla da sınırlandırılır. Bir elektrolit içindeki iki

nokta arasına bir gerilim uygulandığında, iyonlar kutuplar tarafından çekilecek ve böylece noktalar arasında hareket edecek ve bir akım üretecektir. Bu gibi elektrolitlerin direnci, iyonların konsantrasyonuna ve ayrıca iyonların doğasına, özellikle de bu iyonların yüklerine ve hareketliliklerine bağlıdır. Dolayısıyla direnç, konsantrasyona da bağlı bir değişkendir. Bu fiziksel etkiye öz direnç (ρ) denir. Her madde için, öz direnç belirli bir sıcaklıkta sabit bir değer olabilir. Bu nedenle, bir maddenin direnci basitçe üç faktöre bağlıdır: öz direnç, uzunluk ve kesit alanı.

Uzunluğu l ve kesit alanı A olan bir nesnesinin direnci için formül:

$$R = \frac{\rho \times l}{A}$$

Formül, direncin öz direnç ve uzunlukla arttığını ve kesit alanı ile azaldığını göstermektedir. Aslında, öz direnç iletken malzemeleri yalıtkanlardan sınıflandıran parametredir. Yalıtkanlar elektrik akımını iletmezler çünkü tüm elektronları atomlarına sıkıca bağlanır. Mükemmel bir yalıtkan, herhangi bir yükün içinden geçmesine izin vermez, ancak oda sıcaklığında böyle bir madde bilinmez. En iyi izolatörler, oda sıcaklığında yüksek ve sınırsız direnç sunar (54). Örneğin, insan toraks kemiğinin oda koşullarında öz direnci yaklaşık 16.000 $\Omega \cdot m$ 'dir (71), kan için ise yaklaşık 162 $\Omega \cdot m$ olup (72) kemiğe göre 100 kat daha azdır. Bu nedenle, kemik zayıf bir iletken, kan ise nispeten iyi bir iletken (54).

2.4.5. Elektrik devreleri ve insan vücudu

Elektrik çarpmasında hissedilen gerilim değil, akımdır. Vücutta farklı iki nokta farklı iki gerilim kaynağı ile temas ettiğinde, bir noktadan diğerine bir akım gerçekleşecektir. Elektrik çarpmasının ciddiyeti, gerilim miktarına ve akımın gövdeden geçtiği yola bağlıdır (73). Akımın insan vücuduna etkilerini ölçmek için akım miktarının hesaplanması gerekir. Bu akım miktarı, gerilimler arasındaki farka, gerilim farkını yönlendiren empedansa ve vücuttaki temas noktaları arasındaki dirence bağlıdır (74). İnsan vücudu, vücut kütlesi, cilt nemi ve vücudun gerilim potansiyeli ile temas noktaları dahil olmak üzere birçok faktöre dayanan bir dirence sahiptir. İnsan vücudu birkaç miliamperden daha az akımları algılamaz (75). Özellikle birkaç saniyeden uzun süren yaklaşık yüz miliamper akım ölümcül hasara neden olur (73).

2.4.6. Ohm kanunu

Bir devredeki gerilim, akım ve direnç arasındaki matematiksel ilişkiyi ohm kanunu tanımlar. Ohm, eğer bir direnç boyunca gerilim yükselirse, direnç boyunca akımın artacağını ve tersine, gerilim düşerse akımın düşeceğini belirlemiştir. Ohm kanunu ayrıca, eğer gerilim sabit tutulursa; direnç azaldığında, akım artışı ile, direnç arttığında, akım azalması ile sonuçlanır (54).

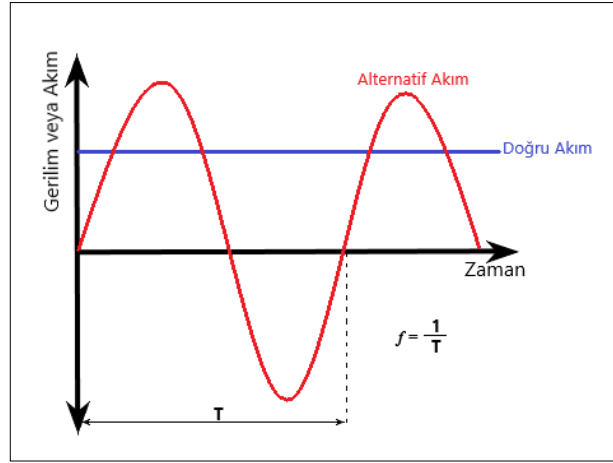
Ohm kanunu şu şekilde ifade edilir: $V=I \times R$

Elektrolit çözeltiler aynı zamanda metal iletkenler gibi Ohm yasalarına da uyar. Makroskobik bir bakış açısıyla, çözeltilerin iyon iletimi katı cisimlerin elektron iletimi ile aynıdır. Katı cisimlerde, elektronlar iyon çekirdeği olmadan hareket eder, çözeltilerde ise yükler iyon olarak hareket ederler. Suyun kendisi zayıf bir iletken olmasına rağmen, çözeltideki iyonların varlığı direnci önemli ölçüde azaltır. Bu gibi elektrolit çözeltilerin direnci iyonların konsantrasyonuna ve ayrıca mevcut iyonların doğasına ve boyutuna bağlıdır (54).

2.4.7. Doğru akım ve alternatif akım

Doğru akımda (DC), birim zamanda sabit bir akım vardır, oysa alternatif akımda (AC) akım miktarı zamanla değişmektedir. Sinüs dalgası alternatif akım ve alternatif gerilimin temel türüdür. Bir direnç devresine bir sinüzoidal gerilim kaynağı uygulandığında, alternatif bir sinüzoidal akımla sonuçlanacaktır (54).

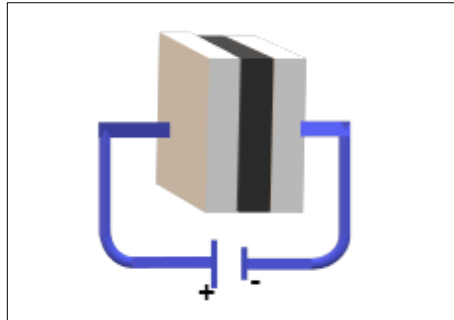
Akım veya gerilim, zamanla sıfırdan başlayarak, pozitif maksimuma yükselir, sıfıra döner ve sonra tekrar sıfıra dönmeden önce negatif maksimuma iner, böylece tam bir döngüsünü tamamlar (Şekil 3). Belirli bir sinüs dalgasının bir tam döngü tamamlaması için gereken saniye cinsinden süreye periyot adı verilir. Frekans, bir sinüs dalgasının 1 sn.de tamamladığı döngü sayısıdır. 1 sn.de tamamlanan döngü sayısı arttıkça, frekans da artar. Frekans (f) hertz birimi cinsinden ölçülür (54).



Şekil 3. Alternatif akım ve doğru akımın zaman eksenli grafikte gösterimi.

2.4.8. Kapasitörler

Aralarında yalıtkan bulunan iki iletken madde, kapasitör (Şekil 4) adı verilen elektriksel bir yapı oluşturur. Bir doğru akım gerilim kaynağına bir kapasitör bağlandığında, elektronlar bir plakadan diğerine hareket eder, bir plakanın negatif bir yük elde etmesini ve diğerinin pozitif bir şarj elde etmesini sağlar. Gerilim kaynağı bağlantısı kesildiğinde, kapasitör depolanan şarjı koruyacak ve üzerinde bir gerilim kalacaktır. Bir kapasitörün depolayabileceği şarj miktarı, kapasitansını (C) belirleyecektir (54).



Şekil 4. Doğru akım sağlayan bir gerilime bağlanmış kapasitörün gösterimi.

Şekilde gri plakalar iletken, siyah plaka yalıtandır.

Bir kapasitörün kapasitansının oluşturulmasında şu parametreler önemlidir: iletken plakanın alanı “A”, plakalar arası mesafe “d” ve dielektrik sabiti “ε”. Büyük bir plaka alanı büyük bir kapasitans üretir ve daha küçük bir plaka alanı daha küçük bir kapasitans üretir. Tersine, plakalar arası mesafe kapasitans ile ters orantılıdır; yani,

plakaların daha fazla ayrılması kapasitansı azaltır. İletken levhalar arasındaki yalıtım malzemesi, dielektrik sabiti ile kapasiteyi doğrudan etkileyecektir (54).

$$C = \frac{\epsilon \times A}{d}$$

Yalıtkan plakanın bir sonucu olarak, bir kapasitör doğru akımı bloke eder. Bununla birlikte, AC'nin kapasitansa ve AC'nin frekansına bağlı olarak bir miktar zorluk ile geçmesine izin verir. Bu zorluk şu formülden hesaplanan kapasitif reaktans (X_C) olarak adlandırılır:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times f \times C}$$

f , AC'nin frekansını ifade eder. π 'nin neredeyse 3,14'e eşit olması durumunda, f doğru akımda sıfır olduğundan, X_C sonsuz olur ve bu nedenle DC bloke olur. Sıfır olmayan frekanslarda, diğer değerleri alır ve bir dirence benzer davranır, bu nedenle ohm kanunu, kapasitif devrelere şu şekilde uygulanır (54):

$$V = I \times X_C$$

2.4.9. Empedans ve ölçümü

Hem kapasitörlere hem de dirençlere sahip olan bir devrede, alternatif bir akıma karşı toplam zorluk miktarı, empedans (Z) olarak adlandırılır. Empedans değeri, dirençlerin direnç değerlerine ve kapasitörlerin kapasitif reaktans değerlerine bağlıdır. Ohm kanunu bu devrelere şu şekilde uygulanır:

$$V = I \times Z$$

Bir maddenin empedans değerini ölçmek için birkaç yöntem vardır. Temel yöntem, maddeye bir akım uygulamak ve ortaya çıkan gerilimi ölçmektir. Ohm kanununa göre, gerilim değerinin akım değerine bölünmesi empedans değerini verir. Madde yalnızca dirençli elemanlar içeriyorsa, bu ölçüm için bir DC yeterli olur. Kapasitif elemanların varlığında, bir AC altında empedans direncin yanında kapasitif

özellikleri de içerir. AC'nin frekansı, ölçülen empedans değerini etkileyecektir, çünkü empedansın kapasitif reaktans bileşeni, frekans ile değişir (54).

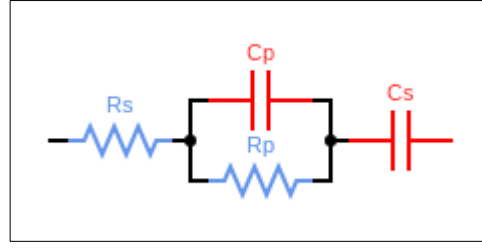
DC kullanımı, iyonların polarize olması nedeniyle bir elektrolitin direncinin ölçülmesi için pratik değildir. Elektro-iletkenlik ölçümü sırasında, yüksek frekanslı bir alternatif akım kullanılarak polarizasyon önlenabilir, böylece bir yarım döngü boyunca taşınan elektrot miktarı ölçülebilir bir polarizasyon için yetersizdir, ancak farklı koşullar altında farklı elektrolitler farklı iletkenlikler gösterebilir. Bir empedansın elektriksel olarak iki bileşeni vardır: genlik ve faz. EAB'lerin çalışma prensibini anlatımda kullandığımız empedansın genlik değeridir (54).

2.4.10. Diş dokusunun elektriksel özellikleri

Kök kanalları, izolatör olan dentin ve sement ile çevrilidir. Bununla birlikte, AD'de, kanal içindeki iletken çözeltilerin, iletken olan periodontal ligamente elektriksel olarak da bağlandığı alan vardır. Kanalin dentin, doku, sıvı gibi dirençli materyali belirli bir direnç oluşturur. Bu direncin değeri uzunluk, kesit alanı ve materyallerin öz direncine bağlıdır. Kanal aleti kanalın içine girerse ve AF'ye yaklaşırsa, kanal aleti ile kanalın apikal kısmı arasındaki direnç azalır, çünkü kanal içindeki dirençli materyalin etkin uzunluğu azalır (54).

Dirençli özelliklerin yanı sıra, diş yapısı kapasitif özelliklere de sahiptir. Kanal içerisindeki kanal aleti, bir kapasitörün iletken bir tarafı ve diğer iletken kısmın periodontal ligament olduğunu varsayarsak, kanal içindeki doku ve sıvı, kanal duvarındaki dentin ve sementle birlikte, iki iletken plakanın ayırıcıları ya da yalıtkanı olarak kabul edilebilir. Bu yapı, Şekil 4'te gösterilenden çok daha karmaşık bir kapasitör oluşturur (54).

Periapikal dokular da dahil olmak üzere kök kanal sistemini modelleyen eşdeğer bir devre model önerilmiştir. Bu modelde kök kanalı ve periapikal dokuların seri bağlanmış bir direnç, seri bağlanmış bir kapasitör ve onlara seri bağlanan paralel bağlı direnç ve kapasitörden oluştuğu belirtilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Kök kanalı ve oral mukoza arasındaki elektriksel özellikler için önerilen bir eşdeğer devre modeli.

Kanalın elektriksel yapısı yukarıda açıklanan dirençli ve kapasitif elemanlardan çok daha karmaşıktır ve tam olarak modellenmesi basit bir iş değildir (76). Eşdeğer devreyi aydınlatmak için bir direnç-kapasitör modeli yerine bir direnç ve sabit faz elemanlı kapasitör modeli önerilmiştir (77). Bu modeldeki sabit faz elemanlı kapasitör, ideal kapasitör yerine pürüzlü veya gözenekli bir yüzeyle ilişkili sistemlerde homojen olmayan durumlardaki elektrokimyasal sistemlerde sıklıkla kullanılır (78).

$$\text{Sabit faz elemanı} = \frac{1}{Q(j\omega)^n}$$

Sabit faz elemanı; n değeri 1'e yaklaştıkça ideal bir kapasitör, 0'a yaklaştıkça, ideal bir direnç gibi davranır. Elektrokimyasal sistemdeki bir bileşen için n değeri elektrolit ile değişen ve 0,5 ile 1 arasındadır (79).

Empedansın kanal içeriğindeki elektrolitlerden bağımsız olarak korono-apikal yönde azaldığı ve AD'de en düşük değere ulaştığı belirtilmiştir (80). Tek frekanslı akım ile empedans ölçümü yaparak çalışma boyu belirleyen cihazlar AF konumunu kolayca veremez (79). Dişler arasındaki empedans özelliklerindeki değişim, dentin kalınlığı ve elektrolit geçirgenliği ile de ilişkili olabilir. Dentin sklerozu ile tıkanmış dentinal tübüllerde elektrolit akışının azalmasıyla empedans artar (77, 80, 81). Kanal anatomisindeki varyasyon doğrudan dentin dağılımı ve kalınlığı ile ilişkili olduğundan, bu anatomik varyasyonların bir kökün empedans özelliklerini etkileyeceği öngörülebilir (80).

Kanal içerisinde güçlü bir elektrolit varsa, kanalın kapasitansının büyüklüğü büyük ölçüde artmıştır. Bu durum, çalışma uzunluğunun elektronik olarak belirlenmesini önemli ölçüde etkiler. Eğe ucu AF'den uzağa ve koronale

yerleştirildiğinde, kök kanalı ihmal edilebilir bir kapasitansa sahiptir, ancak eğer AF'nin yakın çevresine ulaştığında, kanal kapasitansının büyüklüğü aniden artar (9)

Empedans oranı metodunda kanal içerisinde bulunan bir elektrolit ile kanalın empedansı, farklı frekanslara sahip f_1 ve f_2 alternatif akımlarıyla eş zamanlı olarak kanal aletiyle ölçülür. Burada; f_1 , f_2 'den büyüktür ve f_1 için ölçülen empedans, Z_1 olarak tanımlanırken, f_2 için ölçülen Z_2 olarak tanımlanır. Ölçüm metodu aynı kalmak koşuluyla elektrolit değişse bile Z_1 ve Z_2 aynı oranda değişecek, Z_1 'in Z_2 'ye oranı kanalda bulunan elektrolitlerin tipinden etkilenmeyecektir. Başka bir deyişle, bu empedansların oranı, kanaldaki elektrolitlere bakılmaksızın, eğerin kanal içindeki konumunu temsil eden kesin bir değer verir (8). Elektrolit ne olursa olsun, iki empedansın oranı apeks ve apeks altı bölgede $<0,15$ 'tir. Empedans oranının değişimi, herhangi bir elektrolitin iletkenlik etkisinin ortadan kalktığı AD'yi bulmak için bir indeks olarak kullanılabilir. Empedans oranı yönteminin herhangi bir yaştaki hastanın dışında AD'yi belirlemek için uygundur (79).

2.5. Elektronik Apeks Bulucuların Tarihçesi ve Gelişimi

Çalışma uzunluğunu tespit etmek için elektronik bir metot kullanımı 102 yıl önce ilk kez Custer tarafından 1918 yılında araştırılmıştır (66). Bu araştırmadan 24 yıl sonra Suzuki tarafından köpek dişlerinde doğru akım çalışmasıyla tekrar ele alınmıştır. Bu çalışmada, kök kanalındaki kanal aleti ile mukoza membranı arasındaki elektriksel dirençte tutarlı değerler saptanmış ve bu değerler ile kanal uzunluğunun ölçülebileceği iddia edilmiştir (67). Sonada, bu prensipleri ele alarak çalışma uzunluğunu belirlemek için doğru akım kullanan rezistans tip bir cihaz geliştirmiştir (82).

Yıllar içinde elektronik cihazlarda rezistans ölçüm fikri yerini farklı elektriksel prensip olan empedans ölçümü fikrine bırakmış ve empedans tip ikinci nesil EAB daha verimli olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kısa bir zaman sonra bilgisayar teknolojilerindeki değişim ve gelişimlere paralel olarak üçüncü nesil frekans tip ve dördüncü nesil orantı tip EAB hekimlerin kullanımına sunulmuştur (7).

EAB, dolaylı olarak da olsa kök kanal prosedürleri için en uygun bitiş noktasını bulma aracı sunar. Çoğu EAB'nin arkasındaki ilke, insan dokularının, elektrikli bileşenlerinin bir kombinasyonu yoluyla modellenilebilecek belirli özelliklere sahip

olmasıdır. Daha sonra, modelin elektriksel direnç, empedans vb. özelliklerini ölçerek kanal bitimini tespit etmek mümkün olmaktadır (55).

Üreticiler tarafından sağlanan sınırlı bilgi nedeniyle çalışma uzunluğunu ölçmek için kullanılan elektronik cihazların sınıflandırılması bir tartışma meselesidir (54). Birkaç üretici beşinci ve altıncı kuşak olduğunu iddia eden yeni apeks bulucuları duyurmuştur (83). Bununla birlikte, bu cihazların dördüncü nesil apeks buluculardan teknik olarak nasıl bir farkı olduğu konusunda net bir ayrım ise yoktur (84).

2.5.1. Birinci nesil rezistans tipi elektronik apeks bulucular

Rezistans ölçümü yapan birinci nesil EAB'ler, kanal aleti ile mukozaya yerleştirilen elektrot arasındaki devrenin basit dirençli bir devre tarafından taklit edilebileceği görüşüne dayanmaktadır. Bu devreye DC uygulanarak, gerilim değerinin akıma bölünmesiyle direnç değeri hesaplanmaktadır (54). DC sebebiyle kanama, püvy veya pulpa dokusu gibi kuvvetli elektrolitlerin varlığında her zaman güvenilir olmadıkları belirtilmiştir (85). DC kullanımının diğer bir dezavantajı da hastanın bu akımı elektrik şoku şeklinde hissediyor olmasıdır (86). DC'nin dezavantajlarından dolayı AC kullanımı önerilmiştir (85).

Root Canal Meter (Onuki Medical Co, Tokio, Japan) oldukça basit tasarlanan ilk kez kullanılan rezistans tipi cihaz olup ve 150 Hz'lik frekansa sahip sinüs dalgası AC ile çalışmaktaydı (82). Periodontal ligamentle oral mukoza arasındaki 6,5 k Ω 'luk direnç değeri, hastanın dudak mukozasına yerleştirilen elektrot ile kök kanalındaki elektrot olan kanal eğesi arasında ölçülmektedir. Kanal içindeki kanal eğesi periodontal membrana ulaştıkça devre tamamlanmakta ve cihaz analog olarak 6,5 k Ω değerini göstermektedir. Bu gösterim AF olarak değerlendirilerek çalışma boyu bu direnç referansı ile tespit edilmektedir. Ancak direnç ölçümü yapan cihazlarla kanal içinde çok az miktarda püvy, kan ya da pulpa dokusu gibi sıvı bulunduğunda apekse ulaşılmış gibi hatalı okumalar elde edilebilir (85, 87, 88).

Rezistans tip cihazlar kullanılmadan önce olası apikal kanal çapı tahmin edilerek kanala uygun bir kanal aleti seçilmelidir. Diğer bir sorun her kullanımdan önce cihazların kalibrasyon gerekliliğidir. Bazı değişiklikler yapılarak Endodontic Meter

(Onuki Medical Co, Tokyo, Japonya) ve 5 μ A akımla çalışan Endodontic Meter S II (Onuki Medical Co, Tokyo, Japonya) piyasaya çıkarılmıştır (8, 89)

Birinci nesil cihazlar arasında Dentometer (Dahlin Electromedicine, Kopenhag, Danimarka) ve Endo Radar da (Elettronica Iiarre, Imola, İtalya) bulunmaktadır. Bu cihazlar, radyografilerle karşılaştırıldığında birçok ölçümün kabul edilen çalışma uzunluğundan belirgin derecede daha kısa veya uzun olarak çıkması nedeniyle güvenli bulunmamıştır (6).

2.5.2. İkinci nesil empedans tipi elektronik apeks bulucular

Diş apikali, koronalden daha büyük değerde ve kök kanalının duvarından geçen, giderek artan elektriksel empedans sergilemektedir (89). Empedans ölçümü yapan EAB'ler apikalde kök kanalının en dar kısmı olan AD'deki kanal yüzeyinden geçen empedansta meydana gelen ani değer düşüşünü yakalayıp, ölçüm uzunluğunu belirlemeye çalışırlar (90).

Empedans ölçümü yapan ikinci nesil EAB'lerin diğerlerinden farklı olarak dudak klipsi kullanılmayıp elde tutulan bir elektrotunun olmasıdır. Bu özellik dudak klipsinin tam temasta olmamasından kaynaklı ölçüm hatalarını engelleyeceği gibi enfeksiyonun kontrol edilmesinde de olumlu etkileri olacağı düşünülmüştür. Kanal içerisinde kanal aleti yerine sadece uç kısmı açık olan teflon kaplamayla kaplanmış bir aletin kullanılması diğer bir farkıdır (89).

Sono-Explorer (Hayashi Dental Supply, Tokyo, Japonya) bu prensiple çalışan ve kullanıma sunulan ilk cihazdır. Kanal içindeki ve periodontal ligamentteki empedansı ölçen ve bu empedans değerleri birbirine yaklaştığında kanalın bittiği yeri tespit eden bu cihaz düşük frekanslı bir sesle uyarı vermektedir (91). Klips diş eti oluğunun 0,5 mm içerisine konulur, ardından eğe kanal içerisinde ses elde edilinceye kadar ilerletilir. Aynı frekansta ses duyulunca periodontal ligamente ulaşılmış olur. Her kullanımda ölçüm yapılacak dişin diş eti oluğunda kalibre edilmesinin gerekli olması bu cihazın dezavantajıdır (92).

Hasegawa ve ark. tarafından 400 kHz'lik yüksek frekansa sahip bir EAB cihazı olan Endocater (Yamamura Seishokusku, Tokyo, Japonya) geliştirilmiştir (54). Doğru

ölçümü arttırmak amacıyla, yalıtkan teflon ile kaplanmış bir kanal aleti kullanılmış ancak üzerinin kaplanmış olması kanal aletinin, dar ve kıvrımlı kanallarda kullanılmasına imkan vermemiştir (93). Her ölçümden önce kalibre etmenin gerekliliği, elektrik akımının yüksek frekansa sahip olmasından dolayı hastayı rahatsız etmesi gibi dezavantajları vardır (94).

İki kutuplu elektrotlar ve 400 Hz'lik alternatif akım kullanarak empedans değerlerindeki değişiklikleri ekrana yansıtan bir cihazın kullanımı da önerilmiştir. Empedans değerindeki ani bir sapmanın, kanal aletinin en dar yer olan AD'ye ulaşıldığı anlamına geleceği ileri sürülmüştür. Bununla birlikte; özel iki kutuplu elektrotların dar kanallara yerleştirilememesi de bu cihazın en büyük dezavantajıdır (95).

Formatron IV (Parkell Inc., New York, USA) küçük bir LED ekrana sahip, kolay kullanımı olan bir cihazdır. Alternatif akımla çalışan ve kanal aletinin uç kısmının apekse olan uzaklığının belirlenmesinde empedans ölçümü metodunu kullanır. Doğruluğunu kıyaslamak için yapılan çalışmaya göre radyolojik apekten 0,5 mm'lik mesafede doğruluk %65, 1 mm'de ise %83'tür (96).

2.5.3. Üçüncü nesil frekans tipi elektronik apeks bulucular

İki farklı frekans ile empedans ölçümü yaparak kök kanalının sonlandığı noktayı saptayan cihazlar çalışma yöntemi olarak önceki EAB'lere benzerdir, en büyük üstünlüğü ise daha güçlü mikro işlemcilerle sahip olmalarıdır. Diğer farkları ise AF'den uzaklığı ölçmek için iki frekans kullanmaları ve net sonuçlar için matematik ve algoritma hesaplamaları da yapabilmeleridir.

