



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**



**FARKLI APEKS BULUCULARIN DOĞRULUĞUNUN MİKRO
BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

Aylin ERGELDİ

**ENDODONTİ ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. F. Semra SEVİMAY**

**ANKARA
2021**

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

FARKLI APEKS BULUCULARIN DOĞRULUĞUNUN MİKRO
BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Aylin ERGELDİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. F. Semra SEVİMAY

ANKARA
2021

Ankara Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi Müdürlüğü'ne,

Doktora tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Farklı Apeks Bulucuların Doğruluğunun Mikro Bilgisayarlı Tomografi Kullanılarak Değerlendirilmesi” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencisinin Adı Soyadı: Aylin ERGELDİ

Tarih :

İmza :

ANKARA ÜNİVERSİTESİ DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ENDODONTİ UZMANLIK PROGRAMI

Çerçevesinde yürütölmüş olan “Farklı Apeks Bulucuların Doğruluğunu Mikro Bilgisayarlı Tomografi Kullanılarak Değerlendirilmesi” konulu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi :
15.09.2021

Prof. Dr. Fatma/Semra SEV MAY
Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Faköltesi
Endodonti Anabilim Dalı
Jüri Başkanı

Doç.Dr.Berkan ÇELİKTEN
Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Faköltesi
Endodonti Anabilim Dalı
Üye

Doç.Dr.Behram TUNCEL
Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Faköltesi
Endodonti Anabilim Dalı
Üye

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	iv
Kabul ve Onay	v
İçindekiler	vi
Önsöz	viii
Simgeler ve Kısaltmalar	ix
Şekiller	x
Çizelgeler	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Apikal Foramenin Anatomisi	3
1.2. Çalışma Uzunluğu Tespit Yöntemleri	7
1.2.1. Parmak Hassasiyeti	7
1.2.2. Kâğıt Konların Nemliliğinin Değerlendirilmesi	8
1.2.3. Radyografik yöntem	9
1.2.4. Elektronik Apeks Bulucular	14
1.2.4.1. Elektronik Apeks Bulucuların Sınıflandırılması	16
1.2.4.1.1. Birinci Nesil Apeks Bulucular (Rezistans Tip):	16
1.2.4.1.2. İkinci Nesil Apeks Bulucular (Empedans Tip)	17
1.2.4.1.3. Üçüncü Nesil Apeks Bulucular (Frekans Tip)	18
1.2.4.1.4. Dördüncü Nesil Apeks Bulucular (Orantı Tip)	19
1.2.4.1.5. Beşinci Nesil Apeks Bulucular (Multifrekans Tip)	20
1.2.4.1.6. Altıncı Nesil Apeks Bulucular (Adaptif tip)	20
1.2.5. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (CBCT)	21
1.3 Elektronik Apeks Bulucuların Doğruluğunu Etkileyen Faktörler	22
1.3.1. Pulpanın Vitalitesi	22
1.3.2. Elektrik İleten Solüsyonlar ve Kanal İç Medikamanlar	23
1.3.3. Apikal Kök Rezorpsiyonu	25
1.3.4. Foramen Apikale'nin Çapı ve Ölçümde Kullanılan Eğin Çapı	25
1.3.5. Perforasyonlar ve Kök Kırıkları	26
1.3.6. Süt Dişleri	28
1.3.7. Kök Kanal Dolgusunun Yenilenmesi Esnasında Kullanımı	28
1.3.8. Koronal Genişletmenin Etkisi	29
1.3.9. Endodontik Motor ile Birlikte Kullanılan Apeks Bulucular	30
1.4. Çalışma Uzunluğunun Doğruluğu için Yapılan Araştırmalarda Kullanılan Yöntemler	30
1.4.1. Apikal Foramenden Kanal Aletinin Çıkışının İzlenmesi	30
1.4.2. Apikal Bölümün Aşındırılmasını Takiben Mikroskop Altında Yapılan Ölçüm	31
1.4.3. Dişlerin Şeffaflaştırılmasını Takiben Mikroskop Altında Yapılan Ölçüm	31
1.4.4. Apikal Yapının Ölçüsünün Alınması	32
1.4.5. Mikro Bilgisayarlı Tomografi Yöntemi	32
1.5. Konu ile İlgili Çalışmalar	32
1.6. Çalışmanın Amacı	35

2. GEREÇ VE YÖNTEM	36
2.1. Çalışma için Dişlerin Seçimi ve Hazırlanması	36
2.2. Çalışma Boyu Ölçümleri	38
2.2.1. Gerçek Kök Kanal Çalışma Uzunluğunun (GKKÇU) Ölçülmesi	38
2.2.2. Elektronik Olarak Kök Kanal Çalışma Uzunluğunun Belirlenmesi	39
2.3. Örneklerin Mikro-BT’de Taranması	41
3. BULGULAR	44
4. TARTIŞMA	49
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
ÖZET	60
SUMMARY	61
KAYNAKÇA	62
ÖZGEÇMİŞ	77



ÖNSÖZ

Uzmanlık eğitimim süresince ve tez çalışmamın her aşamasında büyük bir sabır ve titizlikle bana yardımcı olan, yol gösteren, anlayış ve hoşgörüsüyle her konuda desteğini hissettiğim değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. F. Semra Sevimay'a,

Tezimin başlangıcından bitimine kadar önerileri ve yardımları ile bana destek olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Berkan Çelikten'e,

Uzmanlık eğitimim süresince değerli bilimsel ve mesleki tecrübelerinden yararlandığım Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri'ne,

Uzmanlık eğitimim süresince yanımda olan, beraber çalışmaktan mutluluk duyduğum değerli asistan arkadaşlarıma,

Hayatımın her döneminde yol gösterici olan, beni her konuda destekleyen, bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve varlıkları ile bana güç veren sevgili aileme,

Sonsuz teşekkürler.