Tek bir akım kullanarak ölçüm yapan EAB cihazların en büyük dezavantajı, kanalın elektriksel iletkenliği olan bir solüsyon ile dolu ya da bu solüsyon ile nemlendirilmiş olduğu koşullarda hatalı sonuçlar vermesidir. Bu sebepten değişken kanal içerisinde daha doğru bir çalışma boyu ölçümü sağlayan yeni bir elektronik apeks bulucu geliştirilmiştir (11). Bu yeni geliştirilen elektronik apeks bulucu Apit/Endex'tir (Osada Electric Co, Tokio, Japan). 1 kHz ve 5 kHz olarak iki farklı frekansta AC ile dudak klipsi ve kanal aletine bağlanan ege klipsi arasındaki empedansın maksimum farkını ölçerek çalışmaktadır. (7, 89). Apit cihazı kök

kanalının nemli olduğu koşullarda kullanılmış ve %89 oranında başarılı sonuç bildirilmiştir. Her kullanımdan önce kalibre edilmesinin gerekliliği önemli bir dezavantajdır (97).

2.5.4. Dördüncü nesil orantı tipi elektronik apeks bulucular

Kobayashi ve ark. nemli kanal koşullarında bile ölçüm yapabilen, kendini kalibre edebilen ilk modern EAB cihazı olan Root ZX (J Morita, Tokyo, Japonya)'i duyurmuşlardır. Root ZX kanalın bitim yerini tespit etmek için, 0,4 ve 8 kHz'lik frekanslara sahip akımlarla empedans değerlerini anlık olarak ölçerek birbirine orantılamaktadır. Matematiksel orantılama ve algoritma hesabı yapabilen kuvvetli mikro işlemcilere sahip olduğu için daha doğru ölçümler yapabildiği belirtilmiştir. Farklı frekanslardaki empedans oran değerlerinin, kanalın farklı elektrolitlerle dolu olduğu durumlarda bile değişmediği gösterilmiştir (9). Root ZX'in kanalın herhangi bir solüsyonla nemli olduğu koşullarda bile doğru sonuç vermesi nedeniyle ilk kullanılmaya başlandığı tarihten günümüze kadar, in vivo ve in vitro birçok çalışmada altın standart olarak belirleyici konumdadır (7).

Canlı ve canlı olmayan pulpaya sahip dişlerde Root ZX'in çalışma boyunu tespit etmede herhangi bir fark olmadığını ve Root ZX'in apikal daralımı $\pm 0,5$ mm güven payıyla %82,3 oranında doğru tespit ettiği bildirilmiştir (98). Shabahang ve ark. foramenden $\pm 0,5$ mmlik bir hata payıyla yaptıkları çalışmada Root ZX'in hastaların %92,6'sında apikal forameni doğru tespit edebildiğini göstermişlerdir (99).

İki farklı frekans ile ölçüm yapan diğer EAB cihazlar, Justy II (Hager & Werken, Duisburg, Almanya) ve Endy 5000 (Loser, Leverkusen, Almanya)'dir. Justy II ve Endy 5000'in AD'yi doğru tespit edebilme yeteneklerinin karşılaştırıldığı in vivo bir çalışmada küçük ve büyük foramen arasındaki bölgeyi Justy II % 82,4, Endy 5000 ise %81 oranıyla doğru tespit etmiştir (99).

Bingo 1020 (Forum Engineering Technologies, Rishon Lezion, Israil) iki farklı sinyal olarak 400 Hz ve 8 kHz frekanslarını kullanan bir cihaz olduğu belirtilmiştir (7). Bir in vitro çalışmada Bingo 1020'nin Root ZX kadar güvenilir ve kullanıcı dostu olduğu bildirilmiştir (100). Yapılan başka bir in vitro çalışmada Bingo 1020'nin Root ZX kadar doğru olduğunu; koronal genişletmenin yapıldığı kanallarda ve deneyimsiz

biri için bile kullanımının kolay olduğu belirtilmiştir (88). Bu cihaz VDW tarafından Ray-Pex 4 olarak piyasaya sürülmüştür.

Elements Diagnostic Unit and Apex Locator (Sybron Dental, Kaliforniya, USA) cihazı 0,5 kHz ve 4 kHz'lik bileşik bir sinyal kullanır. Matematiksel hesaplamalar ile empedansın ölçümünü yapmaz. Bunun yerine, ayrı ayrı rezistans ve kapasitansı ölçer ve daha önce tanımlanan kendi hafızasındaki arama tablosundaki değerlerle eşleştirerek eğin kanal içerisindeki konumunu tespit eder (101).

İkiden fazla frekans kullanan cihazlar; Endo Analyzer 8005 (Analytic, Sybron Dental, Orange, CA), AFA Apex Finder (Analytic Technology, Redmond, WA), Propex (Dentsply-Maillefer, Ballaigues İsviçre), Raypex 5 (VDW, Münih, Almanya) adlarıyla piyasaya sürülmüşlerdir. Bu EAB'lerin çalışma prensipleri iki farklı frekansta AC kullanarak empedans oranı hesaplayan elektronik apeks bulucularla hemen hemen aynıdır. Empedansın bileşenleri olan kapasitif reaktans ve dirençteki ani değişimleri algılayarak, çalışma uzunluğunu belirlerler (54).

ProPex (Dentsply, Ballaigues, İsviçre) ikiden fazla frekans kullanarak çalışma uzunluğunu tespit eden cihazlardandır. Kanal aletinin kanal içindeki konumunu elektriksel sinyalin enerjisini kullanarak yaptığını iddia etmektedir. Diğer çok frekanslı elektronik apeks bulucular ise elektriksel sinyalin genliğini kullanarak konum tespiti yaparlar. Üretici firma, sinyalin enerjisinin kullanılarak yapılan ölçümün daha doğru olduğunu iddia etmektedir (102).

2.6. Elektronik Apeks Bulucuların Doğruluğunu Etkileyen Faktörler

2.6.1. Pulpanın canlılığı

Birçok çalışmada pulpa canlılığının, EAB'lerin doğruluğu üzerinde etkisi olmadığı bildirilmiştir (98, 103). Canlı ve canlı olmayan dişlerde Root ZX ile yapılan çalışma boyları karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında istatistiksel olarak fark anlamlı bulunamamıştır (98). Üçüncü nesil frekans tipi bir cihaz olan Elements Diagnostic Unit kullanılarak 236 adet nekroze ve 58 adet canlı pulpalı diş üzerinde yapılan çalışmada, kök kanal çalışma boyunun tespitinin doğruluğunda istatistiksel olarak önemli bir fark bildirilmemiştir (104).

Renner ve ark. Novapex (Forum Engineering Technologies Ltd., Rishon Lezion, Israel) EAB'nin ölçüm sonuçlarını 35 adet canlı pulpaya, 42 adet canlı olmayan pulpaya sahip dişlerde in vivo olarak kıyaslamışlardır. Çalışma boyu tespitinde hem EAB hem de radyografik metot kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları arasında 0,4 mm'ye kadar olan farklar başarılı, 0,5 mm ve fazlası başarısız olarak kabul edilmiştir. Vakaların hiçbirinde tespit edilen elektronik uzunluk radyolojik forameni geçmemiştir. Çalışma sonuçlarında pulpanın canlılık durumunun Novapex üzerinde anlamlı bir etkisi bulunamamıştır (105).

2.6.2. Süt dişleri

Süt dişlerinin anatomik yapıları daimi dişlere göre daha farklı yapıya sahip olması nedeniyle çalışma boyunun belirlenmesinde referans alınacak noktaların belirlenmesini zorlaştırmaktadır(106). Daimi diş germinin korunması gerektiği için süt dişlerinde yapılan kök kanal tedavisinde çalışma boyunun doğruluğu ayrıca önem kazanmaktadır (107). Süt dişlerinin çalışma boyunun belirlenmesinde AD'ye sahip olmamaları ve apikal açıklığın fizyolojik rezorpsiyon nedeniyle sürekli olarak değişmesi gibi anatomik zorluklar bulunmaktadır (108).

EAB'ler, süt dişlerinde çalışma boyu tespitinin yapılabilmesi için avantajlı cihazlardır (109). Çalışma uzunluğunu elde etmek için EAB ile X-ışınlarının bir tamamlayıcı olarak kullanılması gerekli değildir. EAB kullanımı, çocuk hastalardaki klinik tedavi süresini ve stresini azaltarak daha hızlı bir tedavi sağlayabilir (110). Kielbassa ve ark. tarafından yapılan çalışmada, kök rezorpsiyonu bulunan ve bulunmayan süt dişleri arasında çalışma boyu tespitinde anlamlı bir farkın bulunmadığını bildirmişlerdir (111).

EAB'ler ile radyografik tekniğin kullanıldığı bir in vivo çalışmada EAB'lerin süt dişlerinin çalışma boyunu tespit etmede yüksek doğruluk gösterdiği belirtilmiştir (112). Root ZX'in süt azı dişlerindeki doğruluğunun değerlendirildiği bir çalışmada, kök rezorpsiyonu bulunan süt azı dişlerinde Root ZX cihazının %96,7 oranında başarılı sonuç gösterdiği bildirilmiştir (113).

2.6.3. Apikal kök rezorpsiyonu

Enflamatuvar kök rezorpsiyonu olan dişlerde, kökü çevreleyen periodontal ve apikal dokuların yıkıma uğraması nedeniyle EAB'lerin kullanımı tartışmalıdır (86).

Root ZX cihazı ile in vitro ortamda apikal kök rezorpsiyonu oluşturulan dişlerde ölçüm yapılmış; $\pm 0,5$ mm'de, %62,7'lik doğruluk oranına ulaştığı gösterilmiştir. Apikal kök rezorpsiyonu vakalarında çalışma boyu ölçerken EAB cihazların güvenilirliğinin değerlendirilmesinde kullanıcı deneyiminin daha çok ön plana çıktığını öne sürmüşlerdir (114).

Raypex 5 ve Apex NRG EAB cihazlarının kullanıldığı in vitro çalışmada apikal rezorpsiyonun taklit edildiği dişlerin, çalışma boyunun doğruluğunu apikal rezorpsiyon oluşturulmamış dişlerle karşılaştırmış ve her iki cihazın da % 100 doğru çalışma boyunu göstermediğini bildirmişlerdir (115).

Tosun ve ark. yaptığı çalışmada Root ZX ve Tri Auto ZX' in rezorpsiyon bulunan dişlerde apikalden; $\pm 0,5$ mm uzaklıktaki başarısını %83,33 ve %89,47 bulurken, ± 1 mm'de ise; sırasıyla %98,95 ve %100 bulmuşlardır (116).

2.6.4. Perforasyonlar

Kök kanalı ile periodontal dokular arasındaki anatomik olmayan açıklıklar kök perforasyonları olarak tanımlanmaktadır. Kök perforasyonlarının oluşum nedenlerinin en başta geleni iyatrojenik sebeplerdir. Bunun dışında dişlerde tedavi edilmeyen çürükler ve oluşan rezorpsiyonlar da perforasyonlara neden olabilir (117). Kök perforasyonlarının tedavisinde, teşhis en önemli basamaktır. Perfore alanın ötesinde periodontal dokularda taşkın preparasyon yapılması ve bu bölgeye irrigasyon solüsyonlarının uygulanması hastalarda ileri düzey komplikasyonlara yol açabilmektedir. Özellikle dişin yanak ya da dil tarafına açılan perforasyonlar radyografide tespit edilemezler. EAB'lerin perforasyon teşhisindeki kullanımının yapılan çalışmalarla güvenilir olduğu gösterilmiştir (118).

Root ZX, Endex ve Sono ExpIorer EAB cihazlarının, kök perforasyonunu belirleme yetenekleri kıyaslanmış ve çalışmada kullanılan tüm EAB'ler perforasyon alanının 0,6-0,06 mm gerisinde perforasyonu tespit ettikleri gözlemlenmiştir (119).

IPex, Root ZX mini ve E-pex Pro EAB'lerin 30 farklı dişte oluşturulan perforasyonların in vitro koşullarda kuru ve ıslak olarak doğruluğunun değerlendirildiği çalışmada perforasyonlar üç EAB'nin tümü tarafından klinik olarak kabul edilebilir 0,03-0,05 mm aralığında tespit edilmiştir. Kuru kanallardaki perforasyon tespitinde Root ZX mini en doğru ölçümü göstermiştir (120).

Dentaport ZX (Morita Co, Kyoto, Japan) ve Rotor (Meta Biomed, Cheongwon-gun, Kore) EAB cihazları ile yapılan çalışmada; taklit edilmiş kök perforasyonları farklı irrigasyon solüsyonları ile tespit edilmeye çalışılmış, Dentaport ZX farklı solüsyonlarda Rotor ile karşılaştırıldığında daha doğru bulunmuştur. Kök kanalının içeriği her iki EAB'nin doğruluğunu etkilemiş, en doğru ölçümler kuru kanallarda elde edilmiştir (121).

2.6.5. Kök kırıkları

Dikey, yatay veya oblik olarak sınıflandırılabilen yerinden ayrılmamış kök kırıkları, klinik uygulamalarda teşhis ve tedavisi en zor vakalardan biridir. Tanıda diş ve hasta semptomlarının radyografik ve görsel muayenesi kullanılabilir; ancak, bu yöntemler bazen yetersizdir. EAB cihazları, çalıştıkları fiziksel ilkeler nedeniyle çalışmalarda kök kırıklarını tespit etmek için kullanılmıştır (122).

Root ZX cihazı kullanılarak yapılan çalışmada yatay kök kırıkları belirlenmeye çalışılmış ve sonuçların doğruluğu değerlendirilmiştir. Yatay kök kırıklarında kırık parçalar arasında ayrılmanın olmadığı durumlarda; kırık hattına yumuşak doku büyümesi olmazsa, Root ZX'in yatay kök kırıklarını belirleyemediği belirtilmiştir. Kırık yapılar arasında uzaklaşma ve kırık yapılar arasına yumuşak doku büyümesi olursa Root ZX $\pm 0,5$ mm'lik hata payıyla yatay kök kırıklarını tespit ettiği belirtilmiştir (123).

Justy II (Yoshida Dentcraft, Tokyo, Japonya) cihazı ile in vitro ortamda yapılan bir çalışmaya göre yatay ve dikey kök kırığı oluşturulmuş dişlerde; Justy II yatay kök

kırıklarını yüksek doğruluk oranıyla tespit edebilirken, dikey kırıkların tespitinde ise hatalı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (124).

TCM Endo V (Nouvag Ag, Goldach, İsviçre) ve Tri Auto ZX (Morita Corp, Kyoto, Japonya) el aletlerinin taklit edilmiş yatay ve dikey kök kırıklarının saptanmasındaki etkinliği in vitro olarak değerlendirilmiştir. 40 adet çekilmiş maksiller kesici diş, birbirinden ayrılmamış parçalara sahip yatay ve dikey kök kırıkları olarak rastgele iki gruba ayrıldı. Her iki grupta da bu el aletlerinin EAB fonksiyonları kullanıldı. Her iki el aleti de kök kırıklarını kabul edilebilir bir aralıkta saptamıştır (122).

2.6.6. Elektrik ileten solüsyonlar

Yeni geliştirilen EAB'ler, kök kanalı elektriksel iletkenliği yüksek bir solüsyon ile dolu olduğu durumlarda bile doğru ölçümler verdiği iddia edilmektedir (86).

Meares ve ark. NaOCl'nin farklı konsantrasyonlarının, Root ZX'in doğruluğunu etkileyip etkilemediğini araştırdıkları çalışmaya göre, %2,625 ve %5,25'lik konsantrasyonlar arasında anlamlı bir fark bulamamıştır (125). Tınaz ve ark., Root ZX ile yaptıkları çalışmada değişik konsantrasyonlarda; %5,25, %2,65 ve %1 NaOCl'nin doğruluğu etkilemediğini bildirmişlerdir (88).

Fan ve ark. yapmış olduğu Propex (Densply Maillefer, Ballaigues, İsviçre), Root ZX (J Morita Corp., Tokyo, Japonya) ve Neosono Ultima EZ (Satalec Inc., Mérignac, Fransa) cihazlarının in vitro kıyaslandığı bir çalışmada, farklı irrigasyon solüsyonları kullanılmış ve Propex ve Neosono'nun farklı solüsyonlarda Root ZX'den daha doğru sonuçlar verdiği ve kök kanalında iletken solüsyon varlığının EAB'lerin doğruluğunu azalttığı belirtilmiştir (126).

Fouad ve ark. irrigasyon solüsyonları, lokal anestezik solüsyonları ve nekrotik doku artıkları gibi iletkenlerin EAB'lerin doğruluğunu etkilemediği ve EAB'lerin bu koşullarda yine yüksek doğruluk oranlarını sürdürdüğü belirtilmiştir (127).

Gomes ve ark. in vivo yaptıkları çalışmada çekimi planlanan 32 dişte %2,5 NaOCl, %2 Klorheksidin ve %17 EDTA çözeltileri kullanılarak Raypex 5 (VDW, Münih, Almanya) cihazı ile çalışma boyu ölçümleri yapılmış, dişlerin çekimi yapılarak

Çalışma boyunun doğruluğu kontrol edilmiştir. Raypex 5, kullanılan irrigasyon solüsyonundan bağımsız olarak eşit derecede doğruluk göstermiştir (128).

Direkt dijital radyografi ve Propex (Dentsply, New Zealand) cihazının in vivo ve ex vivo karşılaştırmalı çalışmasında, üç farklı irrigasyon (%0,9 salin, %2 klorheksidin, %3 NaOCl) özeltisi varlığında çalışma boyunun doğruluğu kontrol edilmiştir. Propex, en doğru ölçüm sonucunu klorheksidin varlığında verirken, en kötü ölçüm sonucu NaOCl varlığında ortaya çıkmıştır. Sonuçlar, elektriksel iletkenliği olan çözeltilerin çok frekanslı EAB'lerin ölçüm duyarlılığını etkilediğini göstermiştir (129).

Kök kanal tedavisinin yenilenmesinde kullanılan kloroform, portakal yağı ve okaliptölün çalışma boyunun ölçümüne etkisi Root ZX mini (J. Morita Corp., Tokyo, Japonya), Mini Apex Locator (SybronEndo, Redmond, WA, USA), Root ZX (J. Morita Corp., Tokyo, Japonya) ve Elements Diagnostic Unit and Apex Locator (SybronEndo, Redmond, WA, USA) cihazlarıyla değerlendirilmiştir. Her bir apeks bulucunun doğruluğu, kök kanalında mevcut olan çözücü solüsyonların tipinden etkilenmemiştir (130).

Çalışmalardan ıkarılan sonuçlara göre kök kanal tedavisinde kullanılan veya kanal içeriğinde bulunan kan, anestezi solüsyon, nekrotik veya vital doku artıkları ve irrigasyon solüsyonları gibi elektriksel iletkenliği olan özeltilerin EAB'lerin doğruluklarını etkileyip etkilemediği konusunda bir kesinlik yoktur (86).

2.6.7. Kanal aletinin metal tipi

Günümüzde birçok klinisyen tedavi sırasında hem paslanmaz elik hem de nikel-titanyum eğeler kullanmaktadır. Nikel-titanyum el eğelerinin yaygınlığı göz önüne alındığında, paslanmaz elik ve nikel-titanyum eğelerin kullanılarak elektronik apeks bulucular ile çalışma uzunluğunun belirlenmesinde doğruluk önem kazanmaktadır (131). Değişik tipteki metal ve alaşımların EAB'lerin doğruluğunu etkileyip etkilemediği sorusu ileri sürölmüş olsa da, bu bir problem olarak görölmemektedir (86).

Thomas ve ark. yapmış oldukları çalışmalarında, çekilmiş 20 adet dişte gerçek çalışma uzunluğu belirlendikten sonra Root ZX kullanılarak paslanmaz çelik el aleti, nikel-titanyum el aleti ve nikel-titanyum döner eğe kullanılarak çalışma uzunluğu ölçülmüştür. Paslanmaz çelik veya nikel-titanyum eğelerin Root ZX ile beraber kullanımında anlamlı olarak bir fark olmadığı belirtmişlerdir (131).

Root ZX (J. Morita Corp., Tokyo, Japonya), Elements Diagnostic Unit and Apex Locator (Sybron Dental, CA, USA), SybronEndo Mini Apex (Sybron Dental, CA, USA), Propex pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ile paslanmaz çelik ve nikel-titanyum el aletleri kullanılarak metal tiplerinin ölçüm doğruluğuna etkisine bakılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre Root ZX'in nikel-titanyum el aletleriyle paslanmaz çelik aletlere göre istatistiksel olarak daha doğru olduğunu, SybronEndo Mini Apex'in ise paslanmaz çelik aletlerde nikel-titanyum aletlere göre istatistiksel olarak daha doğru olduğu bulunmuştur. Elements Diagnostic Unit and Apex Locator ve Propex pixi cihazları, çalışma boyunu belirlemek için kullanılan el aletinin alaşım türünden etkilenmedi (132)

Nekoofar ve ark. yapmış oldukları çalışmada, Neosono Ultima EZ (Amadent, Cherry Hill, NJ, USA)'in güvenilirliğini iki farklı tipte alaşım olan, nikel-titanyum ve paslanmaz çelik kullanarak değerlendirmişlerdir. Paslanmaz çelik ve nikel-titanyumun güvenilirliği sırasıyla %91 ve %94 olarak bulunmuştur ve aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (133).

2.6.8. Elektromanyetik alanların etkisi

Cep telefonlarının kullanımının hastanelerde kısıtlanması önerilmektedir, çünkü cep telefonlarının neden olduğu elektromanyetik parazitin tıbbi cihazların işlevlerini etkileyebileceği belirtilmiştir (134). Cep telefonlarının hasta olmayan alanlarda kullanımının sağlanması, klinik alanlarda kısıtlanması, cep telefonundan güvenli servislerin oluşturulması ve tüm tıbbi cihazlardan 1 m'den daha uzak mesafelerin kullanılmasına izin verilmesi, bu elektromanyetik etkiyi önlemek için alınan bazı önlemlerdir (134, 135).

Farklı EAB kullanıcı destek belgelerinde [örneğin, Propex II; (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) veya Root ZX; (J Morita Corp, Tokyo, Japonya)], elektromanyetik alandan kaynaklı yanlış okumaların tetiklenebileceği açıkça yazılmıştır (136).

Hurstel ve ark. tarafından yapılan çalışmada 26 adet çekilmiş dişin çalışma boyları, Apple iPhone 5 (Apple, Cupertino, CA, USA), KP100 (LG, Seoul, Korea) cep telefonları ve Dentaport Root ZX (J Morita Corp, Tokyo, Japonya), Propex II (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) EAB cihazları kullanılarak oluşan elektromanyetik alanın çalışma boyuna etkisi araştırılmıştır. Cep telefonu EAB'ler ile fiziksel temasta olacak şekilde; bekleme modundayken ve cep telefonu aynı pozisyonda bir çağrı ile etkinleştirilerek çalışma boyu kontrol edilmiştir. Elektronik çalışma uzunluğu ölçümleri, tüm durumlarda doğru sonucu göstermiştir (136).

Başka bir çalışmada, Sidhu ve ark. Samsung Galaxy Note Edge cep telefonunun Propex II (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre), Rotor (Meta Biomed, Cheongwon-gun, Kore) cihazlarına olan etkisini araştırmıştır. EAB cihazlar ile cep telefonu yan yana ve uzaktayken, çağrı modunda ve bekleme modunda çalışma boyu ölçümü yapılmıştır. Elektronik çalışma boyu ölçümleri cep telefonunun varlığından etkilenmemiş ve tüm deney koşulları altında doğru olarak belirlenmiştir (137).

2.6.9. Apikal çap ve kanal aletinin büyüklüğü

Anatomik özellikler, yapılmış taşkın preparasyon, meydana gelen kök rezorpsiyonu veya apikal kök oluşumunun gerçekleşmemesi büyük çaplı apikal foramenleri meydana getirir (11-15).

Uzun zamandır yapılan çalışmalarla apikal foramenlerin büyüklüğünün ve ölçüm yapılan kanal aletinin boyutunun, EAB'lerin doğruluğunu etkileyebileceği bildirilmiştir (11-14, 138, 139).

Nguyen ve ark. yaptıkları çalışmada 21 adet çekilmiş diş üzerinde Root ZX kullanarak genişletilmiş kanalların çalışma uzunluğu küçük numaralı eğeler ve kanal çapına uyan büyük eğeler ile ölçülmüştür. Başlangıç uzunluğu Root ZX kullanılarak 10 no.lu bir K tipi eğe ile ölçülmüştür. Sonra kanallar döner alet sistemi kullanılarak 60 numaraya kadar genişletilmiş ve son ölçüm, 10 ve 60 numara eğe kullanılarak

saptanmıştır. Daha sonra kökün apikal kısmı bukkal yönden 4 mm aşındırılıp kanal histomorfometrik olarak incelenmiştir. Başlangıç uzunluğu ve son ölçümde 10 ve 60 no. eğe kullanılarak yapılan üç ölçümde de istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Histomorfometrik olarak, tüm dişlerde apikal daralımın olmadığı, ancak Root ZX'in anatomik daralım ortadan kaldırıldığında bile apikal daralımın yerini gösterdiği belirtilmiştir (14).

Çekilmiş 36 adet mandibular premolar dişin genişletilmiş kök kanallarında kan ve sodyum hipoklorit varlığında eğe büyüklüğünün Root ZX'in güvenilirliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. İlk olarak kanallar 40 no. K tipi eğe ile genişletilmiş ve dişler iki gruba ayrılarak gruplarda NaOCl ve kan kullanılarak 10 ve 40 no.lu eğeler ile ölçümler yapılmıştır. Aynı dişler 60 no. K tipi eğe ile ve son olarak 80 no. K tipi eğe ile genişletilmiş ve aynı şekilde küçük ve büyük eğeler ile ölçümler yapılmıştır. NaOCl varlığında; Root ZX ile yapılan ölçümde eğenin çapı apikal çaptan çok daha küçük olsa bile, ölçüm son derece doğru bulunmuştur (138).

Herrera ve ark., yapılan çalışmada 10 adet tek köklü dişte apikal çap 0,6 mm'den 1,0 mm'ye kadar genişletilerek 10 no.lu K tipi eğe ile Root ZX apeks bulucusunun doğruluğuna bakılmış, AF 0,7 mm ve daha fazla genişledikçe bu EAB'nin doğruluğunun yavaş yavaş kaybolduğunu göstermiştir (15).

Beş farklı EAB'nin genişletilmiş apikal çaplarda değerlendirildiği çalışmada Mini Apex (Sybron Endo Corp, CA, USA), Root ZXII (J. Morita Corp, Kyoto, Japonya), iPex (NSK Inc, Kanuma, Japan), Propex II (Dentsply Maillefer) ve Elements Apex Locator (Sybron Endo Corp) cihazları kullanılmıştır. Her EAB cihazı foramen çapları 0,27 mm (G27), 0,47 mm (G47) ve 0,72 mm (G72) olan 3 grupta değerlendirilmiştir. Foramen çapı Mini Apex, Root ZX II ve Elements apeks bulucunun doğruluklarını etkilemedi. iPex ve Propex II, foramen büyüklüğü arttıkça düşük hassasiyet göstermiş, doğrulukları azalmıştır (140).

Root ZX (J Morita, Tokyo, Japonya) ve Raypex 6 (VDW, Münih, Almanya) EAB cihazlarının genişletilmiş apikal çaplarda doğruluklarının değerlendirildiği çalışmada 80 adet çekilmiş alt premolar diş 4 gruba ayrılmıştır. Birinci grup genişletilmemiş (G0), diğer gruplar sırasıyla (G32, G57 ve G72), 0,32, 0,57 ve 0,72 mm'lik apikal boyutlar elde edilene kadar genişletilmiştir. Her iki cihaz G0 ve G32'de yüksek bir

başarı oranı sağlarken, G57 ve G72 gruplarında doğrulukları önemli ölçüde azalmıştır (141).

2.7. Elektronik Apeks Bulucu Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

2.7.1. Avantajları

EAB'ler, çalışma uzunluğunu belirlemek için gerekli radyografilerin sayısını azaltır. Böylece hastanın radyasyona maruziyeti de azalır (142, 143).

AF'nin bulunmasında radyografik yöntemle göre daha fazla hassasiyet sağlarlar (24, 144).

EAB cihazlar kök kanal tedavisinin herhangi bir aşamasında kullanılabilir ve gerekirse çalışma uzunluğunda değişiklik olup olmadığını ve şüphe durumlarında doğrulamak için şekillendirme sırasında tekrar tekrar kullanılabilirler (145).

EAB'ler, radyografik yöntemin çalışma uzunluğu belirlemenin karmaşık olabileceği çok köklü dişlerde çok faydalıdır. Endodontik prosedürler EAB kullanılarak daha az zaman alabilir (146).

Radyografi çekmenin zor olabileceği bulantı refleksi bulunan hastalarda son derece yararlıdır (145). Radyasyon riski barındırmadığı için hamile kadınlarda rahatlıkla kullanılabilir (97).

Zigomatik arkın yoğun olup üst molar dişlerin apeksleriyle örtüşen hastalarda faydalıdır (147).

Perforasyonları tespit etmek için kullanılabilirler (7).

EAB'lerin tekniği hızlı, kolay ve doğrudur (145).

2.7.2. Dezavantajları

Doğrulukları, kök kanalındaki elektriksel koşullardan etkilenir (145). Açık apeksli dişlerde tutarsız okumalar yapabilirler (145). Bazı hastalar, EAB kullanıldığında elektriksel impulsları algılayabilirler ancak bu yaygın değildir (142).

Kalp pili olan hastalar, bu cihazlar üzerlerinde kullanılmadan önce doktorlarına danışmalıdır (148). Kardiyovasküler implante edilebilir elektronik cihazların yaygın kullanımı, bu cihazlara sahip hastalarda elektronik apeks bulucuların kullanımına ilişkin endişeleri artırmıştır. Genel önlemler takip edildiğinde, elektronik apeks bulucuların kardiyovasküler implante edilebilir elektronik cihazlara sahip hastalarda güvenle kullanılabileceği birçok çalışmada gösterilmiştir (149).

Nispeten pahalıdır (145). Teknik, klinisyenin cihaza aşina olmasını ve okumaları nasıl yorumlayacağını öğrenmesini gerektirir. Etkili kullanımları için bir öğrenme dönemi şarttır (145).

2.8. Elektronik Apeks Bulucularla İlgili Çalışmalar

2.8.1. İn vivo

Serna-Peña ve ark. yapmış oldukları çalışmada Root ZX mini (J Morita Corp, Tokyo, Japonya), Apex ID (SybronEndo, CA, USA), ve Propex Pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) EAB'lerinin doğruluklarını kıyaslamıştır. Çalışma için çekim planlanan 30 adet tek köklü dişe sahip hasta seçildi. Elektronik ölçümler üç farklı apeks bulucu ile yapıldı. Dişler çekildikten sonra, büyük AF'ler referans alınarak stereo mikroskopta 30 kat büyütmeyle gerçek çalışma uzunluğu 10 numaralı K tipi eğe ile belirlendi. İn vivo koşullar altında, üç EAB arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirtilmiştir (150).

Chaudhary ve ark. Propex II (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ve iPex II (NSK Inc., Tochigi, Japonya) EAB'lerinin doğruluklarını nikel titanyum ve paslanmaz çelik eğeler kullanarak in vivo olarak değerlendirmiştir. Çalışmada 34 hastanın 60 adet ön dişine yapılan tedavilerde iki farklı EAB ve nikel titanyum, paslanmaz çelik eğeler kullanarak çalışma uzunlukları belirlenmiştir. Belirlenen çalışma uzunlukları radyografi ile değerlendirilmiştir. İstatistiksel analizde; çalışma uzunluğunun belirlenmesinde EAB'ler ve eğenin yapıldığı alaşım arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Hem paslanmaz çelik hem de nikel titanyum eğeler çalışma uzunluğunun belirlenmesinde birbirinin yerine kullanılabileceği vurgulanmıştır (151).

Saraf ve ark. yaptıkları in vivo çalışmada 90 adet çok köklü dişe ait 270 adet kök kanalında 6 farklı EAB ile belirlenen elektronik uzunluk ölçümlerini radyograflarla değerlendirmiştir. Çalışmada kullanılan EAB'ler; Root ZX II (J. Morita Corp., Kyoto, Japonya), I-Root (S-Denti, Seul, Kore), Romiapex A-15 (Romidan Ltd, Kiryat Ono, İsrail), Raypex 6 (VDW, Münih, Almanya), Mini Apex Locator (SybronEndo, CA, USA), Root ZX mini (J. Morita Corp., Kyoto, Japonya) ile elde edilen çalışma uzunlukları radyografi üzerinde kısa, uzun, doğru olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen değerlendirme sonuçlarıyla çalışmada kullanılan EAB'ler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamamıştır (152).

Üstün ve ark. büyük periapikal lezyonları ve inatçı kanal içi eksüdasyonu olan dişlerde önceden var olan KIBT görüntülerinden işlem öncesi çalışma uzunluğu belirleyerek, bu ölçümleri iki farklı elektronik apeks bulucudan [Propex Pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ve Raypex 6 (VDW, Münih, Almanya)] elde edilen çalışma uzunluklarıyla karşılaştırdılar. Tek köklü ve tek kanallı yetmiş üç adet diş incelenmiştir. Bir endodontist her bir kök kanal uzunluğunu iki farklı elektronik apeks bulucu ile ölçmüştür. Ölçümler için bir dijital kumpas kullanarak üç kez tekrarlamış ve ortalamalarını kaydetmiştir. Bu ortalama, endodontik tedavide yer almayan bir oral radyolog tarafından KIBT kesitlerinden elde edilen kök kanal uzunluğu ile karşılaştırılmıştır. Büyük periapikal lezyonları ve inatçı kanal içi eksüdasyonu olan dişlerde, kök kanal uzunluğunun KIBT kullanılarak ölçülmesi, elektronik apeks bulucu ile elde edilen ölçümler kadar güvenilir bulunmuştur (153).

Khandewal ve ark. yaptıkları çalışmada Raypex 5 (VDW, Münih, Almanya) ve Apex NRG XFR (Medic NRG Ltd, Tel Aviv, İsrail) cihazlarıyla belirlenen elektronik çalışma uzunluklarını, radyografiyle belirlenen çalışma uzunluklarıyla kıyaslamıştır. Periodontal ve ortodontik nedenlerle çekimi planlanan 25 adet tek köklü dişe çekimden önce, radyografik metotla ve elektronik yöntemle çalışma uzunlukları belirlenmiş daha sonra eğeler kök kanalında sabitlenerek diş çekimi uygulanmıştır. Her kanalın apikal 4 mm'si, stereo mikroskop altında eğe ucu gözlenene kadar aşındırılmıştır. Eğe ucunun konumlandığı anatomik apeksten koronaldeki referans yerine olan mesafe ölçülerek gerçek kanal uzunluğu olarak kaydedilmiştir. Her iki EAB de radyografi ile karşılaştırıldığında çalışma uzunluğunun belirlenmesinde aynı doğruluğa sahip ve radyografik metottan üstün bulunmuştur (154).

Saatchi ve ark. apikal periodontitisli dişlerde üç farklı EAB'nin doğruluklarını araştırmıştır. Çalışmada Dentaport ZX (J Morita, Kyoto, Japonya), Raypex 5 (VDW, Münih, Almanya) ve i-Root (S-Denti, Seul, Kore) EAB'leri çekim kararı verilmiş 16 adet apikal periodontitisli, 16 adet normal periapikse sahip diş üzerinde in vivo olarak değerlendirilmiştir. Üç EAB ile de elektronik uzunluk ölçümü yapılan dişlerin, çekimden sonra dental operasyon mikroskobuyla 16 kat büyütmeyle gerçek kanal uzunlukları belirlenmiştir. Ölçülen elektronik uzunluklar ile gerçek kanal uzunlukları kıyaslanmıştır. Her iki periapikal durumda da EAB'lerin doğrulukları arasında anlamlı bir farkın olmadığı belirtilmiştir (155).

Moscoso ve ark. periodontal, protetik ve ortodontik nedenlerle çekimi planlanan 36 adet diş üzerinde Raypex 6 ve Dentaport ZX EAB'lerinin doğruluklarını in vivo olarak kıyaslamıştır. Elektronik ölçümler yapıldıktan sonra tespit edilen çalışma uzunluğunda eğe sabitlenerek dişin çekimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra dişlerin apikal kısımları stereo mikroskopta eğe gözleninceye kadar aşındırılmıştır. Eğe ucundan büyük AF'ye olan mesafe her diş için kaydedilerek, belirlenen elektronik uzunluklar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmadaki in vivo klinik koşullar altında Dentaport ZX ve Raypex 6 EAB'lerin performansı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (156).

Somma ve ark. Dentaport ZX, Raypex 5 ve ProPex II EAB'lerini in vivo olarak çekim kararı verilmiş 30 adet diş üzerinde karşılaştırmıştır. Üç EAB ile yapılan ölçümler sonrasında dişlerin çekimi yapılarak gerçek uzunlukları stereo mikroskop altında 20 kat büyütme ile belirlenmiştir. Üç EAB ile belirlenen elektronik çalışma boyları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır (157).

Stöber ve ark. Raypex 5 (VDW, Münih, Almanya) ve Mini Apex Locator (SybronEndo, CA, USA) EAB'lerinin doğruluklarını çekim kararı verilmiş 40 adet diş üzerinde kıyaslamıştır. Ortodontik ve periodontal nedenlerle çekim kararı verilen dişlerde elektronik ölçümler sonrası eğe kök kanalında sabitlenerek dişin çekimi gerçekleştirilmiştir. Her diş için apikal 4 mm aşındırılarak taramalı elektron mikroskobunda eğe ucundan AF'ye olan mesafe kaydedilmiştir. Bu çalışmanın in vivo koşulları altında; Raypex 5 ve Mini Apex Locator EAB'leri başarılı bulunmuş, aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (158).

Vieyra ve Acosta'nın yapmış oldukları çalışmada in vivo olarak 245 adet alt çene ve üst çeneye ait diş üzerinde çalışma uzunluğu dört farklı EAB ve radyografi ile belirlenerek karşılaştırılmıştır. Çalışmada dişler beş farklı gruba ayrılarak; Elements Diagnostic Unit (Sybron Dental, CA, USA), Root ZX (J. Morita Co., Tokyo, Japonya), Raypex 5 (VDW, Münih, Almanya), Precision Apex Locator, (Brasseler USA, GA, USA) EAB'leri ve radyografik teknik kullanılmıştır. Ölçümler sonrasında dişlerin çekimi gerçekleştirilerek stereo mikroskop ile 20 kat büyütmede görsel olarak dişlerin gerçek kök kanal uzunluğu belirlenmiştir. Çekim öncesi belirlenen uzunluklar belirlenen gerçek kök kanal uzunluğu ile karşılaştırılmıştır. Dört EAB ile yapılan elektronik ölçüm sonuçları radyografik tekniğe göre anlamlı olarak daha başarılı bulunmuştur. Dört EAB arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır (159).

2.8.2. İn vitro

Abdelsalam ve ark. yapmış oldukları çalışmada apikal açıklığın Root ZX (J Morita, Tokyo, Japan) ve Raypex 6 (VDW GmbH, Münih, Almanya) EAB'lerinin doğruluğuna etkisini araştırmıştır. 43 adet çekilmiş insan mandibular molar dişinde gerçek çalışma uzunluğu 25 kat büyütmede belirlenmiştir. İki apeks bulucunun ölçüm değerleri daha sonra gerçek çalışma uzunluğu ile karşılaştırıldı. AF'de apikal tıkanıklık oluşturularak; eğeler, blokajdan önce her bir apeks bulucu tarafından belirlenen uzunluğa getirildi. Tıkama sonrası EAB'lerin okumalarındaki değişim, ölçüm hatasını belirlemek için tıkamadan önceki ölçümlerle karşılaştırıldı. AF'nin tıkanarak bloke edilmesinin, Root ZX'te Raypex 6'dan belirgin olarak daha olumsuz bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (160).

Connert ve ark. yapmış oldukları çalışmada dokuz farklı; Apex Pointer (MicroMega, Fransa), Dentaport ZX (Morita Corp., Japonya), Elements Diagnostic Unit (Sybron Endo Corp., USA), Locapex 5 (Ionyx, Fransa), Mini Apex Locator (Sybron Endo Corp., USA), ProPex II (Dentsply Maillefer, Switzerland), Prototype (VDW, Almanya), Smarpex (Meta Biomed, Korea), Raypex 5 (VDW, Almanya) EAB cihazlarının doğruluklarının mikro-CT (bilgisayarlı tomografi) ile kontrol etmişlerdir. Çalışmada 63 adet dişe ait 91 adet kök kanalında ölçümler gerçekleştirildi. Elektronik ölçümler öncesi mikro-CT ile AD'lerin yerleri tespit edildi. Her bir EAB için AD

pozisyonunda ölçümler yapıldıktan sonra eğe kanalda sabitlenerek ikinci bir mikro-CT görüntüsü elde edilerek büyük AF'lerden uzaklık ölçümü yapılarak kaydedildi. Diş tipine bakılmaksızın, AD'nin ve büyük AF'nin $\pm 0,5$ mm ve ± 1 mm tolerans dahilinde belirlenmesinde doğruluk açısından anlamlı bir fark yoktu, ancak $\pm 0,1$ ve $0,25$ mm tolerans mesafeleri için Dentaport ZX ve Elements Diagnostic Unit EAB'leri daha başarılı bulunmuştur. EAB'lerin hepsi AD'yi doğru belirledi. Büyük AF'yi belirlemek için yapılan ölçümlerde EAB'ler, çalışma uzunluğunu gerçek uzunluktan daha uzun olarak belirledi. Bu nedenle, EAB ile yapılan uzunluk tespitinde AD'nin referans alınmasını tavsiye etmiştir (161).

Piasecki ve ark. tarafından üç farklı apeks bulucunun; CanalPro (Coltene-Endo, Cuyahoga Falls, OH), Apex ID (SybronEndo, Glendora, CA), ve Root ZX Mini (J Morita, Tokyo, Japan) doğrulukları mikro-CT ile değerlendirilmiştir. Çalışma 58 adet mandibular molar dişin eğimli mezial köklerinde gerçekleştirildi. Gerçek çalışma uzunluğu görsel yöntem ve 3 boyutlu mikro-CT taramaları kullanılarak ölçüldü. EAB'lerin aynı kanallardaki "APEX / 0,0" ve "0,5" gösterimleri elektronik çalışma uzunlukları olarak kaydedildi. Elektronik ölçümlerin ortalama değerleri ve dağılım yüzdeleri kanalların mikro-CT taramaları üzerinden belirlenen gerçek uzunlukları ile karşılaştırıldı. Taramalarda istmusların varlığı, aksesuar kanallar, foramenin pozisyonu ve AD ile büyük AF arasındaki mesafe kaydedildi ve EAB'lerin doğruluğu ile korelasyonları belirlendi. Apex ID'nin ölçüm sonuçları hariç, tüm elektronik ölçümler belirlenen gerçek uzunluk ile yüksek uyum göstermiştir. Ölçümlerde $\pm 0,5$ mm aralığında EAB'ler arasında hiçbir fark bulunamadı. Değerlendirilen anatomik parametrelerden lateral foramenin varlığı Apex ID'nin "APEX / 0,0" işaretini olumsuz olarak etkiledi. Root ZX mini ve CanalPro, mandibular molar dişlerin mezial kavisli kanallarında hem kök kanal uzunluğu hem de çalışma uzunluğu tespiti için son derece doğru bulunmuştur. Ancak Apex ID için sadece çalışma uzunluğu tespitinde "0,5" gösterimi doğru bulunmuştur (162).

Oliveira ve ark. EAB'lerin hassasiyetini en üst düzeye çıkarmak amacıyla doğru çalışma protokolünü tanımlamak için yapmış oldukları çalışmada beş farklı apeks bulucunun [Root ZX II (J Morita, Tokyo, Japonya), Raypex 6 (VDW GmbH, Münih, Almanya), Apex ID (SybronEndo, CA, USA), Propex II (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre), ve Propex Pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)] dört

farklı çalışma protokolüyle; AF'den 1 mm kısa olana kadar ilerleterek boyu kaydetme, AF'ye kadar ilerletip AF'den 1 mm kısa olana kadar geri çekerek boyu kaydetme, AF'ye kadar ilerleterek boyu kaydetme, AF'nin ötesine geçip “over” pozisyonundan AF'ye geri çekerek boyu kaydederek bu boyların doğruluklarını kıyaslamıştır. Kıyaslamada gerçek uzunluk olarak 25 kat büyütmede mikroskopta elde edilen ölçümler kullanılmıştır. Çalışma koşulları altında, cihazın mekanizmasına bakılmaksızın, direkt olarak AF'de elektronik çalışma uzunluğu ölçümü yapıldığında en iyi sonuçların elde edildiği; ayrıca, AF'nin ötesine geçip AF'ye geri çekme işleminin herhangi bir avantaj sunmadığı belirtilmiştir (163).

Vasconcelos ve ark. tıkanmış AF'de Root ZX II (J. Morita, Tokyo, Japonya), Propex II (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre), ve Apex ID (SybronEndo, Glendora, CA) EAB'lerin doğruluğunu; AF'de, AF'den 1 mm kısa olarak ve aynı dişlerin tıkanmış AF'lerinde ölçüm yaparak kıyaslamışlardır. AF'lerde yapılan ölçümlerde anlamlı bir fark olmamıştır, ancak AF'lerden 1 mm kısa ve tıkanmış AF'lerde yapılan ölçümlerde Apex ID önemli ölçüde daha iyi sonuçlar göstermiştir. Debris tıkanıklığının neden olduğu foraminal açıklığın olmamasının, EAB'lerin doğruluğunu farklı şekilde etkilediği belirtilmiştir (164).

Kolanu ve ark. apikal çap ve kullanılan eğe boyutunun Propex pixi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada 10 adet tek köklü diş, SDB seviyesinde kuronları kesilmiştir. Gerçek kanal uzunluğu 2,5 kat büyütme ile belirlenmiştir. Gerçek kanal uzunluğu belirlenen dişler apikal çap 0,6 mm olacak şekilde 10 no.lu eğeden başlayarak 60 no.lu K tipi eğeye kadar sırasıyla genişletilmiştir. 0,6 mm çapa sahip olan dişlerde Propex pixi ve 10-60 no.lu K tipi eğeler ile sırasıyla elektronik uzunluk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Dişler 70 no.lu K tipi eğeyle 0,7 mm apikal çapa genişletilerek 10-70 no.lu K tipi eğeler ile elektronik ölçümler gerçekleştirilerek kaydedilmiştir. Daha sonra dişler 80 no.lu K tipi eğeyle 0,8 mm apikal çapa genişletilerek 10-80 no.lu K tipi eğeler ile elektronik ölçümler gerçekleştirilerek kaydedilmiştir. Propex pixi 0,6 mm'ye kadar olan apikal çaplarda son derece doğru sonuçlar göstermiş, ancak 0,7 ve 0,8 mm apikal çaplarda doğruluğu azalmıştır (165).

Akisue ve ark. MiniApex (SybronEndo Corp, Orange, CA), Root ZXII (J. Morita Corp., Kyoto, Japonya), iPex (NSK Inc, Kanuma, Japonya), Propex II (Dentsply

Maillefer) ve Elements Apex Locator (SybronEndo Corp, Orange, CA) EAB'lerinin doğruluklarını genişletilmiş apikal çaplarda karşılaştırmıştır. Çalışmada kullanılan 60 adet tek köklü dişin gerçek kanal uzunlukları 20 kat büyütmede stereo mikroskop altında belirlenmiştir. Belirlenen gerçek kanal uzunluklarından 1 mm taşkın olacak şekilde dişler şekillendirilmiş; birinci grup dişlerin apikal çapı 0,27 mm, ikinci grup 0,47 mm, üçüncü grup 0,72 mm olacak şekilde genişletilmiştir. EAB'ler kullanılarak elektronik uzunluk ölçümleri yapılmış, bu ölçümler gerçek kanal uzunlukları ile kıyaslanmıştır. Foramen çapı MiniApex, Root ZXII ve Elements Apex Locator EAB'lerin doğruluğunu etkilemedi. iPex ve Propex II, foramen büyüklüğü arttıkça doğrulukları azalmıştır (140).

Herrera ve ark. genişletilmiş AF'nin Root ZX (J. Morita Corp, Tokyo, Japan)'in doğruluğuna etkisini incelemiştir. Çalışmada kullanılan 10 adet dişin gerçek uzunlukları stereo mikroskop altında 20 kat büyütmeyle 10 no.lu K tipi eğe kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen gerçek uzunlukta dişler 10-60 no.lu K tipi eğeler ile apikal çap 0,6 mm olacak şekilde genişletilmiştir. Genişletilen dişlerde elektronik uzunluk ölçümleri Root ZX ve 10'dan 60 no.lu eğeye kadar tüm eğelerle yapılarak kaydedilmiştir. Dişler 70 no.lu eğeyle apikal çap 0,7 mm olacak şekilde genişletilerek elektronik ölçümlerde 10'dan 70 no.lu eğeye kadar olan tüm eğeler kullanılmıştır. Dişler 80, 90, 100 no.lu eğeler kullanılarak sırasıyla 0,8, 0,9 ve 1 mm'lik çaplara genişletilmiş ve apikal çapa uyumlu eğe ölçüm için kullanılan son eğe olacak şekilde 10 no.lu eğeden başlayarak her eğeyle elektronik ölçümler yapılarak kaydedilmiştir. Root ZX 0,6 mm çapta herhangi bir eğe ile yapılan ölçümlerde doğru sonuç göstermiştir. 0,7 ve 0,8 mm apikal çaplarda, apikal çapla uyumlu eğe kullanılmasının gerektiği; 0,9 ve üzerindeki çaplarda Root ZX'in yanlış sonuç gösterdiği belirtilmiştir (166).

Ebrahim ve ark. genişletilmiş apikal çaplarda NaOCl ve kan varlığında eğe büyüklüğünün Root ZX (J. Morita Co., Tokyo, Japonya) ile yapılan elektronik ölçümlere etkisini incelemişlerdir. 36 adet alt küçük azı dişi 14,50 mm standart kök uzunluğu olacak şekilde, kurondan köke doğru aşındırılmıştır. Dişlerin gerçek uzunluğu stereo mikroskop altında 10 kat büyütmeyle belirlenmiştir. İlk aşamada 10-40 no.lu K tipi eğelerle apikal çap 0,4 mm olacak şekilde genişletilerek iki gruba ayrılmıştır. Bu gruplardan ilkinin kök kanallarında NaOCl diğesinde kan ile irrigasyon

yapılmıştır. İkinci aşamada kök kanalları 60 no.lu eğe ile apikal çap 0,6 mm olacak şekilde genişletilmiştir. Üçüncü aşamada ise 80 no.lu eğe ile apikal çap 0,8 mm olacak şekilde genişletme yapılmıştır. Her aşamada Root ZX ile küçük ve büyük boyutlu eğeler kullanılarak elektronik uzunluk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan elektronik uzunluk ölçümleri, gerçek uzunluk değerleri ile karşılaştırılmıştır. Kök kanalının çapı arttıkça, daha küçük boyutlu eğeler ile ölçülen uzunluğun kısaldığı; kan varlığında kök uzunluğu ölçümü için hazırlanan kanal çapına yakın büyüklükte bir eğe kullanılmasının gerekli olduğu, NaOCl varlığında, ölçüm yapılan eğe kök kanal çapından çok daha küçük olsa bile Root ZX'in son derece doğru olduğu belirtilmiştir (138).

Nguyen ve ark. genişletilmiş apikal çapların Root Zx (J. Morita Corp., Kyoto, Japonya)'in doğruluğu üzerine etkisini kontrol etmiştir. Çalışmalarında 21 adet tek köklü diş kullanılmıştır. Gerçek kanal uzunluğu 3,25 kat büyütmeyle 10 no.lu K tipi eğe kullanılarak belirlenmiştir. Dişler aljinat modellere yerleştirilerek, ilk elektronik ölçümler kök kanalları genişletilmeden yapılmıştır. Daha sonra dişler 0,04 açılanmaya sahip NiTiMatic (NT Company, TN, USA) döner alet sistemiyle apikal çap 0,6 mm olacak şekilde genişletilmiştir. Genişletilen dişler yeniden aljinat modellere yerleştirilerek 10 ve 60 no.lu K tipi eğelerle ikinci kez elektronik ölçümler gerçekleştirildi. 60 no.lu eğe kök kanalında yapılan ikinci uzunluk ölçümünde sabitlenerek kök kanalı picroformal boya ile boyanmıştır. Kök kanalının apikal 4 mm'lik kısmı aşındırılarak, stereo mikroskop altında 30 kat büyütmeyle, eğe ucundan büyük AF'ye olan mesafe ölçülmüştür. Yapılan ilk ölçümlerin, gerçek uzunluktan ortalama olarak 0,45 mm daha kısa olduğu bulunmuştur. Boyama ve aşındırma sonucunda AD'nin olmadığı ve tüm eğelerin kök kanalında sınırlı kaldığı gözlemlendi. Yapılan ilk ve ikinci ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Çalışmanın sonucuna göre Root ZX'in AD olmadan da AD'nin yerini tespit edebileceği belirtilmiştir (14).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

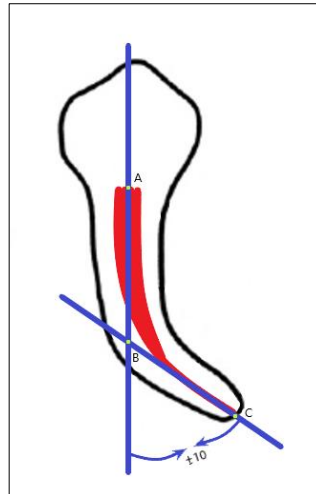
Bu tez çalışması, 60 adet insan alt çene küçük azı dişi kullanılarak, Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı'nda gerçekleştirildi. Örneklerin stereo mikroskop ile incelenmesi Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapıldı.

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Etik Kurulu tarafından, 27.05.2020 tarihli 4 no.lu toplantıda değerlendirilmiş olup, 2020-18 no.lu protokol numarasıyla onaylanmıştır (Ek-1).

3.1. Gereç

Çalışmada; periodontal ve ortodontik nedenlerle yeni çekilmiş çürüksüz, restorasyonsuz, daha önce kanal tedavisi yapılmamış, kök ucu oluşumu tam ve kapalı 60 adet tek köklü insan alt çene küçük azı dişi kullanıldı.

Dişlerin eğrilik açısının Schneider yöntemine göre 10° 'den küçük olmasına dikkat edildi. Schneider yöntemine göre; dişin eğrilik açısı diş üzerinde üç adet referans noktası ile belirlenmektedir. Kök kanalının başlangıç noktası A, kurvatürün en dış noktası B ve kanalın sonlandığı nokta C ile adlandırılırsa AB doğrusu ile BC doğrusunun kesişmesiyle oluşan dar açı Schneider yöntemine göre kök kanal eğiminin açısını vermektedir (Şekil 6) (167).



Şekil 6. Schneider yöntemi ile kök eğim derecesinin belirlenmesi.

Çalışmada kullanılacak dişler en az 2 saat %5,25'lik NaOCl solüsyonunda bekletildikten sonra kök ve yüzey üzerindeki eklentiler uzaklaştırılarak çalışmada kullanılacağı zamana kadar %0,9'luk serum fizyolojikte saklandı. Farklı açılarda radyografiler alınarak kök kanalı kalsifiye olan ve birden fazla kanal ya da apikal açıklığa sahip dişler çalışmadan çıkarıldı. Çalışmada kullanılacak dişlerin kök kanal darlığının makul bir seviyede olmasına, aşırı geniş olmamasına dikkat edildi.



Resim 1. Çalışmada kullanılan dişler.

Çalışmada kullanılacak 60 adet dişe (Resim 1) aeratör ile su soğutması altında giriş kavitesi açıldı. Pulpa dokusu 10 no.lu K tipi eğe (Resim 2) kullanılarak çıkarıldı. Stereo mikroskopta (Resim 3) x10 büyütmede, 10 no.lu K tipi eğe kullanılarak dijital kumpas (Resim 4) ile yapılan ölçüm sonucu kaydedilerek gerçek kanal uzunluğu belirlendi.



Resim 2. 10 numara K tipi eğe (VDW GmbH, M¼nih, Almanya).



Resim 3. Leica Z16 stereo mikroskop (Leica, Wetzlar, Almanya).



Resim 4. Dijital kumpas (Aleks Makine, İstanbul, Türkiye).

Dişler, gerçek kanal uzunluğunda Reciproc R25, R40, R50 (VDW GmbH, Münih, Almanya) (Resim 5) eğeler ile X-Smart Plus cihazı (Dentsply, Ballaigues, İsviçre) (Resim 6) kullanılarak genişletildi.



Resim 5. Reciproc Eğe R25, R40, R50 (VDW GmbH, Münih, Almanya).



Resim 6. X-Smart Plus (Dentsply, Ballaigues, İsviçre).

Dişler genişletme esnasında Navitip (Ultradent, South Jordan, USA) (Resim 7) iğne ucuyla %2,5'lik NaOCl ile irrigate edildi.

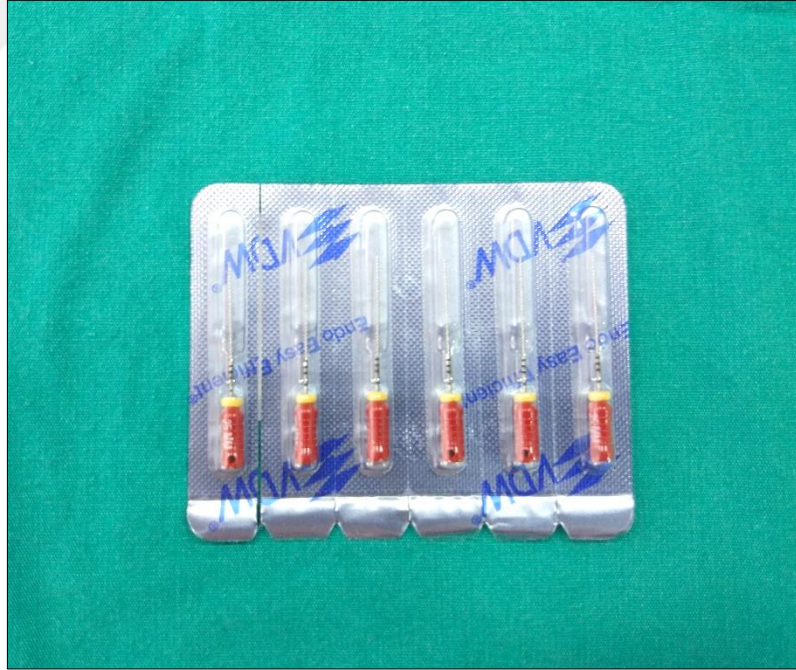


Resim 7. Navitip (Ultradent, South Jordan, USA) 25 mm iğne ucu.

Ölçümler için dişler aljinata (Cavex, CJ Haarlem, Hollanda) (Resim 12) yerleştirilerek Raypex 6 (VDW, Münih, Almanya) (Resim 13), Root Zx Mini (J. Morita Corp., Kyoto, Japan) (Resim 14) ve Propex Pixi (Dentsply, Ballaigues, İsviçre) (Resim 15) ile ölçümler yapıldı. Ölçümlerde 15, 25, 40, 50 numaralı K tipi eğeler (VDW GmbH, Münih, Almanya) (Resim 8, Resim 9, Resim 10, Resim 11) kullanıldı.



Resim 8. 15 numara K tipi eğe (VDW GmbH, M¼nih, Almanya).



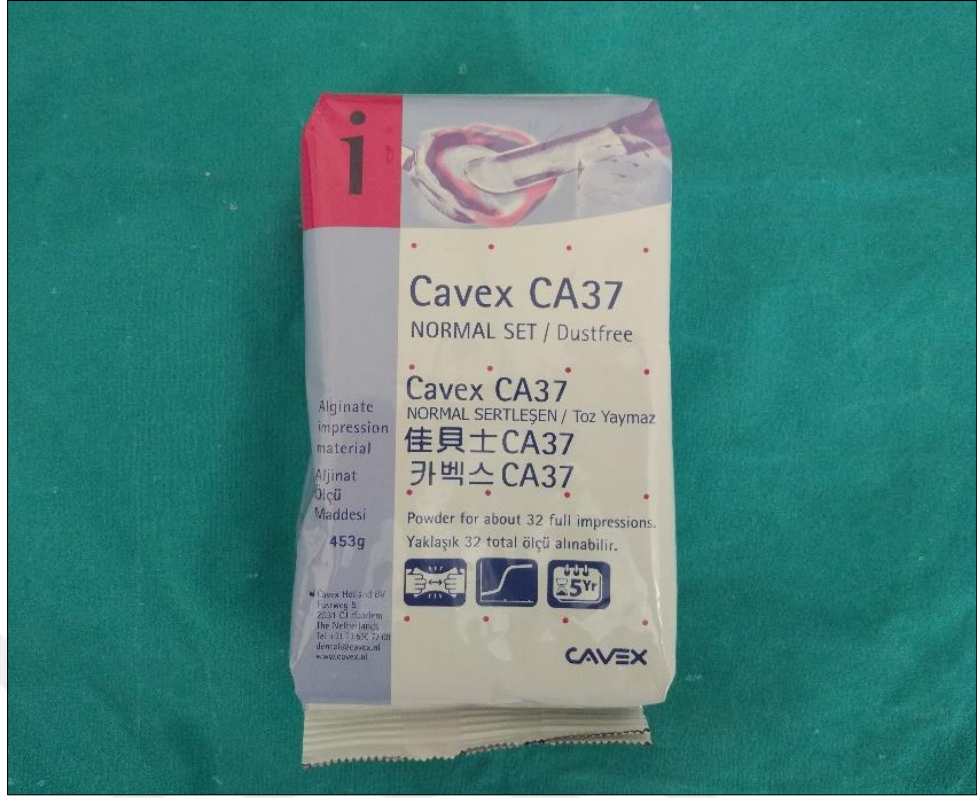
Resim 9. 25 numara K tipi eğe (VDW GmbH, M¼nih, Almanya).



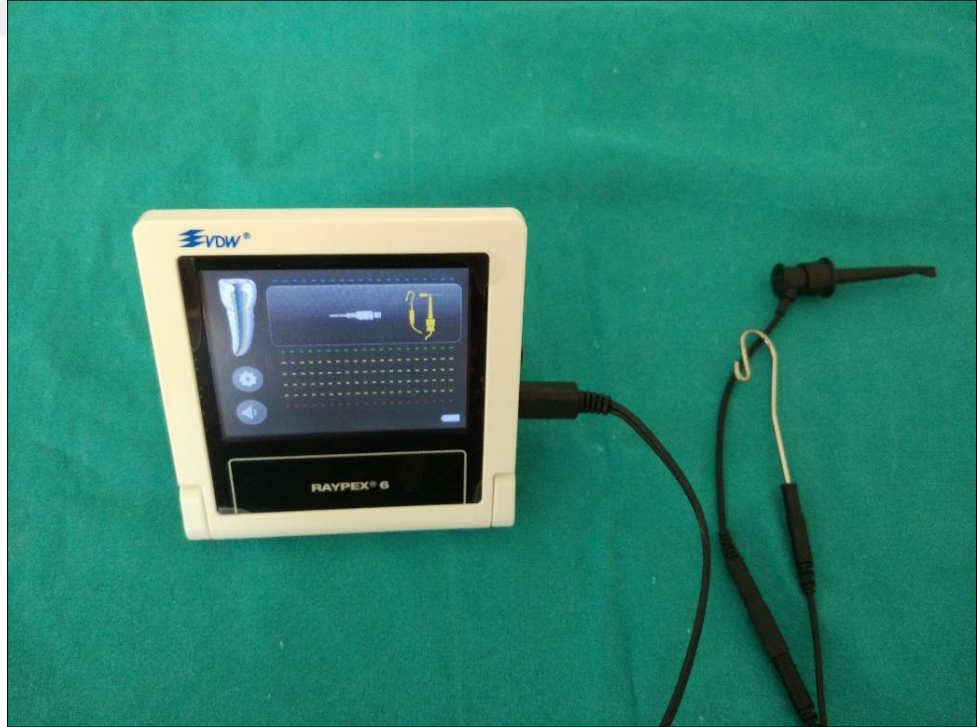
Resim 10. 40 numara K tipi eğe (VDW GmbH, M¼nih, Almanya).



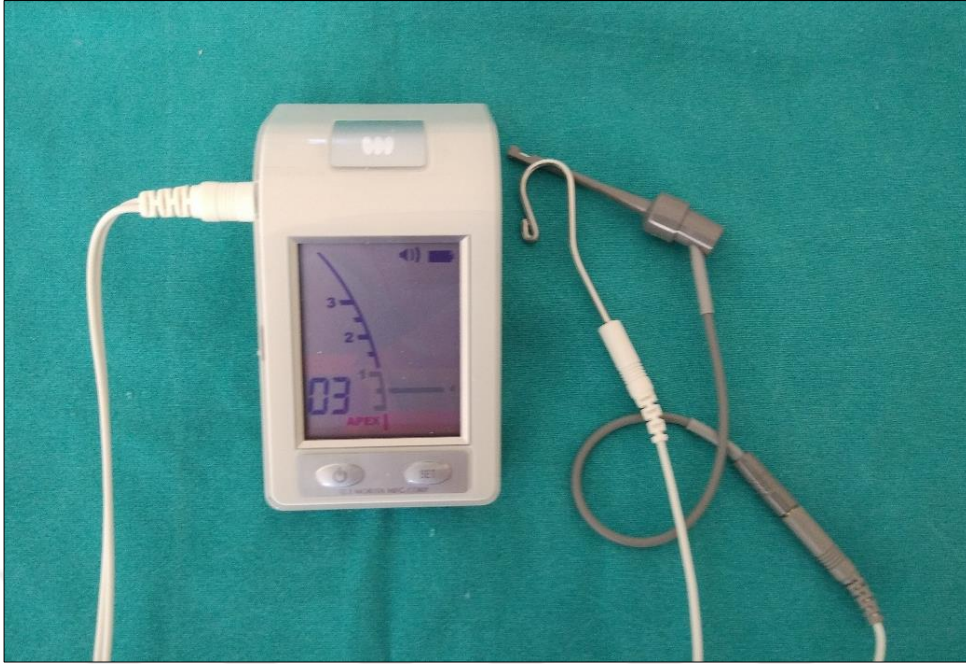
Resim 11. 45-80 numara K tipi eğe (VDW GmbH, M¼nih, Almanya).



Resim 12. Aljinat (Cavex, CJ Haarlem, Hollanda).



Resim 13. Raypex 6 (VDW, Münih, Almanya).



Resim 14. Root Zx Mini (J. Morita Corp., Kyoto, Japonya).



Resim 15. Propex Pixi (Dentsply, Ballaigues, İsviçre).

3.2. Yöntem

Dişlere, su soğutması altında aeratör kullanılarak, elmas rond frezle standart giriş kavitesi açıldı. 10 no.lu K tipi eğe ile kök kanalı ve apikal açıklık kontrol edilerek, %2,5'lik NaOCl ve distile su ile pulpa dokusu uzaklaştırıldı. Tüm ölçümlerde net ve sabit bir referans yüzeyi oluşturmak için dişlerin bukkal tüberkülleri üzerinde elmas fissür frez kullanılarak su soğutması altında aeratör ile düz yüzey oluşturuldu.

Dişlerin kök kanalının gerçek uzunluğu stereo mikroskop ile 10 kat büyütme altında, 10 no.lu K tipi eğe kullanılarak ölçüldü. Eğenin ucu apikal foramende gözleninceye kadar ilerletilerek, lastik stoper referans yüzeyinde düz bir şekilde sabitlendi. Kök kanalından çıkarılan eğenin lastik stoperinin alt kenarından eğe ucuna kadar olan uzunluk hassasiyeti 0,01 mm olan dijital kumpas ile ölçüldü. Ölçüm üç kez tekrar edilerek bu ölçümlerin ortalaması alındı. Belirlenen ortalama uzunluklar gerçek kanal uzunluğu olarak kaydedildi.

Ölçüm yapılan dişler %0,9'luk salin ile dolu olan bölmelendirilmiş akrilik kutulara rastgele olarak gruplanarak yerleştirildi (Resim 16).



Resim 16. Gruplara ayrılmış, gerçek uzunlukları kaydedilmiş dişler.

Dişler kaydedilmiş gerçek uzunluklarında eğeler ile genişletildi. Kök kanallarını genişletme işlemi üretici VDW firmasının yönergesine uyularak X-Smart Plus ile “Reciproc All” modunda yapıldı. Bu yönergede çalışma uzunluğuna; 10 no.lu ege ile pasif şekilde ulaşılabiliriyorsa R25, 20 no.lu ege ile ulaşılabiliriyorsa R40, 30 no.lu ege ile ulaşılabiliriyorsa R50 eğeler ile son genişletme yapılması önerilmiştir. Birinci grup dişler Reciproc R25 eğenin stoperi belirlenen çalışma uzunluğuna kumpas ile ayarlanarak, genişletildi. İkinci grup dişler önce sırasıyla 15 ve 20 no.lu el eğelerinin, daha sonra Reciproc R40 eğenin stoperi çalışma uzunluğuna kumpas ile ayarlanarak genişletildi. Üçüncü grup dişler önce sırasıyla 15, 20, 25, 30 no.lu el eğelerinin, daha sonra Reciproc R50 eğenin stoperi çalışma uzunluğuna kumpas ile ayarlanarak genişletildi.

Çalışma uzunluğunun sabit ve ölçülen değerlerde kalması için eğeler çift stoperli kullanılarak genişletme yapıldı (Resim 5, Resim 17). Genişletme boyunca Navitip 25 mm iğne uçları kullanılarak çalışma uzunluğundan 2 mm kısa olacak şekilde %2,5’lik NaOCl ile her ege değişiminde 2 ml irrigasyon yapıldı. Dişlerin apikal açıklıklarına, genişletme tamamlandıktan sonra dentin talaşları ile tıkanmaması için 10 no.lu K tipi ege ile ulaşarak sonrasında 2 ml distile su ile son irrigasyon yapıldı. Genişletme işlemi tamamlanan dişler %0,9’luk salin ile doldurulmuş bölmeli akrilik kutulara tekrar yerleştirildi.



Resim 17. Dişlerin çift stoperli ege kullanılarak genişletilmesi.

Elektronik ölçümler için her bir diş aljinatla doldurulmuş 50 ml'lik akrilik kutulara, kökleri mine sement sınırından itibaren aljinatta kalacak şekilde yerleştirildi. İrrigasyon için her dişte ve her ölçümden önce sırasıyla; 2 ml %2,5'lik NaOCl, 2 ml distile su, 2 ml %17'lik EDTA 1 dk. süreyle bekletildikten sonra, son olarak 2 ml distile su ile yıkama yapıldı. Giriş kavitesinden taşan irrigasyon solüsyonları pamuk peletlerle uzaklaştırıldı.

Reciproc R25 eğe ile genişletilmiş olan birinci grup dişler G25 grubu olarak, Reciproc R40 eğe ile genişletilmiş olan ikinci grup dişler G40 grubu olarak, Reciproc R50 eğe ile genişletilmiş olan üçüncü grup dişler G50 grubu olarak isimlendirildi.

Elektronik çalışma uzunluğunun belirlenmesinde her grupta ve her dişte 15 no.lu K tipi eğe; G25, G40 ve G50 gruplarında 15 no.lu eğeden sonra sırasıyla apikal çapla uyumlu olan 25, 40, 50 no.lu K tipi eğeler kullanıldı. Ölçümlerde kullanılan elektronik apeks bulucu cihazların şarjlarının ve pillerinin tam dolu olmasına dikkat edildi.

G25 grubu için; irrigasyon protokolü uygulanarak Raypex 6, Root ZX Mini, Propex Pixi cihazlarıyla 15 ve 25 no.lu K tipi eğeler ile AF'nin yeri belirlendi

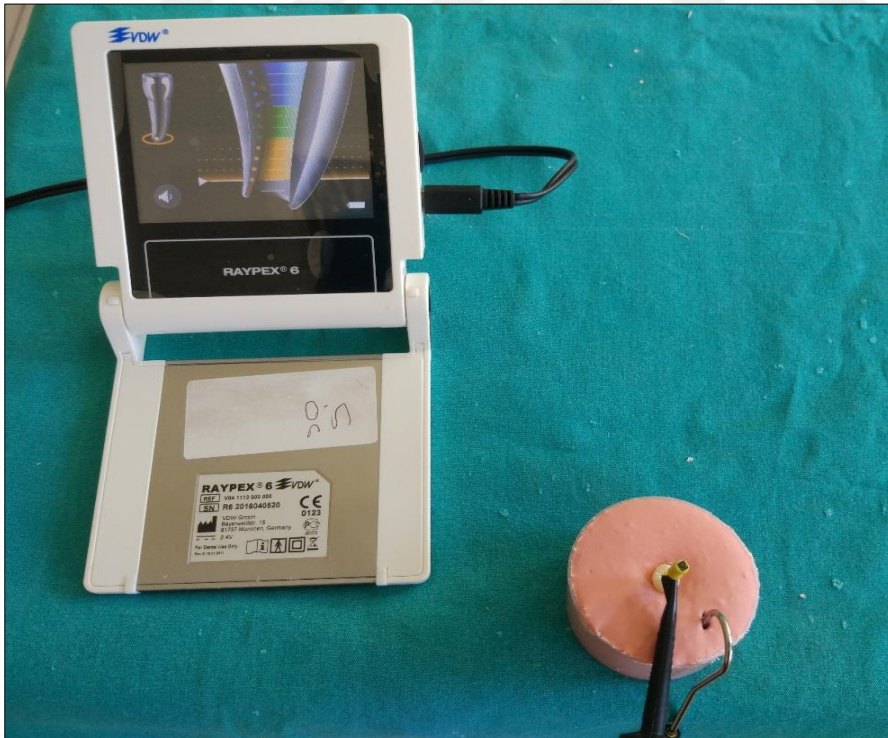
G40 grubu için; irrigasyon protokolü uygulanarak Raypex 6, Root ZX Mini, Propex Pixi cihazlarıyla 15 ve 40 no.lu K tipi eğeler ile AF'nin yeri belirlendi.

G50 grubu için; irrigasyon protokolü uygulanarak Raypex 6, Root ZX Mini, Propex Pixi cihazlarıyla 15 ve 50 no.lu K tipi eğeler ile AF'nin yeri belirlendi.

Raypex 6 cihazı ile yapılan ölçümlerde kırmızı renkli uyarı çubuğu ekranda görülene kadar eğe ile ilerlenip (Resim 18) daha sonra son sarı renkli çubuk bölümüne eğe geri çekilerek (Resim 19) lastik stoper referans yüzeyinde düz bir şekilde sabitlendi. Gösterimin 5 sn. süreyle ekranda sabit olması beklenerek, kök kanalından çıkarılan eğenin lastik stoperinin alt kenarından eğe ucuna kadar olan mesafe dijital kumpas ile ölçülerek kaydedildi. Aynı işlem üç kez yapıp, ölçüm sonuçlarının ortalaması alındı.



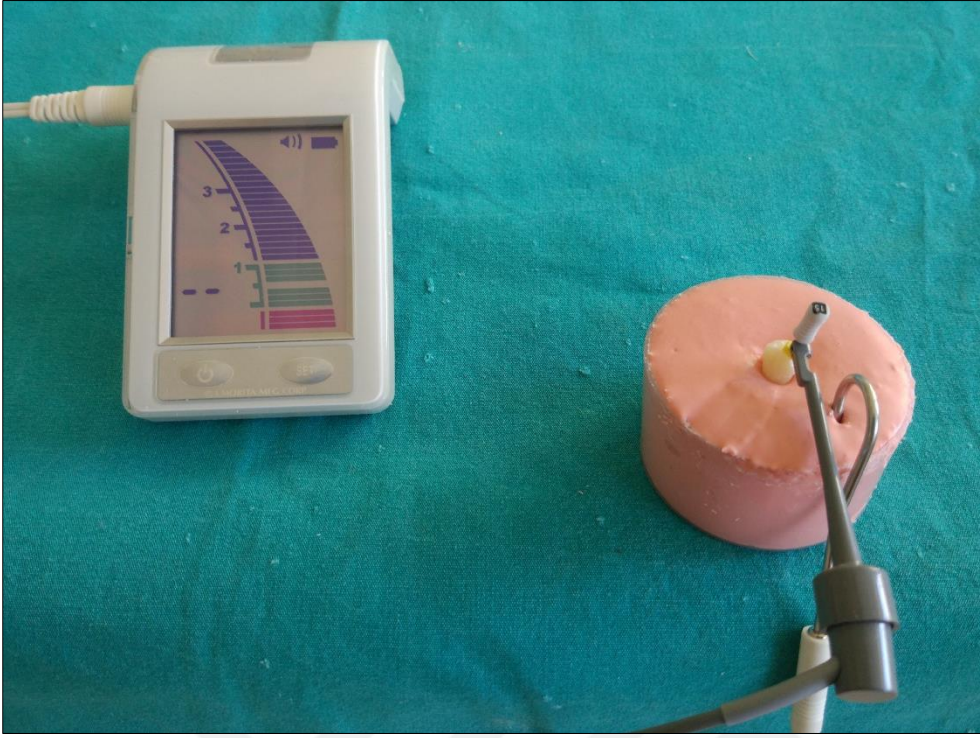
Resim 18. Raypex 6 cihazı ile yapılan ölçüm.



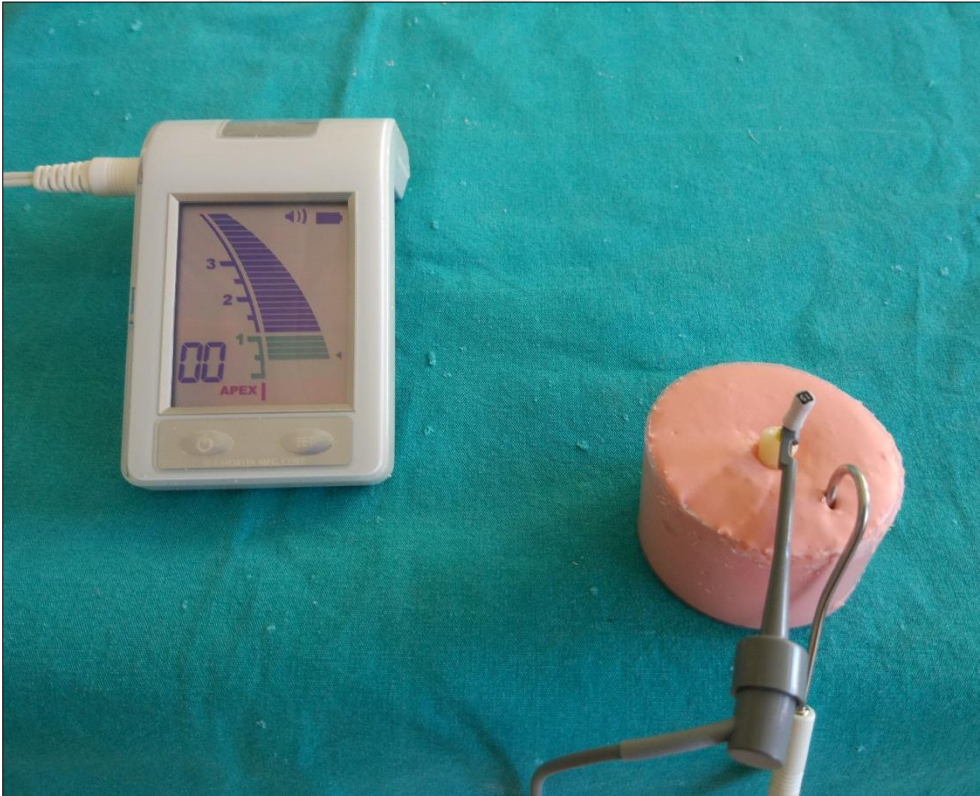
Resim 19. Raypex 6 cihazı ile yapılan ölçüm.

Root ZX mini cihazı ile yapılan ölçümlerde kırmızı renkli çizgili bölüm ekranda görülene kadar eğe ile ilerlenip (Resim 20) daha sonra yeşil renkli “00” bölümüne ve kırmızı renkli “APEX” uyarısı ekranda görülene kadar eğe geri çekilerek (Resim 21) lastik stoper referans yüzeyinde düz bir şekilde sabitlendi. Gösterimin 5 sn. süreyle ekranda sabit olması beklenerek, kök kanalından çıkarılan eğenin lastik stoperinin alt kenarından eğe ucuna kadar olan mesafe dijital kumpas ile ölçülerek kaydedildi. Aynı işlem üç kez yapıp, ölçüm sonuçlarının ortalaması alındı.





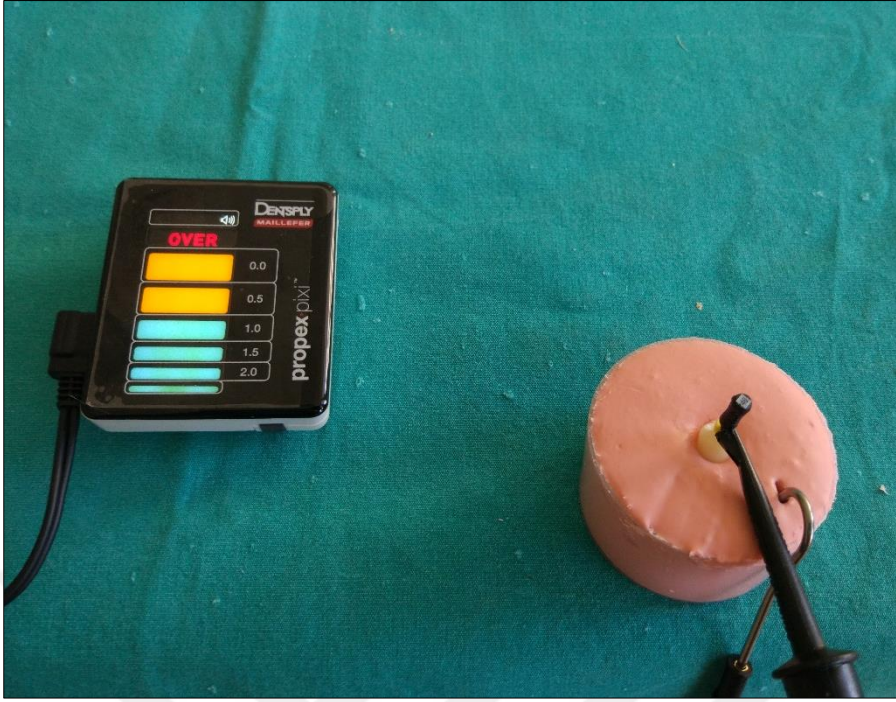
Resim 20. Root ZX mini cihazı ile yapılan ölçüm.



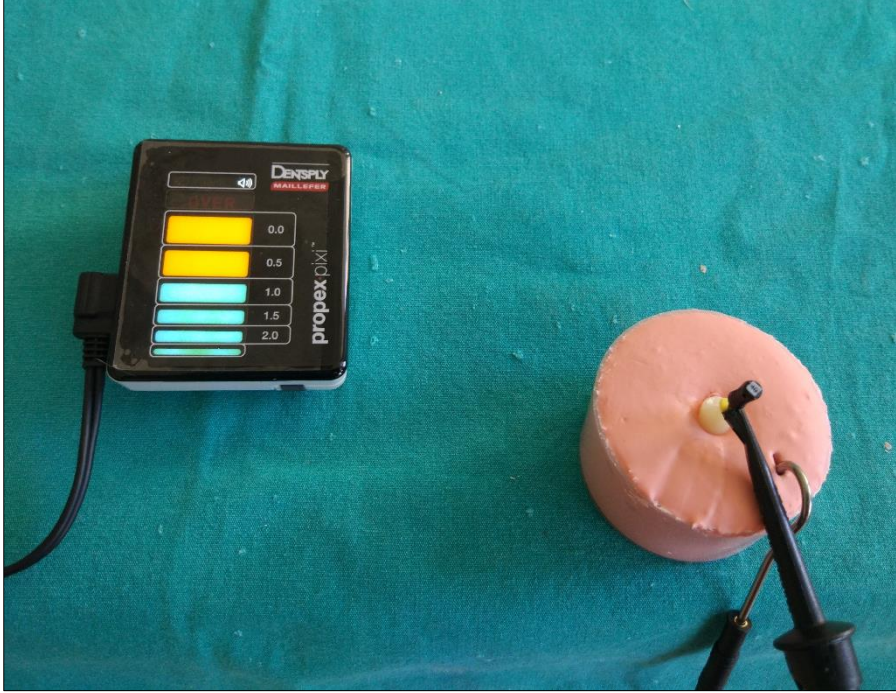
Resim 21. Root ZX mini cihazı ile yapılan ölçüm.

Propex Pixi cihazı ile yapılan ölçümlerde ekranda kırmızı renkli “OVER” uyarısı görülene kadar eğe ile ilerlenip (Resim 22) daha sonra sarı renkli “0.0” bölümüne eğe geri çekilerek (Resim 23) lastik stoper referans yüzeyinde düz bir şekilde sabitlendi. Gösterimin 5 sn. süreyle ekranda sabit olması beklenerek, kök kanalından çıkarılan eğenin lastik stoperinin alt kenarından eğe ucuna kadar olan mesafe dijital kumpas ile ölçülerek kaydedildi. Aynı işlem üç kez yapıp, ölçüm sonuçlarının ortalaması alındı.





Resim 22. Propex Pixi cihazı ile yapılan ölçüm.



Resim 23. Propex Pixi cihazı ile yapılan ölçüm.

4. BULGULAR

Çalışmamızdan elde edilen veriler G25, G40, G50 grupları için $n = 20$ olmak üzere IBM SPSS 25 (IBM Corp, NY, USA) paket programıyla istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Verilerin dağılımlarının normallik varsayımına uygunluğunun kontrolünde grup içi örnek sayısından dolayı ($n=20$) Shapiro Wilk testi uygulanmıştır.

Grup içi ve gruplar arası analizlerde tanımlayıcı istatistiksel metotlar (ortalama, standart sapma, en büyük, en küçük), veri dağılımlarının normallik varsayımına uygun olması sebebiyle grup içi değerlendirmelerde tek yönlü varyans analizi (Anova) kullanılmıştır. Cihaz ölçüm sonuçlarının gerçek uzunluğa göre 0,5 mm'den daha küçük ölçüm yapması ve 0,05 mm'den daha büyük ölçüm yapması durumunda ölçüm sonucu başarısız kabul edilmiştir. Gruplar arası değerlendirmede aynı EAB'nin farklı apikal çaplarda, apikal çapla uyumsuz olan 15 no.lu eğeyle ölçümlerinin doğruluğu değerlendirilerek Ki-Kare Exact testi kullanılmıştır. Anlamlılık düzeyi $p<0,05$ anlamlı kabul edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Ölçüm sonuçlarının gerçek uzunluktan sapma miktarları Bland-Altman grafiği ile görselleştirilmiştir.

Tablo 1. G25 grubu için tanımlayıcı istatistik ve Shapiro-Wilk değerleri.

G25	Ortalama Değerler (mm)	Standart Sapma ($\pm$)	En Küçük Değer (mm)	En Büyük Değer (mm)	Shapiro-Wilk (p)
Gerçek Uzunluk	20,930	1,989	16,50	25,00	0,783
Root ZX mini ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	20,655	2,003	16,06	24,77	0,685
Raypex 6 ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	20,640	1,975	16,25	24,76	0,882
Propex Pixi ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	20,655	1,985	16,38	24,85	0,756
Root ZX mini ve 25 No.lu Eğe Ölçümleri	20,679	1,962	16,21	24,33	0,595
Raypex 6 ve 25 No.lu Eğe Ölçümleri	20,694	1,948	16,43	24,73	0,880
Propex Pixi ve 25 No.lu Eğe Ölçümleri	20,679	2,037	16,15	24,87	0,871
N	20	20	20	20	20

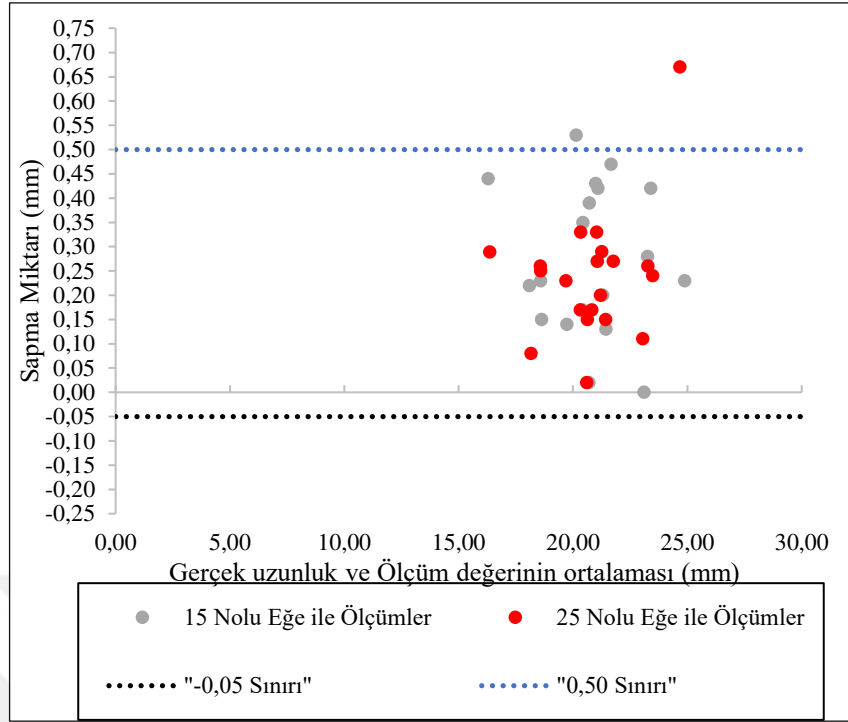
Tablo 2. G25 grubu ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ve Anova değerleri.

G25	Gerçek uzunluktan sapma miktarının ortalaması (mm)	Gerçek uzunluk ile elektronik ölçüm arasındaki farkın 0,5 mm'den fazla olduğu dış sayısı (n)	Gerçek uzunluk ile elektronik ölçüm arasındaki farkın -0,05 mm'den küçük olduğu dış sayısı (n)	Başarılı kabul edilen ölçüm sayısı (%)	Anova (p)
Root ZX mini ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	0,274	1	0	%95	0,126
Raypex 6 ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	0,289	1	0	%95	0,124
Propex Pixi ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	0,270	1	0	%95	0,117
Root ZX mini ve 25 No.lu Eğe Ölçümleri	0,236	1	0	%95	0,094
Raypex 6 ve 25 No.lu Eğe Ölçümleri	0,235	1	0	%95	0,090
Propex Pixi ve 25 No.lu Eğe Ölçümleri	0,237	1	0	%95	0,097

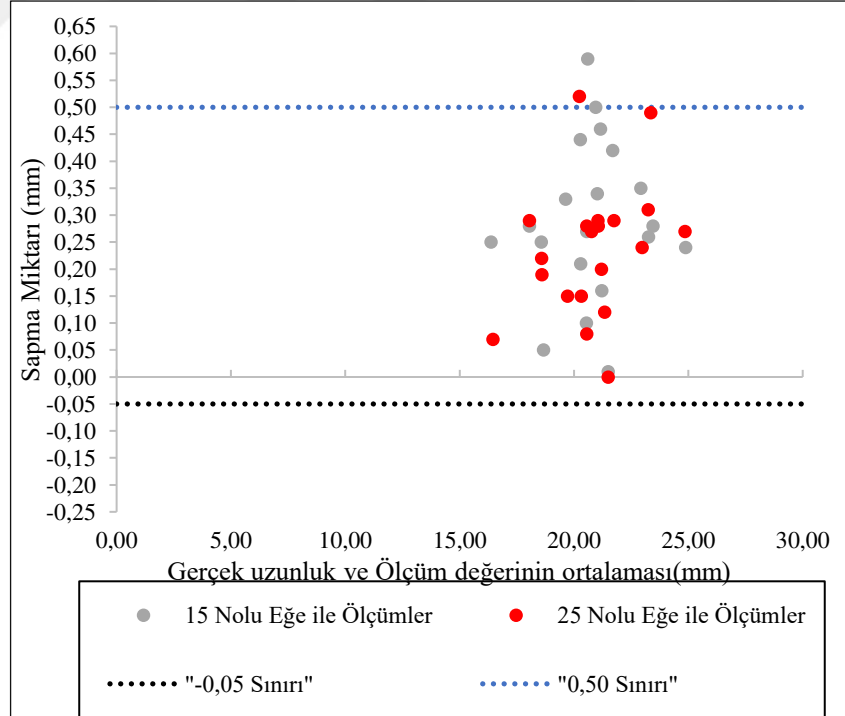
G25 grubunda 15 no.lu K tipi eğe ile gerçek uzunluk değerlerine en yakın sonuç veren cihaz Propex Pixi cihazıdır. Ölçümler arasında gerçek uzunluğa yakınlık bakımından anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$).

G25 grubunda 25 no.lu K tipi eğe ile gerçek uzunluk değerlerine en yakın sonuç veren cihaz Raypex 6 cihazıdır. Ölçümler arasında gerçek uzunluğa yakınlık bakımından anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$).

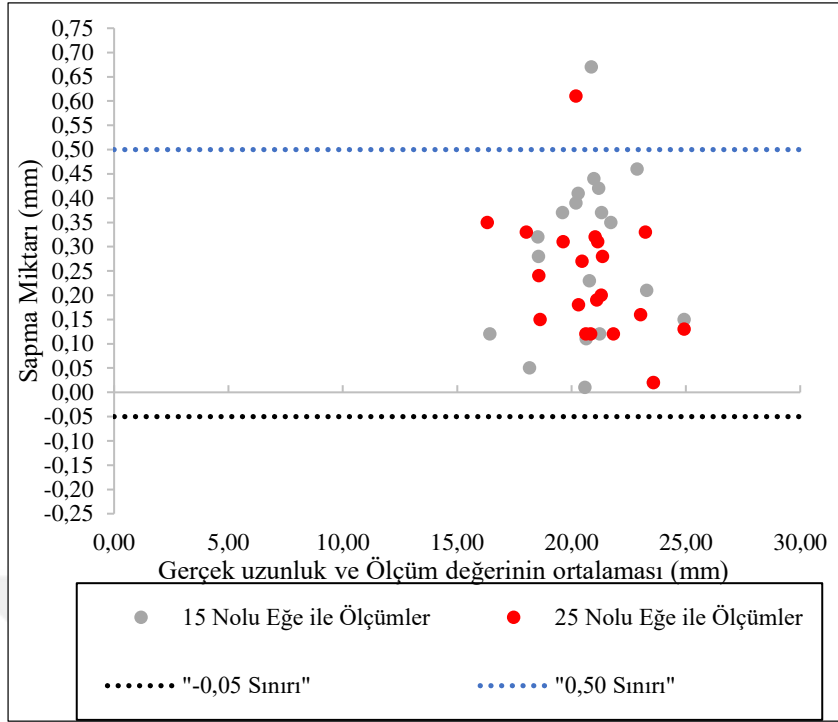
G25 grubunda 15 ve 25 no.lu eğelerle yapılan tüm elektronik ölçümlerde, 25 no.lu eğe ile yapılan ölçümler gerçek uzunluğa daha yakındır, ancak aralarında anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$) (Tablo 2).



Şekil 7. G25 grubunda Root ZX mini ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.



Şekil 8. G25 grubunda Raypex 6 ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.



Şekil 9. G25 grubunda Propex Pixi ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.

Tablo 3. G40 grubu için tanımlayıcı istatistik ve Shapiro-Wilk değerleri.

G40	Ortalama Değerler (mm)	Standart Sapma ($\pm$)	En Küçük Değer (mm)	En Büyük Değer (mm)	Shapiro-Wilk (p)
Gerçek Uzunluk	20,855	1,374	17,00	23,00	0,160
Root ZX mini ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	20,542	1,412	16,72	22,76	0,215
Raypex 6 ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	20,547	1,378	16,72	22,61	0,101
Propex Pixi ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	20,533	1,363	16,72	22,72	0,225
Root ZX mini ve 40 No.lu Eğe Ölçümleri	20,583	1,395	16,64	22,76	0,252
Raypex 6 ve 40 No.lu Eğe Ölçümleri	20,574	1,351	16,71	22,61	0,084
Propex Pixi ve 40 No.lu Eğe Ölçümleri	20,592	1,343	16,86	22,72	0,212
N	20	20	20	20	20

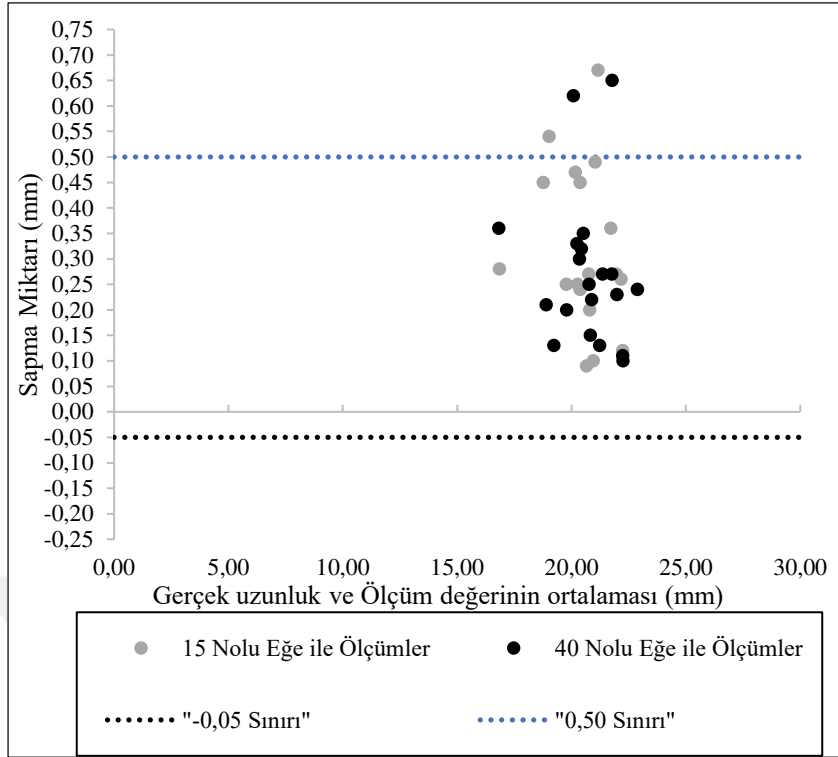
Tablo 4. G40 grubu ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ve Anova değerleri.

G40	Gerçek uzunluktan sapma miktarının ortalaması (mm)	Gerçek uzunluk ile elektronik ölçüm arasındaki farkın 0,5 mm'den fazla olduğu dış sayısı (n)	Gerçek uzunluk ile elektronik ölçüm arasındaki farkın -0,05 mm'den küçük olduğu dış sayısı (n)	Başarılı kabul edilen ölçüm sayısı (%)	Anova (p)
Root ZX mini ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	0,311	2	0	%90	0,110
Raypex 6 ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	0,308	1	1	%90	0,087
Propex Pixi ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	0,321	2	0	%90	0,117
Root ZX mini ve 40 No.lu Eğe Ölçümleri	0,272	2	0	%90	0,079
Raypex 6 ve 40 No.lu Eğe Ölçümleri	0,280	1	0	%95	0,094
Propex Pixi ve 40 No.lu Eğe Ölçümleri	0,263	1	0	%95	0,074

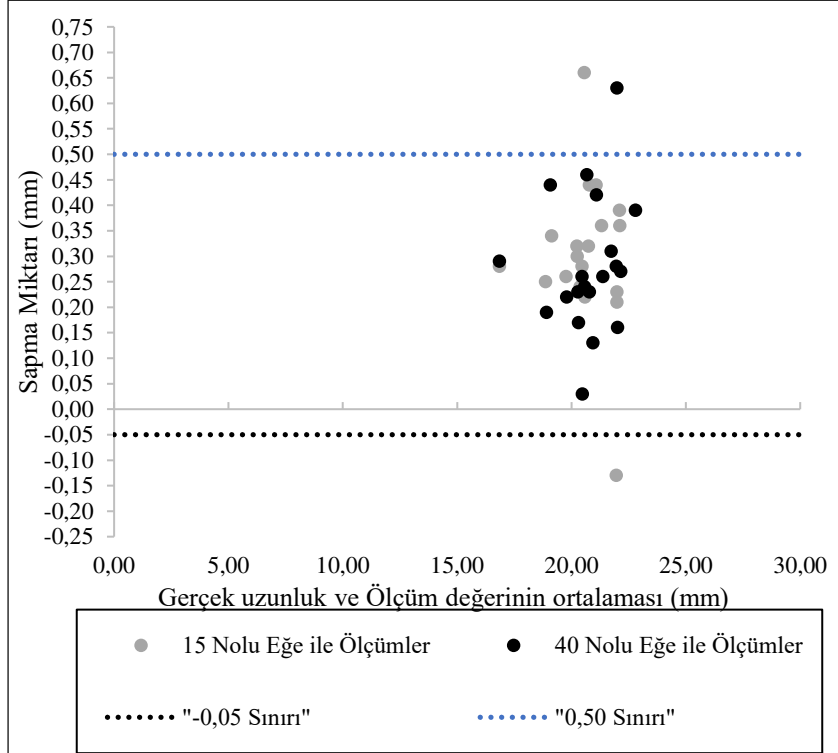
G40 grubunda 15 no.lu K tipi eğe ile gerçek uzunluk değerlerine en yakın sonuç veren cihaz Raypex 6 cihazıdır. Ölçümler arasında gerçek uzunluğa yakınlık bakımından anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$).

G40 grubunda 40 no.lu K tipi eğe ile gerçek uzunluk değerlerine en yakın sonuç veren cihaz Propex Pixi cihazıdır. Ölçümler arasında gerçek uzunluğa yakınlık bakımından anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$).

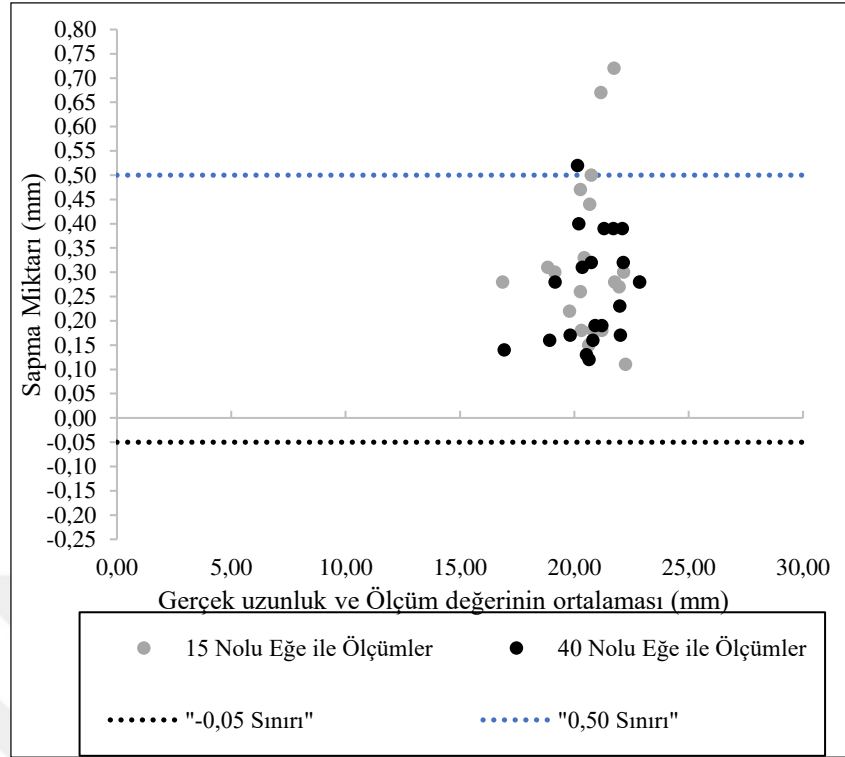
G40 grubunda 15 ve 40 no.lu eğelerle yapılan tüm elektronik ölçümlerde, 40 no.lu eğe ile yapılan ölçümler gerçek uzunluğa daha yakındır, ancak aralarında anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$) (Tablo 4).



Şekil 10. G40 grubunda Root ZX mini ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.



Şekil 11. G40 grubunda Raypex 6 ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.



Şekil 12. G40 grubunda Propex Pixi ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.

Tablo 5. G50 grubu için tanımlayıcı istatistik ve Shapiro-Wilk değerleri.

G50	Ortalama Değerler (mm)	Standart Sapma ($\pm$)	En Küçük Değer (mm)	En Büyük Değer (mm)	Shapiro-Wilk (p)
Gerçek Uzunluk	20,720	1,867	17,70	23,60	0,293
Root ZX mini ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	20,406	1,838	17,65	23,34	0,262
Raypex 6 ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	20,394	1,812	17,43	23,24	0,448
Propex Pixi ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	20,394	1,819	17,22	23,13	0,456
Root ZX mini ve 50 No.lu Eğe Ölçümleri	20,446	1,870	17,45	23,31	0,248
Raypex 6 ve 50 No.lu Eğe Ölçümleri	20,437	1,880	17,51	23,33	0,248
Propex Pixi ve 50 No.lu Eğe Ölçümleri	20,44	1,879	17,22	23,29	0,323
N	20	20	20	20	20

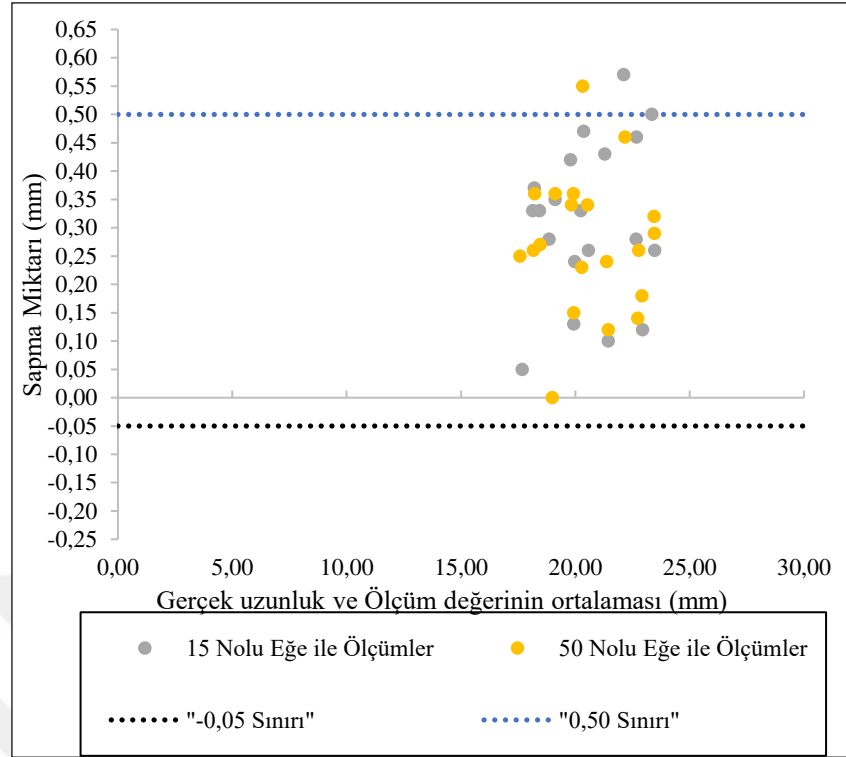
Tablo 6. G50 grubu ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ve Anova değerleri.

G50	Gerçek uzunluktan sapma miktarının ortalaması (mm)	Gerçek uzunluk ile elektronik ölçüm arasındaki farkın 0,5 mm'den fazla olduğu dış sayısı (n)	Gerçek uzunluk ile elektronik ölçüm arasındaki farkın -0,05 mm'den küçük olduğu dış sayısı (n)	Başarılı kabul edilen ölçüm sayısı (%)	Anova (p)
Root ZX mini ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	0,314	1	0	%95	0,108
Raypex 6 ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	0,325	2	0	%90	0,112
Propex Pixi ve 15 No.lu Eğe Ölçümleri	0,326	2	0	%90	0,114
Root ZX mini ve 50 No.lu Eğe Ölçümleri	0,274	1	0	%95	0,083
Raypex 6 ve 50 No.lu Eğe Ölçümleri	0,284	1	0	%95	0,102
Propex Pixi ve 50 No.lu Eğe Ölçümleri	0,280	1	0	%95	0,097

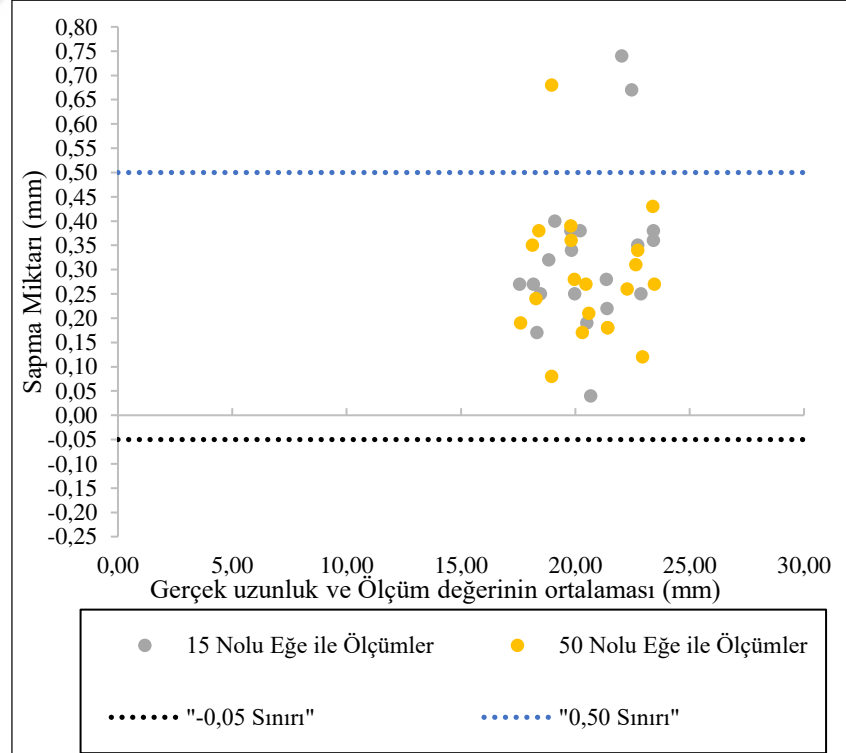
G50 grubunda 15 no.lu K tipi eğe ile gerçek uzunluk değerlerine en yakın sonuç veren cihaz Root ZX mini cihazıdır. Ölçümler arasında gerçek uzunluğa yakınlık bakımından anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$).

G50 grubunda 50 no.lu K tipi eğe ile gerçek uzunluk değerlerine en yakın sonuç veren cihaz Root ZX mini cihazıdır. Ölçümler arasında gerçek uzunluğa yakınlık bakımından anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$).

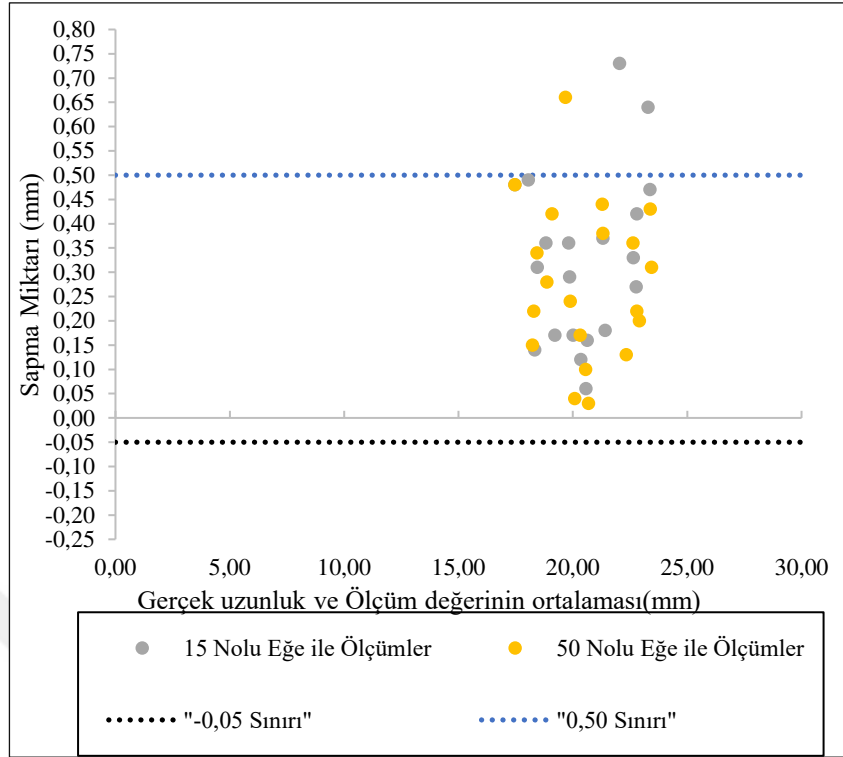
G50 grubunda 15 ve 50 no.lu eğelerle yapılan tüm elektronik ölçümlerde, 50 no.lu eğe ile yapılan ölçümler gerçek uzunluğa daha yakındır, ancak aralarında anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$) (Tablo 6).



Şekil 13. G50 grubunda Root ZX mini ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.



Şekil 14. G50 grubunda Raypex 6 ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.



Şekil 15. G50 grubunda Propex Pixi ile yapılan ölçüm sonuçlarının Bland-Altman grafiği ile gösterimi.

Tablo 7. Farklı apikal çaplara sahip G25, G40, G50 gruplarında 15 no.lu eğe ile yapılan elektronik ölçüm sonularınnı değerlendirilmesi

Elektronik Apeks Bulucu	Grup	Gerçek uzunluktan sapma miktarının ortalaması (mm)	Başarılı lm sayısı (n)	Başarısız lm sayısı (n)	Başarı (%)	Ki-Kare (p)
Root ZX mini	G25	0,274	19	1	%95	0,765*
	G40	0,311	18	2	%90	
	G50	0,314	19	1	%95	
Raypex 6	G25	0,289	19	1	%95	0,804*
	G40	0,308	18	2	%90	
	G50	0,325	18	2	%90	
Propex Pixi	G25	0,270	19	1	%95	0,804*
	G40	0,321	18	2	%90	
	G50	0,326	18	2	%90	

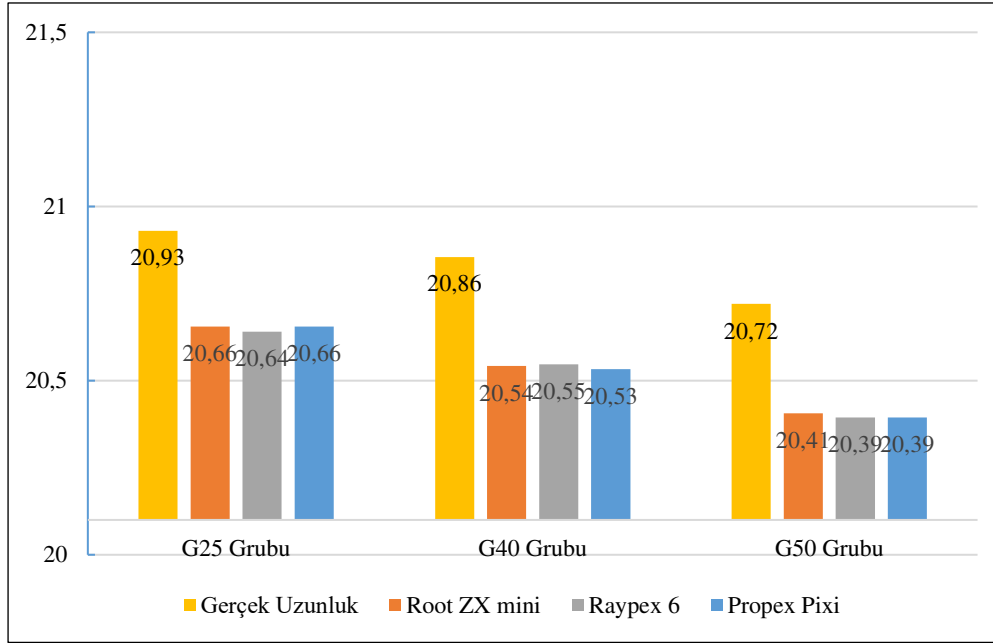
*3x2 tablolarda 5’ten küçük değer sayısı %20’den fazla ve en küçük beklenen değer 5’ten küçük olduğu için Ki-kare Exact testi uygulanmıştır.

Elde edilen verilere göre:

15 no.lu eğe ile yapılan ölçümlerde Root ZX mini G25 grubunda gerçek uzunluktan ortalama 0,274 mm sapma olmuş, %95 başarı göstermiştir. G40 grubunda gerçek uzunluktan ortalama 0,311 mm sapma olmuş %90 başarı göstermiştir. G50 grubunda gerçek uzunluktan ortalama 0,314 mm sapma olmuş %95 başarı göstermiştir. Apikal ap ile Root ZX mini’nin ölçüm doğruluğu arasında ilişki yoktur ($p>0,05$).

15 no.lu eğe ile yapılan ölçümlerde Raypex 6 G25 grubunda gerçek uzunluktan ortalama 0,289 mm sapma olmuş, %95 başarı göstermiştir. G40 grubunda gerçek uzunluktan ortalama 0,308 mm sapma olmuş %90 başarı göstermiştir. G50 grubunda gerçek uzunluktan ortalama 0,325 mm sapma olmuş %90 başarı göstermiştir. Apikal ap ile Raypex 6’nın ölçüm doğruluğu arasında ilişki yoktur ($p>0,05$).

15 no.lu eğe ile yapılan ölçümlerde Propex Pixi G25 grubunda gerçek uzunluktan ortalama 0,270 mm sapma olmuş, %95 başarı göstermiştir. G40 grubunda gerçek uzunluktan ortalama 0,321 mm sapma olmuş %90 başarı göstermiştir. G50 grubunda gerçek uzunluktan ortalama 0,326 mm sapma olmuş %90 başarı göstermiştir. Apikal çap ile Propex Pixi'nin ölçüm doğruluğu arasında ilişki yoktur ($p>0,05$).



Şekil 16. Gruplar arası 15 no.lu eğe ile yapılan ölçümlerin ortalama değerleri ile gerçek uzunluk ortalama değerlerinin grafiksel gösterimi.

5. TARTIŞMA

Kök kanal tedavisinde; yeterli ve uygun şekillendirme, dezenfeksiyon ve dolum işlemleri çalışma uzunluğunun doğru bir şekilde belirlenmesiyle mümkündür. Çalışma uzunluğunun doğru belirlenememesi; bu işlemlerin yetersiz yapılmasına ve başarısızlığa neden olur (44). Çalışma uzunluğunun apikaldeki sınırı kanalın en dar kısmı olan AD'dir (1). Histolojik çalışmalarla, şekillendirme ve dolum işlemlerinin AD ile sınırlı olduğu vakalarda iyileşmenin daha iyi olduğu gösterilmiştir (98). AF'den taşan, nekroze pulpa dokusu, dentin debris, kanal patı ve gütta perkanın enflamatuvar reaksiyonlara sebep olup işlem sonrası ağrıya neden olabileceği veya yabancı cisim reaksiyonunu tetikleyebileceği histopatolojik çalışmalarla gösterilmiştir (168, 169). Çalışma uzunluğunun kısa olarak belirlenmesi ise yetersiz şekillendirme, dolum yapılmasına ve tam olarak mikroorganizmalardan temizlenemeyen bu bölgelerden dolayı tedavinin başarı oranı düşer (156, 169).

Çalışma uzunluğunu belirlemek için parmak hassasiyeti, radyografik yöntem ve EAB'ler kullanılmaktadır (1). Radyografik yöntemle, kanal eğimine, radyolojik apeksin anatomik apeksle olan ilişkisine bağlı olarak doğru çalışma uzunluğu belirlenmesi son derece zordur. Ayrıca radyografiler iki boyutlu olduğundan yanlış yorumlamalara neden olur. Çalışma uzunluğunun tespitinde radyografiler ile EAB'lerin birlikte kullanımı önerilmiştir (68, 170, 171). Radyografik yöntemin diğer dezavantajları; film pozisyonu ve diş eğiminin uyumlu olmaması, kon uzunluğu, konun yatay ve dikey açısı, filmi okutma, banyo problemleridir. Radyografik yöntemde hastalar radyasyona maruz kalmaktadırlar (172).

EAB'ler, insan dokularının elektriksel özelliklerinden faydalanarak çalışma uzunluğunun belirlenmesinde uzun yıllardır kullanılan cihazlardır. Ex vivo ve in vivo birçok çalışma EAB'ler ile belirlenen çalışma uzunluğunun, radyografik yöntemle göre daha güvenilir ve doğru ölçümler verdiğini göstermiştir (173, 174). EAB'ler ile çalışma uzunluğunun belirlenmesi hızlı, pratik, işlem sırasında tekrarlanabilir. Ayrıca hasta ve hekim radyasyondan korunmuş olur (175). Martins ve ark. çalışmalardaki EAB'ler ile radyografik yöntemin doğruluklarını değerlendirmiş, %43,9 ile %81,9 oranları arasında EAB'lerin doğruluk gösterdiğini, radyografik

yöntemin ise %14,6 ile %32,72 oranlarında doğruluk gösterdiğini belirtmişlerdir (176).

EAB'lerin doğruluklarını etkileyen faktörler birçok çalışmaya konu olmuştur (80, 88, 104, 121, 124, 130). Apikal çapın genişliği, bu çapa uygun eğe seçimi de EAB'lerin doğruluğunu etkileyen faktörlerdendir (138, 140, 177) Çalışmamızda genişletilmiş apikal çaplara sahip 60 adet mandibular premolar dişte, Root ZX mini, Raypex 6, Propex Pixi EAB'leri apikal çapa uyumlu ve uyumlu olmayan eğelerle kullanılarak doğrulukları in vitro koşullarda değerlendirilmiştir.

Apikal çapla uyumlu eğe kullanımı birçok çalışmada araştırılmıştır (138, 140, 177). EAB'lerle yapılan elektronik uzunluk ölçümlerinde doğruluğu arttırmak için eğe boyutunun apikal çapa mümkün olduğunca yakın olması gerektiği belirtilmiştir (166, 178). Ekici ve ark. apikal çapları Protaper F1, F2, F3 ile genişletmiş ve apikal çaplarla uyumlu 25, 30, 35 no.lu el eğeleriyle elektronik ölçümler yapmıştır (179). Briseño-Marroquín ve ark. 08, 10, 15 no.lu el eğeleriyle ölçüm doğruluğunu genişletilmemiş dişlerde araştırmışlardır (177). Aydın ve ark. 0,32, 0,57, 0,72 mm çaplara genişletilmiş dişlerde apikali genişlettikleri 30, 55, 70 no.lu el eğeleriyle elektronik ölçümleri kıyaslamışlardır (141). Herrera ve ark. 0,6 – 1 mm çaplara sahip dişlerde 10 no.lu eğeyle Root ZX'in doğruluğunu kıyaslamıştır (15). Fan ve ark. kök kanallarını taklit eden farklı çaptaki cam tübüllerde 15 no.lu el eğesiyle elektronik ölçümleri gerçekleştirmiştir (126). Çalışmamızda genişletilmiş apikal çaplara sahip dişlerde apikal çapla hem uyumlu olan 25, 40 ve 50, hem de uyumsuz olan 15 no.lu el eğesi kullanılarak elektronik ölçümler yapılmıştır.

Thomas ve ark., Nekoofar ve ark. nikel titanyum ve paslanmaz çelik eğeler kullanarak yapılan çalışma boyu tespitinde alaşım türünün ölçümlere etkisi olmadığını belirtmiştir (131, 133). Çalışmamızda paslanmaz çelik eğeler ile elektronik çalışma uzunluğu ölçümleri yapılmıştır.

EAB'lerin doğruluklarını kıyaslayan in vivo ve in vitro olmak üzere birçok çalışma yapılmıştır. Meares ve ark. in vitro çalışmaların kolay oluşu ve deney koşullarının araştırmacının kontrolünde olması gibi avantajlarını belirtmiştir (125). Ebrahim ve ark. in vitro ve in vivo çalışmaları kıyaslayarak, in vitro çalışmaların farklı değişkenlerle EAB'lerin objektif değerlendirilmesini sağladığını ve in vivo

çalışmalara göre daha yararlı olduğunu belirtmiştir (180). Huang az zamanda daha çok numuneyle çalışılabildiği için elektronik apeks bulucularla ilgili çalışmalarda in vitro modelleri önermiştir (181). Briseño-Marroquín ve ark. in vitro çalışmalarda farklı EAB ve farklı büyüklükte eğelerle çalışılabildiğini, tekrarlı ölçümlerin yapılabildiğini, fazla sayıda örnekle çalışma yapılarak daha güvenilir istatistiksel analizler sağlandığını belirtmiştir (177). Duran-Sindreu ve ark. in vivo ve in vitro olarak yaptıkları çalışmada Root ZX'in doğruluğunu kıyaslamış, klinik koşullarla laboratuvar koşulları arasında anlamlı bir fark bulamamıştır (182). Bu bilgilerin ışığında çalışmamız in vitro koşullarda gerçekleştirildi.

Çalışmanın standardizasyonunu sağlamak ve farklılıkları en aza indirmek için kanal boyutu, anatomisi ve çaplarının benzer olması için aynı grup dişlerin kullanılması önerilmiştir (183, 184). Kırık ve çatlak dişlerin çalışma sonucunu etkilememesi için nemini koruyan, yeni çekilmiş mandibular premolar dişler kullanılmıştır.

EAB'ler ile yapılan ex vivo çalışmalarda hataları en aza indirmek ve ölçüm sonuçlarının etkilenmemesi için eğelerin lastik stoperlerinin diş üzerinde düz yüzeyde sabitlenmesi gerektiği bildirilmiştir (185, 186). Vieyra ve Acosta ölçümlerin değişmezliği için ölçüm yapılan ege üzerinde iki stoper kullanmışlardır (159). Araştırmamızda kullanılan dişlerin bukkal tüberkülleri üzerinde elmas fissür frezle su soğutması altında düz bir referans yüzeyi oluşturulmuş, çalışma boyunun değişmemesi için de genişletme esnasında eğeler iki stoperli olarak kullanılmıştır.

EAB'lerle ilgili in vitro birçok çalışmada aljinat modeller tercih edilmiştir (181, 187-189). Baldi ve ark. % 1 agar, jelatin, aljinat, salin ve saline batırılmış çiçek süngerinin deney koşullarına etkisini karşılaştırarak ortamlar arasında anlamlı bir fark olmadığını fakat aljinatın diğer ortamlara göre üstün olduğunu belirtmiştir (190). Aljinat elektriksel özellikleriyle insan periodontal dokularını taklit edebilmektedir, kullanımı kolay ve ucuzdur (88, 187, 191, 192). Çalışmamızda ölçüm ortamının oluşturulmasında 50 ml'lik eşit hacimli akrilik kutulara doldurulmuş aljinat kullanılmıştır.

EAB ile ilgili çalışmalarda kullanılan aljinatın yerleştirilmesinden sonraki iki saat içinde nem kaybının en az olduğu, yapılacak elektronik ölçümlerin de bu iki saat

içerisinde tamamlanması gerektiği bildirilmiştir (186, 193). Lipski ve ark. yapılacak elektronik ölçümlerde, kullanılan aljinatın en doğru sonucu yerleştirmeyi takiben 30 dk. içinde verdiğini bildirmiştir (194). Çalışmamızda yapılan tüm elektronik ölçümler 30 dk. içinde tamamlanmıştır.

Gerçek çalışma uzunluğunun belirlenmesinde eğe ucunun apikalden çıkışını görmek için çıplak gözün yetersiz kalacağı, apikalden çıkışı gözlemlemek için büyütme ve aydınlatma araçlarının kullanımıyla (loop, dental mikroskop, stereo mikroskop) eğe ucunun konumunun daha net belirlenebileceği belirtilmiştir (189, 195, 196). Çalışmamızda gerçek kanal uzunluğunu belirlemek için 10 kat büyütmede stereo mikroskop kullanılmıştır.

EAB'ler ile yapılan in vitro çalışmalarda gerçek kanal uzunluğunun apikaldeki sınırı bazı çalışmalarda AD, bazılarında ise AF olarak belirlenmiştir (31, 102, 103, 193). Bu referans sınırının AF olarak seçildiği çalışmalarda büyütme ve ışık yardımıyla AF tespit edilerek kanal eğesi foramende görülene kadar ilerletilmiştir. Daha sonra kurondaki referans noktasında eğenin stoperi sabitlenip, stoper alt kenarı ile eğe ucu mesafesi ölçülerek gerçek kanal uzunluğu olarak kaydedilmiştir (31, 100, 193, 196).

Referansın apikaldeki sınırı AD olarak belirlendiği çalışmalarda, AD iki farklı yöntemle belirlenmiştir: Bunlardan ilkinde büyütme yardımıyla belirlenen büyük AF ile kurondaki referans noktası arasında sabitlenen eğenin uzunluğu ölçülmüştür. AD'nin, AF'den 0,5-1 mm gerisinde olduğu esas alınarak, elde edilen uzunluktan 0,5 veya 1 mm çıkartılarak elde edilen uzunluğun gerçek kanal uzunluğu olduğu kabul edilmiştir (102, 186, 197). İkincisinde ise, apikal 3-4 mm'lik kısımda aşındırma yapılarak, kök kanalına yerleştirilen eğenin AD'deki konumu ışık ve büyütme yardımıyla görsel olarak tespit edilmiştir. AD'de konumu sabitlenen eğenin, kurondaki referans noktası ile eğe ucu arasındaki mesafe ölçülerek gerçek kanal uzunluğu olarak belirlenmiştir (103, 171, 198).

Çalışmamızda tüm dişler için kök kanallarında ve AF'da standardizasyonu sağlamak amacıyla, referans olarak stereo mikroskopta görsel yöntemle tespit edilen AF referans alınmıştır.

İlk nesil EAB'ler kanal içerisinde elektro iletken sıvı varlığında yanlış sonuçlar göstermiştir (4). Kobayashi ve Suda farklı frekansa sahip akımlarla ölçülen empedans değerlerinin orantısının, kanal içerisindeki farklı elektro iletken sıvılardan etkilenmediğini göstermişlerdir. Yeni nesil EAB'ler ikiden fazla akım kullanarak bu akımlarla ölçülen empedans değerlerini orantılayarak AD'nin yerini tespit etmektedir (9, 69).

Tınaz ve ark. farklı konsantrasyonlardaki (%5,25, %2,65, %1 ve %0,50) NaOCl'nin Root ZX'in doğruluğu üzerinde etkisini incelemiş, farklı konsantrasyonların ölçüm doğruluğu üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını bildirmiştir (88). Saito ve ark. salin, %5'lik NaOCl, %14'lük EDTA ve %3'lük H₂O₂ gibi irrigasyon solüsyonlarının, ege ve AF'nin boyutuna bakılmaksızın AF'nin tespit edilmesine etkisinin olmadığını belirtmiştir (11). Dunlap ve ark. %2,5'lik NaOCl kullanılarak Root ZX ile yapılan elektronik uzunluk ölçümlerinin %82,3'ünün AD'ye $\pm 0,5$ mm uzaklıkta olduğunu bildirmiştir (98). Venturi ve Breschi kuru kanallarda oluşan düşük iletken koşulları nedeniyle Root ZX ile yapılan elektronik ölçümlerin yanlış ve tutarsız olduğunu bildirmiştir (197). Altunbaş ve ark. %2,5'lik NaOCl, %0,9'luk salin, %17'lik EDTA kullanarak yaptıkları çalışmada Dentaport ZX ve Rotor EAB'leriyle en doğru sonucun kuru kanallarda elde edildiğini belirtmişlerdir (121). Fan ve ark. kök kanallarını taklit eden farklı uzunluk ve çapa sahip cam tübüllerde yaptıkları çalışmada tübüller kuru veya çok az miktarda elektro iletken ile dolu olduğunda tübül çapındaki artışın elektronik uzunluk ölçümlerini etkilemediğini belirtmiştir. Ancak tübüller %0,9'luk salin, %3'lük H₂O₂, %5'lik NaOCl ve %17'lik EDTA irrigasyon solüsyonları ile dolu olduğunda tübül çapı arttıkça Root ZX'in doğruluğu azalmıştır (126). Marigo ve ark. Dentaport ZX ile elde edilen elektronik ölçüm sonuçlarının %5,25'lik NaOCl'nin varlığında veya yokluğunda değişmediğini belirtmiştir (199). EAB'ler ile ilgili yapılan çalışmalarda anestezi solüsyon, kan, salin ve irrigasyon solüsyonlarının EAB'lerin doğruluklarına etkisi halen tartışmalıdır (86).

Boutsoukis ve ark. açık uçlu iğnelerin çalışma uzunluğundan 2 mm kısa yerleştirildiğinde kök kanalındaki irrigasyon sıvısını tam değişim yaptığını belirtmişlerdir (200). Çalışmamızda açık uçlu iğnelerle, çalışma boyundan 2 mm kısa olarak irrigasyon yapılmıştır.

EAB'ler ile elde edilen elektronik ölçüm uzunluğunun değerlendirilmesinde gerçek uzunluğa göre 0,5 ve 1 mm'lik mesafeler kullanılmıştır. Değerlendirme ölçütündeki bu farklılıktan dolayı aynı EAB için bir çalışmada doğruluk %69,2 olurken başka bir çalışmada %95 olabilmektedir(201, 202). Oluşacak 1 mm'lik boşluk mikroorganizmaların çoğalabilmeleri ve kanal tedavisinin başarısızlığına neden olması için yeterlidir (167). Shabahang ve ark. EAB'lerin değerlendirilmesinde 1 mm'nin kabul edilir bir mesafe olduğunu belirtmiştir (99). Çalışmamızda EAB'lerin doğruluğunu değerlendirirken elektronik ölçüm sonuçlarının gerçek uzunluktan 0,5 mm'den daha kısa olması ve 0,05 mm'den daha uzun olması durumunda başarısız kabul edilmiştir.

Çalışmamızın sonuçlarına göre elektronik ölçüm sonuçları ile gerçek uzunluğa olan ortalama uzaklıkları karşılaştırıldığında en başarılı ölçüm ile en başarısız ölçüm arasındaki fark 0,052 ile 0,059 arasında değişmektedir. EAB'ler %90-%95 düzeyinde başarılı bulunmuştur. Grup içi değerlendirmelerde EAB'ler arasında ve ölçüm yapılan ege arasında anlamlı bir fark yoktur. Gruplar arası değerlendirmede ise EAB'lerin başarılı ölçüm yapmasında artan apikal çapın etkisi yoktur.

Root ZX mini, Root ZX'in modifiye edilmiş, aynı çalışma biçiminde işleyen ancak minik bir boyuta sahip olarak geliştirilmiştir (203, 204). Root ZX altın standart olarak birçok çalışmada kullanılmıştır (205). Bu EAB'nin doğruluğunun in vitro çalışmalarda %95 ve %56,2 arasında olduğu bildirilmiştir (203, 206).

Raypex 6, daha önce Raypex 4 ve 5'in değerlendirilmesiyle klinik performansının başarılı olduğu tespit edilen Raypex serisinin son üyesidir (157, 158). Moscoso ve ark. Raypex 6'nın doğruluğunu değerlendirdikleri çalışmada tüm vakaların gerçek uzunluğa göre $\pm 0,5$ mm'sinde %88,22, ± 1 mm'sinde %100 başarılı olarak AF'yi tespit ettiğini belirtmiştir (156). Hilú, Raypex 6'yı %96,4 başarılı bulmuştur (207). Demiriz ve ark. Raypex 6'yı $\pm 0,5$ mm'de %77 başarılı bulmuştur (208).

Propex Pixi, çok frekanslı cep boyutunda bir EAB'dir(153). Cihazın çalışma yöntemi, AD'ye ulaşıldığında hızlı empedans değişimini ikiden fazla frekans kullanarak ölçer ve iki frekanslı cihazlara benzer şekilde çalışır (7). In vitro çalışmalarda Propex Pixi'nin doğruluğu apikal foramende %87-%93, apikal

foramenlerden 1 mm kısa %63-%67 ve AD'ye göre $\pm 0,5$ mm'de %80 olarak bildirilmiştir (163, 209).

Herrera ve ark. genişletilmiş apikal çaplarda farklı eğelerle ölçümler yapmıştır. Root ZX 0,6 mm çapta herhangi bir eğe ile yapılan ölçümde doğru sonuç göstermiştir. 0,7 ve 0,8 mm apikal çaplarda, apikal çapla uyumlu eğe kullanılmasının gerektiğini; 0,9 mm ve üzerindeki çaplarda Root ZX'in yanlış sonuç gösterdiğini belirtilmiştir (166).

Akisue ve ark. apikal çapları 0,27, 0,47, 0,72 olan dişlerde beş farklı EAB'yi karşılaştırmışlardır. Çalışmada Root ZX'in tüm apikal çaplarda doğruluğunun değişmediğini ancak Propex II'nin artan apikal çapla doğruluğunun azaldığını belirtmiştir (140).

Kolanu ve ark. apikal çaplarını sırasıyla 0,6, 0,7 ve 0,8 mm'ye genişlettikleri dişlerde; Propex pixi'nin 0,6 mm apikal çapta başarılı, 0,7 ve 0,8 mm apikal çaplarda başarısız olduğunu belirtmiştir (165).

Aydın ve ark. Raypex 6 ve Root ZX'i 0,32, 0,57, ve 0,72 mm'ye genişletilmiş dişlerde karşılaştırmıştır. Her iki cihaz da 0,32 mm apikal çapta başarılı sonuçlar göstermesine rağmen, 0,57 mm ve üzerindeki çaplarda başarısının azaldığı gösterilmiştir (141).

Ekici ve ark. Protaper F1, F2 ve F3 ile genişlettikleri 0,27, 0,33 ve 0,39 mm apikal çapa sahip dişlerde Raypex 5, Raypex 6 ve iPex EAB'lerini 25, 30, 35 no.lu el eğeleriyle ölçümler yaparak kıyaslamışlardır. Raypex 5 ve 6, iPex cihazları arasında anlamlı bir fark bulunmadığını, yapılan ölçümlerin klinik olarak başarılı olduğunu belirtmişlerdir (179).

Ebrahim ve ark. 0,4, 0,6 ve 0,8 mm'lik apikal çaplara kadar genişlettikleri dişlerde küçük boyutlu eğelerle ve farklı irrigasyon solüsyonlarıyla Root ZX'in doğruluğunu değerlendirmiştir. Kök kanalının çapı arttıkça, daha küçük boyutlu eğeler ile yapılan uzunluk ölçümleri daha kısa bulunmuştur. Irrigasyon olarak kan kullanıldığında elektronik uzunluk ölçümü için hazırlanan kanal çapına yakın büyüklükte bir eğe kullanılmasının gerektiğini, NaOCl varlığında ise eğe kanalın çapından çok daha küçük olsa bile Root ZX'in başarılı sonuç verdiğini bildirmiştir (138).

Çalışmamızda elde edilen sonuçlar bu konuda yapılmış diğer çalışmalara benzer ve paraleldir.



6. SONUÇLAR

1. Apikal ap arttıkça, apikal çaptan kk eğe ile ölçülen elektronik çalışma uzunluğu, gerçek uzunluğa göre daha kısa ölçülür.
2. Elektronik alışma uzunluğu belirlenmesinde, apikal çapla uyumlu eğe kullanıldığında gerçek uzunluğa daha yakın sonuçlar elde edilir.
3. Apikal apı 0,5 mm'ye kadar değişen dişlerde, elektronik ölçümlerde kullanılan eğe büyüklüğünün anlamlı bir farkı yoktur.
4. Bu çalışmanın sınırları doğrultusunda; Root ZX mini, Raypex 6 ve Propex Pixi EAB'leri elektronik yöntemle çalışma uzunluğu belirlenmesinde güvenilir bulunmuştur.

7. KAYNAKLAR

1. Heo M-S, Han D-H, An B-M, Huh K-H, Yi W-J, Lee S-S, et al. Effect of ambient light and bit depth of digital radiograph on observer performance in determination of endodontic file positioning. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105(2):239-244.
2. Bramante CM, Berbert A. A critical evaluation of some methods of determining tooth length. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1974;37(3):463-473.
3. Cox VS, Brown Jr CE, Bricker SL, Newton CW. Radiographic interpretation of endodontic file length. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1991;72(3):340-344.
4. Katz A, Tamse A, Kaufman AY. Tooth length determination: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1991;72(2):238-242.
5. Tamse A, Kaffe I, Fishel D. Zygomatic arch interference with correct radiographic diagnosis in maxillary molar endodontics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1980;50(6):563-565.
6. Tidmarsh B, Sherson W, Stalker N. Establishing endodontic working length: a comparison of radiographic and electronic methods. *Zeal Dent J* 1985;81(365):93.
7. Gordon M, Chandler N. Electronic apex locators. *Int Endod J* 2004;37(7):425-437.
8. Kobayashi C, Okiji T, Kaqwashima N, Suda H, Sunada I. A basic study on the electronic root canal length measurement: Part 3. Newly designed electronic root canal length measuring device using division method. *Jpn J Conserv Dent* 1991;34:1442-1448.
9. Kobayashi C, Suda H. New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J Endod* 1994;20(3):111-114.
10. Kaval ME, Dönmez H. Elektronik Apeks Bulucular. *Ege Univ Dis Hekim Fak Derg* 2013;34(2):73-78.
11. Saito T, Yamashita Y. 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. *Dent Jpn (Tokyo)* 1990;27(1):65-72.
12. Stein TJ, Corcoran JF, Zillich RM. The influence of the major and minor foramen diameters on apical electronic probe measurements. *J Endod* 1990;16(11):520-522.
13. Fouad AF, Rivera EM, Krell KV. Accuracy of the endex with variations in canal irrigants and formane size. *J Endod* 1993;19(2):63-67.

14. Nguyen H, Kaufman A, Komorowski R, Friedman S. Electronic length measurement using small and large files in enlarged canals. *Int Endod J* 1996;29(6):359-364.
15. Herrera M, Ábalos C, Lucena C, Jiménez-Planas A, Llamas R. Critical diameter of apical foramen and of file size using the Root ZX apex locator: an in vitro study. *J Endod* 2011;37(9):1306-1309.
16. Hargreaves KM, Berman LH. Cohen's pathways of the pulp expert consult. Elsevier Health Sciences; 2015.
17. Kuttler Y. Microscopic investigation of root apices. *J Am Dent Assoc* 1955;50(5):544-552.
18. Saad A, Al-Yahya A. The location of the cementodentinal junction in single-rooted mandibular first premolars from Egyptian and Saudi patients: a histological study. *Int Endod J* 2003;36(8):541-544.
19. Smulson MH, Hagen JC, Ellenz S. Pulpo-periapical pathology and immunologic considerations. In: *Endodontic Therapy*. St Louis: Mosby-Yearbook Inc; 1996. p. 166-167.
20. Grove CJ. Why root canals should be filled to the dentinocemental junction. *J Am Dent Assoc* 1930;17(2):293-296.
21. Grove CJ. Faulty technic in investigations of the apices of pulpless teeth. *J Am Dent Assoc* 1926;13(6):746-747.
22. Coolidge ED. Anatomy of the root apex in relation to treatment problems. *J Am Dent Assoc* 1929;16(8):1456-1465.
23. Von der Lehr W, Marsh R. A radiographic study of the point of endodontic egress. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1973;35(1):105-109.
24. Green D. Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 1960;13(6):728-733.
25. Pineda F, Kuttler Y. Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1972;33(1):101-110.
26. Altman M, Guttuso J, Seidberg BH, Langeland K. Apical root canal anatomy of human maxillary central incisors. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1970;30(5):694-699.
27. Blaškovič-Šubat V, Maričić B, Šutalo J. Asymmetry of the root canal foramen. *Int Endod J* 1992;25(3):158-164.
28. Dummer PM, McGinn JH, Rees DG. The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *Int Endod J* 1984;17(4):192-198.

29. Kasahara E, Yasuda E, Yamamoto A, Anzai M. Root canal system of the maxillary central incisor. *J Endod* 1990;16(4):158-161.
30. Simon J. The apex: how critical is it? *Gen Dent* 1994;42(4):330-334.
31. Ounsi H, Naaman A. In vitro evaluation of the reliability of the Root ZX electronic apex locator. *Int Endod J* 1999;32(2):120-123.
32. Burch JG, Hulen S. The relationship of the apical foramen to the anatomic apex of the tooth root. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1972;34(2):262-268.
33. Langeland K. The histopathologic basis in endodontic treatment. *Dent Clin North Am* 1967:491.
34. Chapman C. A microscopic study of the apical region of human anterior teeth. *Int Endod J* 1969;3(4):52-58.
35. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J* 1998;31(6):394-409.
36. Endodontology ESo. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J* 2006;39(12):921-930.
37. Hassanien EE, Hashem A, Chalfin H. Histomorphometric study of the root apex of mandibular premolar teeth: an attempt to correlate working length measured with electronic and radiograph methods to various anatomic positions in the apical portion of the canal. *J Endod* 2008;34(4):408-412.
38. ElAyouti A, Weiger R, Löst C. Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. *J Endod* 2001;27(1):49-52.
39. Vieyra J, Acosta J, Mondaca J. Comparison of working length determination with radiographs and two electronic apex locators. *Int Endod J* 2010;43(1):16-20.
40. Taintor J, Biesterfeld R, Valle G. Termination of the root canal filling. *Dent Surv* 1979;55(3):54.
41. Morfis A, Sylaras S, Georgopoulou M, Kernani M, Prountzos F. Study of the apices of human permanent teeth with the use of a scanning electron microscope. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1994;77(2):172-176.
42. Schilder H. Filling root canals in three dimensions. *J Endod* 2006;32(4):281-290.
43. Arslan H, Güven Y, Karataş E, Doğanay E. Effect of the simultaneous working length control during root canal preparation on postoperative pain. *J Endod* 2017;43(9):1422-1427.
44. Sjögren U, Hägglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* 1990;16(10):498-504.

45. Seidberg BH, Alibrandi BV, Fine H, Logue B. Clinical investigation of measuring working lengths of root canals with an electronic device and with digital-tactile sense. *J Am Dent Assoc* 1975;90(2):379-387.
46. Stock C. Endodontics--position of the apical seal. *Br Dent J* 1994;176(9):329.
47. Mello-Moura ACV, Moura-Netto Cd, Araki A, Guedes-Pinto AC, Mendes FM. Ex vivo performance of five methods for root canal length determination in primary anterior teeth. *Int Endod J* 2010;43(2):142-147.
48. Walton RE. Endodontic Radiography. In: Ingle JIB, Leif K., Baumgartner JC, editors. *Ingle's Endodontics*. BC Decker; 2008. p. 554.
49. Nair MK, Nair UP. Digital and advanced imaging in endodontics: a review. *J Endod* 2007;33(1):1-6.
50. Lamus F, Katz JO, Glaros AG. Evaluation of a digital measurement tool to estimate working length in endodontics. *J Contemp Dent Pract* 2001;2(1):24-30.
51. Leddy BJ, Miles DA, Newton CW, Brown Jr CE. Interpretation of endodontic file lengths using radiovisiography. *J Endod* 1994;20(11):542-545.
52. Olson A, Goering A, Cavataio R, Luciano J. The ability of the radiograph to determine the location of the apical foramen. *Int Endod J* 1991;24(1):28-35.
53. Pratten DH, McDonald N. Comparison of radiographic and electronic working lengths. *J Endod* 1996;22(4):173-176.
54. Nekoofar M, Ghandi M, Hayes S, Dummer P. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *Int Endod J* 2006;39(8):595-609.
55. Venskutonis T, Plotino G, Juodzbaly G, Mickevičienė L. The importance of cone-beam computed tomography in the management of endodontic problems: a review of the literature. *J Endod* 2014;40(12):1895-1901.
56. Asgary S, Nikneshan S, Akbarzadeh-Bagheban A, Emadi N. Evaluation of diagnostic accuracy and dimensional measurements by using CBCT in mandibular first molars. *J Clin Exp Dent* 2016;8(1):e1.
57. Maret D, Peters OA, Galibourg A, Dumoncel J, Esclassan R, Kahn J-L, et al. Comparison of the accuracy of 3-dimensional cone-beam computed tomography and micro-computed tomography reconstructions by using different voxel sizes. *J Endod* 2014;40(9):1321-1326.
58. Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo B, Azevedo JR. Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis. *J Endod* 2008;34(3):273-279.

59. Bernardes RA, de Moraes IG, Duarte MAH, Azevedo BC, de Azevedo JR, Bramante CM. Use of cone-beam volumetric tomography in the diagnosis of root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;108(2):270-277.
60. Matherne RP, Angelopoulos C, Kulild JC, Tira D. Use of cone-beam computed tomography to identify root canal systems in vitro. *J Endod* 2008;34(1):87-89.
61. Janner SF, Jeger FB, Lussi A, Bornstein MM. Precision of endodontic working length measurements: a pilot investigation comparing cone-beam computed tomography scanning with standard measurement techniques. *J Endod* 2011;37(8):1046-1051.
62. Jeger FB, Janner SF, Bornstein MM, Lussi A. Endodontic working length measurement with preexisting cone-beam computed tomography scanning: a prospective, controlled clinical study. *J Endod* 2012;38(7):884-888.
63. Liang Y-H, Jiang L, Chen C, Gao X-J, Wesselink PR, Wu M-K, et al. The validity of cone-beam computed tomography in measuring root canal length using a gold standard. *J Endod* 2013;39(12):1607-1610.
64. McCollough CH, Primak AN, Braun N, Kofler J, Yu L, Christner J. Strategies for reducing radiation dose in CT. *Radiol Clin North Am* 2009;47(1):27-40.
65. Scarfe WC. Use of cone-beam computed tomography in endodontics Joint Position Statement of the American Association of Endodontists and the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011;111(2):234-237.
66. Custer L. Exact methods of locating the apical foramen. *NDA J* 1918;5(8):815-819.
67. Suzuki K. Experimental study on iontophoresis. *Jpn J Stomatology* 1942;16:411-429.
68. Cianconi L, Angotti V, Felici R, Conte G, Mancini M. Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography: an ex vivo study. *J Endod* 2010;36(12):2003-2007.
69. Jenkins JA, Walker III WA, Schindler WG, Flores CM. An in vitro evaluation of the accuracy of the root ZX in the presence of various irrigants. *J Endod* 2001;27(3):209-211.
70. Coombs CF. Bohr model. In: *Electronic instrument handbook*. McGraw-Hill New York; 1995. p. 17.
71. Geddes LA, Baker LE. The specific resistance of biological material—a compendium of data for the biomedical engineer and physiologist. *J Med Biol Eng* 1967;5(3):271-293.

72. Rush S, Abildskov J, McFee R. Resistivity of body tissues at low frequencies. *Circ Res* 1963;12(1):40-50.
73. Bridges JE. Non-perceptible body current ELF effects as defined by electric shock safety data. *Bioelectromagnetics* 2002;23(7):542-544.
74. Niple J, Daigle J, Zaffanella L, Sullivan T, Kavet R. A portable meter for measuring low frequency currents in the human body. *Bioelectromagnetics* 2004;25(5):369-373.
75. Gandhi OP. Electromagnetic fields: human safety issues. *Annu Rev Biomed Eng* 2002;4(1):211-234.
76. Meredith N, Gulabivala K. Electrical impedance measurements of root canal length. *Dent Traumatol* 1997;13(3):126-131.
77. Križaj D, Jan J, Valenčič V. Modeling AC current conduction through a human tooth. *Bioelectromagnetics* 2004;25(3):185-195.
78. Conway BE. Impedance Behavior of Electrochemical Supercapacitors and Porous Electrodes. In: Barsoukov E, Macdonald JR, editors. *Impedance Spectroscopy: Theory, Experiment, and Applications*. John Wiley & Sons, Inc.; 2005. p. 494.
79. Huang J-H, Yen S-C, Lin C-P. Impedance characteristics of mimic human tooth root canal and its equivalent circuit model. *J Electrochem Soc* 2008;155(5):P51-P56.
80. Al-Bulushi A, Levinkind M, Flanagan M, Ng YL, Gulabivala K. Effect of canal preparation and residual root filling material on root impedance. *Int Endod J* 2008;41(10):892-904.
81. Tagami J, Hosoda H, Burrow M, Nakajima M. Effect of aging and caries on dentin permeability. *Proc Finn Dent Soc* 1992;88:149-154.
82. Sunada I. New method for measuring the length of the root canal. *J Dent Res* 1962;41(2):375-387.
83. Dimitrov S, Roshkev D. Sixth generation adaptive apex locator. *J of IMAB* 2009;15(2009):75-78.
84. Singh H, Kapoor P. Generations of apex locators: which generation are we in? *Stomatological Dis Sci* 2019;3(4).
85. Suchde R, Talim S. Electronic ohmmeter: an electronic device for the determination of the root canal length. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1977;43(1):141-150.
86. Kim E, Lee S-J. Electronic apex locator. *Dent Clin North Am* 2004;48(1):35-54.
87. Pommer O, Stamm O, Attin T. Influence of the canal contents on the electrical assisted determination of the length of root canals. *J Endod* 2002;28(2):83-85.

88. Tınaz AC, Sevimli LS, Görgül G, Türköz EG. The effects of sodium hypochloride concentrations on the accuracy of an apex locating device. *J Endod* 2002;28(3):160-162.
89. Tınaz C. Kanal tedavisinde çalışma boyutu. *Acta Odontol Turc* 2001;18(1):31-37.
90. Miles D. Imaging using solid-state detectors. *Dent Clin North Am* 1993;37(4):531-540.
91. Inoue N. Dental "stethoscope" measures root canal. *Dent Surv* 1972;48(1):38.
92. Inoue N. An audiometric method for determining the length of root canals. *J Can Dent Assoc* 1973;39(9):630-636.
93. Keller ME, Brown Jr CE, Newton CW. A clinical evaluation of the Endocater—an electronic apex locator. *J Endod* 1991;17(6):271-274.
94. Christie W, Peikoff M, Hawrish C. Clinical observations on a newly designed electronic apex locator. *J Can Dent Assoc* 1993;59(9):765-772.
95. Ushiyama J, Nakamura M, Nakamura Y. A clinical evaluation of the voltage gradient method of measuring the root canal length. *J Endod* 1988;14(6):283-287.
96. Himel VT, Schott RN. An evaluation of the durability of apex locator insulated probes after autoclaving. *J Endod* 1993;19(8):392-394.
97. Frank AL, Torabinejad M. An in vivo evaluation of Endex electronic apex locator. *J Endod* 1993;19(4):177-179.
98. Dunlap CA, Remeikis NA, BeGole EA, Rauschenberger CR. An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. *J Endod* 1998;24(1):48-50.
99. Shabahang S, Goon WW, Gluskin AH. An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator. *J Endod* 1996;22(11):616-618.
100. Kaufman A, Keila S, Yoshpe M. Accuracy of a new apex locator: an in vitro study. *Int Endod J* 2002;35(2):186-192.
101. Serota KS, Vera J, Barnett F, Nahmias Y. The new era of foramenal location. *Endod Prac* 2004;7:17-22.
102. Plotino G, Grande N, Brigante L, Lesti B, Somma F. Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator and ProPex. *Int Endod J* 2006;39(5):408-414.
103. Hoer D, Attin T. The accuracy of electronic working length determination. *Int Endod J* 2004;37(2):125-131.

104. Akisue E, Gavini G, de Figueiredo JAP. Influence of pulp vitality on length determination by using the Elements Diagnostic Unit and Apex Locator. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104(4):e129-e132.
105. Renner D, Grazziotin-Soares R, Gavini G, Barletta FB. Influence of pulp condition on the accuracy of an electronic foramen locator in posterior teeth: an in vivo study. *Braz Oral Res* 2012;26(2):106-111.
106. Moskovitz M, Tickotsky N. Pulpectomy and Root Canal Treatment (RCT) in Primary Teeth: Techniques and Materials. In: Camp J, Fuks A, editors. *Pediatric endodontics: endodontic treatment for the primary and young permanent dentition*. New York: Mosby, St. Louis; 2006. p. 71.
107. Ahmed H. Anatomical challenges, electronic working length determination and current developments in root canal preparation of primary molar teeth. *Int Endod J* 2013;46(11):1011-1022.
108. Mello-Moura ACV, Bresolin CR, Moura-Netto C, Ito A, Araki AT, Imparato JCP, et al. Use of artificial primary teeth for endodontic laboratory research: experiments related to canal length determination. *BMC Oral Health* 2017;17(1):131.
109. Mohamed A, Steier L. Uncertain Decision-Making in Primary Root Canal Treatment. *J Evid Based Dent Pract* 2017;17(3):205-215.
110. Silva Brum IC, Andrade Maia C, Tramuja Diniz MV, Moreira Fernandes A, da Matta Felisberto Fernandes ML. Agreement Between Working Length Measurements in Primary Teeth Obtained by Radiographs or Apical Locators. *Pesqui Bras Odontopediatria Clin Integr* 2020;20.
111. Kielbassa AM, Muller U, Munz I, Monting JS. Clinical evaluation of the measuring accuracy of ROOT ZX in primary teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;95(1):94-100.
112. Abdullah A, Singh N, Rathore MS, Tandon S, Rajkumar B. Comparative evaluation of electronic apex locators and radiovisiography for working length determination in primary teeth in vivo. *Int J Clin Pediatr Dent* 2016;9(2):118.
113. Angwaravong O, Panitvisai P. Accuracy of an electronic apex locator in primary teeth with root resorption. *Int Endod J* 2009;42(2):115-121.
114. Goldberg F, De Silvio AC, Manfré S, Nastri N. In vitro measurement accuracy of an electronic apex locator in teeth with simulated apical root resorption. *J Endod* 2002;28(6):461-463.
115. Saraswathi V, Kedia A, Purayil TP, Ballal V, Saini A. Comparative evaluation of the accuracy of two electronic apex locators in determining the working length in teeth with simulated apical root resorption: An in vitro study. *J Conserv Dent* 2016;19(5):402.

116. Tosun G, Erdemir A, Eldeniz A, Sermet U, Sener Y. Accuracy of two electronic apex locators in primary teeth with and without apical resorption: a laboratory study. *Int Endod J* 2008;41(5):436-441.
117. Durack C, Patel S, Davies J, Wilson R, Mannocci F. Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption. *Int Endod J* 2011;44(2):136-147.
118. Fuss Z, Assooline LS, Kaufman AY. Determination of location of root perforations by electronic apex locators. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996;82(3):324-329.
119. Kaufman A, Fuss Z, Keila S, Waxenberg S. Reliability of different electronic apex locators to detect root perforations in vitro. *Int Endod J* 1997;30(6):403-407.
120. Bilaiya S, Patni PM, Jain P, Pandey SH, Raghuvanshi S, Bagulkar B. Comparative Evaluation of Accuracy of Ipx, Root ZX Mini, and Epex Pro Apex Locators in Teeth with Artificially Created Root Perforations in Presence of Various Intracanal Irrigants. *Eur Endod J* 2020;5(1):6.
121. Altunbaş D, Kuştarıcı A, Toyoğlu M. The influence of various irrigants on the accuracy of 2 electronic apex locators in locating simulated root perforations. *J Endod* 2017;43(3):439-442.
122. Topuz Ö, Uzun Ö, Tinaz AC, Bodrumlu E, Görgül G. Accuracy of two apex-locating handpieces in detecting simulated vertical and horizontal root fractures. *J Endod* 2008;34(3):310-313.
123. Zhang P. An in vitro study of Root ZX root apex locator to diagnose horizontal root fracture. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 2010;28(1):102-103.
124. Azabal M, Garcia-Otero D, De la Macorra J. Accuracy of the Justy II Apex locator in determining working length in simulated horizontal and vertical fractures. *Int Endod J* 2004;37(3):174-177.
125. Meares WA, Steiman HR. The influence of sodium hypochlorite irrigation on the accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod* 2002;28(8):595-598.
126. Fan W, Fan B, Gutmann J, Bian Z, Fan M. Evaluation of the accuracy of three electronic apex locators using glass tubules. *Int Endod J* 2006;39(2):127-135.
127. Fouad AF, Reid LC. Effect of using electronic apex locators on selected endodontic treatment parameters. *J Endod* 2000;26(6):364-367.
128. Gomes S, Oliver R, Macouzet C, Mercadé M, Roig M, Duran-Sindreu F. In vivo evaluation of the Raypex 5 by using different irrigants. *J Endod* 2012;38(8):1075-1077.

129. Khursheed I, Bansal R, Bansal T, Singh HP, Yadav M, Reddy KJ. A comparative evaluation of working length with digital radiography and third generation apex locator (ProPex) in the presence of various intracanal irrigants: An in vivo/ex vivo study. *Dent Res J (Isfahan)* 2014;11(1):56.
130. Al-Hadlaq SM. Effect of chloroform, orange solvent and eucalyptol on the accuracy of four electronic apex locators. *Aust Endod J* 2013;39(3):112-115.
131. Thomas AS, Hartwell GR, Moon PC. The accuracy of the Root ZX electronic apex locator using stainless-steel and nickel-titanium files. *J Endod* 2003;29(10):662-663.
132. Gehlot PM, Manjunath V, Manjunath MK. An in vitro evaluation of the accuracy of four electronic apex locators using stainless-steel and nickel-titanium hand files. *Restor Dent Endod* 2016;41(1):6-11.
133. Nekoofar M, Sadeghi K, Sadighi EA, Namazikhah M. The accuracy of the Neosono Ultima EZ apex locator using files of different alloys: an in vitro study. *J Calif Dent Assoc* 2002;30(9):681-684.
134. Lawrentschuk N, Bolton DM. Mobile phone interference with medical equipment and its clinical relevance: a systematic review. *Med J Aust* 2004;181(3):145-149.
135. Hietanen M, Sibakov V. Electromagnetic interference from GSM and TETRA phones with life-support medical devices. *Ann Ist Super Sanita* 2007;43(3):204-207.
136. Hurstel J, Guivarc'h M, Pommel L, Camps J, Tassery H, Cohen S, et al. Do cell phones affect establishing electronic working length? *J Endod* 2015;41(6):943-946.
137. Sidhu P, Shankargouda S, Dicksit DD, Mahdey HM, Muzaffar D, Arora S. Evaluation of interference of cellular phones on electronic apex locators: An in vitro study. *J Endod* 2016;42(4):622-625.
138. Ebrahim A, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. 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. *Aust Dent J* 2006;51(2):153-157.
139. Hülsmann M, Pieper K. Use of an electronic apex locator in the treatment of teeth with incomplete root formation. *Dent Traumatol* 1989;5(5):238-241.
140. Akisue E, Gratieri SD, Barletta FB, Caldeira CL, Grazziotin-Soares R, Gavini G. Not all electronic foramen locators are accurate in teeth with enlarged apical foramina: an in vitro comparison of 5 brands. *J Endod* 2014;40(1):109-112.
141. Aydin U, Karataslioglu E, Aksoy F, Yildirim C. In vitro evaluation of Root ZX and Raypex 6 in teeth with different apical diameters. *J Conserv Dent* 2015;18(1):66.
142. Nahmias Y, Aurelio JA, Gerstein H. Expanded use of the electronic canal length measuring devices. *J Endod* 1983;9(8):347-349.

143. Saad AY, Al-Nazhan S. Radiation dose reduction during endodontic therapy: a new technique combining an apex locator (Root ZX) and a digital imaging system (RadioVisioGraphy). *J Endod* 2000;26(3):144-147.
144. Green D. A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1956;9(11):1224-1232.
145. Jain P. Determination of working length. In: Jain P, editor. *Current Therapy in Endodontics*. John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 87.
146. Cash PW. Endo research challenged. *J Am Dent Assoc* 1975;91(6):1135-1136.
147. Chen E, Kaing S, Mohan H, Ting S-Y, Wu J, Parashos P. An ex vivo comparison of electronic apex locator teaching models. *J Endod* 2011;37(8):1147-1151.
148. Woolley LH, Woodworth J, Dobbs JL. A preliminary evaluation of the effects of electrical pulp testers on dogs with artificial pacemakers. *J Am Dent Assoc* 1974;89(5):1099-1101.
149. AlRahabi MK, Ghabbani HM. Influence and safety of electronic apex locators in patients with cardiovascular implantable electronic devices: a systematic review. *Libyan J Med* 2019;14(1):1-7.
150. Serna-Peña G, Gomes-Azevedo S, Flores-Treviño J, Madla-Cruz E, Rodríguez-Delgado I, Martínez-González G. In vivo evaluation of 3 electronic apex locators: Root ZX Mini, Apex ID, and Propex Pixi. *J Endod* 2020;46(2):158-161.
151. Chaudhary S, Gharti A, Adhikari B. An in vivo comparison of accuracy of two electronic apex locators in determining working length using stainless steel and nickel titanium files. *Clin Cosmet Investig Dent* 2018;10:75.
152. Saraf PA, Ratnakar P, Patil TN, Penukonda R, Kamatagi L, Vanaki SS. A comparative clinical evaluation of accuracy of six apex locators with intraoral periapical radiograph in multirooted teeth: An in vivo study. *J Conserv Dent* 2017;20(4):264.
153. Üstün Y, Aslan T, Şekerci AE, Sağsen B. Evaluation of the reliability of cone-beam computed tomography scanning and electronic apex locator measurements in working length determination of teeth with large periapical lesions. *J Endod* 2016;42(9):1334-1337.
154. Khandewal D, Ballal NV, Saraswathi MV. Comparative evaluation of accuracy of 2 electronic apex locators with conventional radiography: an ex vivo study. *J Endod* 2015;41(2):201-204.
155. Saatchi M, Aminoazarbian MG, Hasheminia SM, Mortaheb A. Influence of apical periodontitis on the accuracy of 3 electronic root canal length measurement devices: an in vivo study. *J Endod* 2014;40(3):355-359.

156. Moscoso S, Pineda K, Basilio J, Alvarado C, Roig M, Duran-Sindreu F. Evaluation of Dentaport ZX and Raypex 6 electronic apex locators: an in vivo study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2014;19(2):e202.
157. Somma F, Castagnola R, Lajolo C, Paternò Holtzman L, Marigo L. In vivo accuracy of three electronic root canal length measurement devices: Dentaport ZX, Raypex 5 and ProPex II. *Int Endod J* 2012;45(6):552-556.
158. Stöber EK, de Ribot J, Mercadé M, Vera J, Bueno R, Roig M, et al. Evaluation of the Raypex 5 and the Mini Apex Locator: an in vivo study. *J Endod* 2011;37(10):1349-1352.
159. Vieyra J, Acosta J. Comparison of working length determination with radiographs and four electronic apex locators. *Int Endod J* 2011;44(6):510-518.
160. Abdelsalam N, Hashem N. Impact of apical patency on accuracy of electronic apex locators: in vitro study. *J Endod* 2020;46(4):509-514.
161. Connert T, Judenhofer M, Hülber-J M, Schell S, Mannheim J, Pichler B, et al. Evaluation of the accuracy of nine electronic apex locators by using Micro-CT. *Int Endod J* 2018;51(2):223-232.
162. Piasecki L, dos Reis PJ, Jussiani EI, Andrello AC. A micro-computed tomographic evaluation of the accuracy of 3 electronic apex locators in curved canals of mandibular molars. *J Endod* 2018;44(12):1872-1877.
163. Oliveira TN, Vivacqua-Gomes N, Bernardes RA, Vivan RR, Duarte MAH, Vasconcelos BC. Determination of the accuracy of 5 electronic apex locators in the function of different employment protocols. *J Endod* 2017;43(10):1663-1667.
164. de Vasconcelos BC, Chaves RDV, Vivacqua-Gomes N, de Miranda Candeiro GT, Bernardes RA, Vivan RR, et al. Ex vivo evaluation of the accuracy of electronic foramen locators in root canals with an obstructed apical foramen. *J Endod* 2015;41(9):1551-1554.
165. Kolanu SK, Bolla N, Varri S, Thummu J, Vemuri S, Mandava P. Evaluation of correlation between apical diameter and file size using Propex Pixi apex locator. *J Clin Diagn Res* 2014;8(12):ZC18.
166. Herrera M, Ábalos C, Lucena C, Jimenez-Planas A, Llamas R. Critical diameter of apical foramen and of file size using the Root ZX apex locator: an in vitro study. *J Endod* 2011;37(9):1306-1309.
167. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1971;32(2):271-275.
168. Nehammer C. Treatment of the emergency patient. *Br Dent J* 1985;158(7):245.

169. Seltzer S, Soltanoff W, Sinai I, Goldenberg A, Bender I. Biologic aspects of endodontics: Part III. Periapical tissue reactions to root canal instrumentation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 1968;26(5):694-705.
170. ElAyouti A, Kimionis I, Chu AL, Löst C. Determining the apical terminus of root-end resected teeth using three modern apex locators: a comparative ex vivo study. *Int Endod J* 2005;38(11):827-833.
171. Tselnik M, Baumgartner JC, Marshall JG. An evaluation of root ZX and elements diagnostic apex locators. *J Endod* 2005;31(7):507-509.
172. Goldman M, Pearson AH, Darzenta N. Endodontic success—who's reading the radiograph? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 1972;33(3):432-437.
173. ElAyouti A, Dima E, Ohmer J, Sperl K, von Ohle C, Löst C. Consistency of apex locator function: a clinical study. *J Endod* 2009;35(2):179-181.
174. Piasecki L, Carneiro E, da Silva Neto UX, Westphalen VPD, Brandão CG, Gambarini G, et al. The use of micro-computed tomography to determine the accuracy of 2 electronic apex locators and anatomic variations affecting their precision. *J Endod* 2016;42(8):1263-1267.
175. Vasconcelos BC, Bastos LM, Oliveira AS, Bernardes RA, Duarte MAH, Vivacqua-Gomes N, et al. Changes in root canal length determined during mechanical preparation stages and their relationship with the accuracy of root ZX II. *J Endod* 2016;42(11):1683-1686.
176. Martins JN, Marques D, Mata A, Caramês J. Clinical efficacy of electronic apex locators: systematic review. *J Endod* 2014;40(6):759-777.
177. Briseño-Marroquín B, Frajlich S, Goldberg F, Willershausen B. Influence of instrument size on the accuracy of different apex locators: an in vitro study. *J Endod* 2008;34(6):698-702.
178. Ebrahim A, Wadachi R, Suda H. An in vitro evaluation of the accuracy of Dentaport ZX apex locator in enlarged root canals. *Aust Dent J* 2007;52(3):193-197.
179. Ekici MA, Kıvanç BH, Ekici A. Genişletilmiş apikal foramenlere sahip dişlerde multi-frekans elektronik apeks bulucuların doğruluğunun karşılaştırılması: ex vivo. *Acta Odontol Turc* 2018;35(1):17-22.
180. Ebrahim A, Wadachi R, Suda H. Ex vivo evaluation of the ability of four different electronic apex locators to determine the working length in teeth with various foramen diameters. *Aust Dent J* 2006;51(3):258-262.
181. Huang L. An experimental study of the principle of electronic root canal measurement. *J Endod* 1987;13(2):60-64.

182. Duran-Sindreu F, Stöber E, Mercadé M, Vera J, Garcia M, Bueno R, et al. Comparison of in vivo and in vitro readings when testing the accuracy of the Root ZX apex locator. *J Endod* 2012;38(2):236-239.
183. Wu MK, GEE AD, Wesselink P, Moorer W. Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 1993;26(4):203-208.
184. Wrbas K, Ziegler A, Altenburger M, Schirrmeister J. In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *Int Endod J* 2007;40(2):133-138.
185. Jakobson SJM, Westphalen VPD, da Silva Neto UX, Fariniuk LF, Picoli F, Carneiro E. The accuracy in the control of the apical extent of rotary canal instrumentation using Root ZX II and ProTaper instruments: an in vivo study. *J Endod* 2008;34(11):1342-1345.
186. DAssunção FLC, de Albuquerque DS, de Queiroz Ferreira LC. The ability of two apex locators to locate the apical foramen: an in vitro study. *J Endod* 2006;32(6):560-562.
187. Donnelly JC. A simplified model to demonstrate the operation of electronic root canal measuring devices. *J Endod* 1993;19(11):579-580.
188. Herrera M, Ábalos C, Planas AJ, Llamas R. Influence of apical constriction diameter on Root ZX apex locator precision. *J Endod* 2007;33(8):995-998.
189. Guise GM, Goodell GG, Imamura GM. In vitro comparison of three electronic apex locators. *J Endod* 2010;36(2):279-281.
190. Baldi JV, Victorino FR, Bernardes RA, de Moraes IG, Bramante CM, Garcia RB, et al. Influence of embedding media on the assessment of electronic apex locators. *J Endod* 2007;33(4):476-479.
191. Czerw RJ, Fulkerson MS, Donnelly JC. An in vitro test of a simplified model to demonstrate the operation of electronic root canal measuring devices. *J Endod* 1994;20(12):605-606.
192. Kaufman A, Katz A. Reliability of Root ZX apex locator tested by an in vitro model. *J Endod* 1993;19(4):201.
193. Lucena-Martin C, Robles-Gijon V, Ferrer-Luque C, de Mondelo JN-R. In vitro evaluation of the accuracy of three electronic apex locators. *J Endod* 2004;30(4):231-233.
194. Lipski M, Trąbska-Świstelniccka M, Woźniak K, Dembowska E, Drożdżik A. Evaluation of alginate as a substitute for root-surrounding tissues in electronic root canal measurements. *Aust Endod J* 2013;39(3):155-158.

195. Uzun O, Topuz O, Tinaz C, Nekoofar MH, Dummer PMH. Accuracy of two root canal length measurement devices integrated into rotary endodontic motors when removing gutta-percha from root-filled teeth. *Int Endod J* 2008;41(9):725-732.
196. Bernardes RA, Duarte MA, Vasconcelos BC, Moraes IG, Bernardineli N, Garcia RB, 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 Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104(4):e91-e94.
197. Venturi M, Breschi L. A comparison between two electronic apex locators: an ex vivo investigation. *Int Endod J* 2007;40(5):362-373.
198. Welk AR, Baumgartner JC, Marshall JG. An in vivo comparison of two frequency-based electronic apex locators. *J Endod* 2003;29(8):497-500.
199. Marigo L, Gervasi GL, Somma F, Squeo G, Castagnola R. Comparison of two electronic apex locators on human cadavers. *Clin Oral Investig* 2016;20(7):1547-1550.
200. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, et al. The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod* 2010;36(10):1664-1668.
201. de Vasconcelos BC, do Vale TM, de Menezes AST, Pinheiro-Junior EC, Vivacqua-Gomes N, Bernardes RA, et al. An ex vivo comparison of root canal length determination by three electronic apex locators at positions short of the apical foramen. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;110(2):e57-e61.
202. Goldberg F, Marroquín BB, Frajlich S, Dreyer C. In vitro evaluation of the ability of three apex locators to determine the working length during retreatment. *J Endod* 2005;31(9):676-678.
203. Stoll R, Urban-Klein B, Roggendorf M, Jablonski-Momeni A, Strauch K, Frankenberger R. Effectiveness of four electronic apex locators to determine distance from the apical foramen. *Int Endod J* 2010;43(9):808-817.
204. Koçak S, Koçak MM, Sağlam BC. Efficiency of 2 electronic apex locators on working length determination: A clinical study. *J Conserv Dent* 2013;16(3):229.
205. Pagavino G, Pace R, Baccetti T. A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod* 1998;24(6):438-441.
206. da Silva TM, Alves FR. Ex vivo accuracy of Root ZX II, Root ZX Mini and RomiApex A-15 apex locators in extracted vital pulp teeth. *J Contemp Dent Pract* 2014;15(3):312.
207. Hilú RE. The Raypex 6 electronic apex locator: An in-vivo study. *ADM* 2016;73(3):133-138.

208. Demiriz L, Kocak MM, Saglam BC, Kocak S. In vitro evaluation of the accuracy of ProPex II, Raypex 6 and iPex II electronic apex locators in primary molar teeth. *J Health Res Rev* 2016;3(2):37.
209. Saxena D, Saha SG, Bharadwaj A, Vijaywargiya N, Dubey S, Kala S. A comparative evaluation of accuracy of three electronic apex locators using histological section as gold standard: An ex vivo study. *J Conserv Dent* 2017;20(4):251.



9. ORJİNALLİK RAPORU

Uzmanlık Tezi

ORJİNALLİK RAPORU

%**5**

BENZERLİK ENDEKSİ

%**1**

İNTERNET
KAYNAKLARI

%**3**

YAYINLAR

%**2**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

Submitted to Gaziantep Aniversitesi

Öğrenci Ödevi

%**1**

2

Submitted to Ankara University

Öğrenci Ödevi

%**1**

3

www.pubfacts.com

İnternet Kaynağı

<%**1**

4

Eduardo Akisue, Simone Domingues Gratieri, Fernando Branco Barletta, Celso Luiz Caldeira 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, 2014

Yayın

<%**1**

5

Solaiman M. Al-Hadlaq. "Effect of chloroform, orange solvent and eucalyptol on the accuracy of four electronic apex locators : Retreatment solutions and apex locators", Australian Endodontic Journal, 08/2011

Yayın

<%**1**

10. ÖZGEÇMİŞ

30.06.1991 yılında Kırşehir’de doğdu. İlköğretimi Eskişehir, Pilot Binbaşı Ali Tekin İlköğretim Okulunda 2005 yılında; Liseyi Kocaeli, Güzeltepe Fevzi Çakmak Lisesinde 2009 yılında tamamladı. 2010 yılında Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesini kazanarak 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında Bitlis Tatvan Devlet Hastanesine atandı. Aynı yıl girmiş olduğu Diş Hekimliğinde Uzmanlık Sınavı sonucunda Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalına girmeye hak kazandı. 2017 Eylül ayında girmiş olduğu Diş Hekimliğinde Uzmanlık Sınavıyla Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalına yerleşti. Halen bu bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Yabancı dili İngilizcedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.