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	: Yüzde
<	: Küçük
>	: Büyük
μ A	: Mikroamper
μ m	: Mikrometre
ark	: Arkadaşları
CBCT	: Cone beam computed tomography
CTAn	: CT Analyser
EDTA	: Etilen Diamin Tetra Asetik Asit
GKKÇU	: Gerçek Kök Kanal Çalışma Uzunluğu
W	: Watt
Hz	: Hertz
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
kV	: Kilovolt
k Ω	: Kilo ohm
kHz	: Kilohertz
Al/Cu	: Alüminyum/Bakır
Mikro-BT	: Mikro Bilgisayarlı Tomografi
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
NaOCl	: Sodyum Hipoklorit
SEM	: Scanning Electron Microscope
SDB	: Semento-Dentinal Bileşke
SPSS	: Statistical Package for Social Sciences

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Apikal Foramenin Anatomisi	4
Şekil 1.2. Apikal daralım bölgesi tipleri	6
Şekil 2.1. Dişlerin Micracut ile kuron bölümlerinin uzaklaştırılması	37
Şekil 2.2. Eğenin sap kısmı ile referans hattı arasındaki mesafenin $\pm 0,01$ mm hassasiyet gösteren dijital kumpas ile ölçülmesi	38
Şekil 2.3. Çalışmamızda kullanılan elektronik apeks bulucular (Apex ID [SybronEndo, Glendora, CA], Propex Pixi [Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland], Root ZX mini [J Morita, Tokyo, Japan])	40
Şekil 2.4. Elektronik çalışma uzunluğu belirlemek için hazırlanan deney düzeneği	40
Şekil 2.5. Çalışmada kullanılan mikro-BT cihazı	42
Şekil 2.6. Bir örneğe eğe yerleştirilmeden önce ve sonra mikro-BT cihazıyla yapılan taramanın aynı kesitteki görüntüsü	42
Şekil 3.1. Gerçek kök kanal çalışma uzunluğu ve elektronik apeks bulucular ile elde edilen ölçümlerin ortalamaları	45
Şekil 3.2. Apex ID'ye ait bir örnekte eğe yerleştirilmemiş ve yerleştirilmiş mikro-BT görüntüsünde eğenin apikal daralımı $+0,5/0,0$ mm aralığında geçtiği gözlenmekte	47
Şekil 3.3. Root ZX Mini'ye ait bir örnekte eğe yerleştirilmemiş ve yerleştirilmiş mikro-BT görüntüsünde eğenin apikal daralımı $-0,5/0,0$ mm aralığında yaklaştığı gözlenmekte	47

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Çalışmamızda yapılan gerçek ve elektronik çalışma uzunluğuna ait gruplar	37
Çizelge 3.1. Gerçek kök kanal çalışma uzunluğu ve elektronik apeks bulucular ile elde edilen ölçümlerin ortalamaları, standart sapmaları ve minimum maksimum değerleri	45
Çizelge 3.2. Mikro-BT incelemesi ile elektronik apeks buluculara ait ölçümlerin apikal daralıma $\pm 0,5$ mm ve $\pm 1,0$ mm aralığındaki örnek sayıları ve oranları	46
Çizelge 3.3. Elektronik apeks bulucuların tolerans aralıklarındaki yüzdelерinin karşılaştırılması	48

1. GİRİŞ

Endodontik tedavide başarı; doğru bir teşhise, kök kanallarının etkin olarak şekillendirilmesine, dezenfeksiyonuna ve hermetik olarak doldurulmasına bağlıdır (Deplazes ve ark., 2001). Başarılı bir kök kanal tedavisinde pulpa dokusunun, kök kanal sistemi içindeki nekrotik ve gangrenöz kök kanallarından çıkan protein yıkım ürünlerinin, bakterilerin ve bakteriyel toksinlerin uzaklaştırılması temel faktördür. Çalışma boyunun doğru belirlenmesi kök kanal sisteminin temizlenme, şekillendirme ve dolumdaki en önemli aşamadır (Jain ve ark., 2020).

Endodontik sözlüğe göre çalışma uzunluğu, *"bir koronal referans noktasından kanal preparasyonunun ve obturasyonun sona ermesi gereken noktaya kadar olan mesafe"* olarak tanımlanır (Renner ve ark., 2012). Referans noktası, ölçümlerin yapıldığı oklüzal veya insizal yüzeydeki bölgedir. Hazırlık sırasında stabil bir referans noktası seçilir. Genellikle bu, ön dişlerin insizal kenarındaki ve arka dişlerin bukkal tüberkülündeki en yüksek noktadır.

Çalışma uzunluğunun doğru bir şekilde belirlenememesi ve sürdürülmemesi, uzunluğun normalden fazla olmasına neden olur. Bu durum postoperatif ağrıya ve uzamış iyileşme süresine neden olurken; sement, periodontal ligament ve alveolar kemiğin tamamen iyileşmesine engel olarak daha düşük başarı oranına yol açmaktadır.

Çalışma uzunluğunun normalden kısa belirlenmesi, eksik kök kanal temizliği ve yetersiz kök kanal dolgusu nedeniyle endodontik tedavinin başarısız olmasına neden olmaktadır. Apikal daralmanın olmadığı, temizlenmemiş ve doldurulmamış alanda apikal sızıntı meydana gelebilir. Canlı bakterilerin varlığının devam etmesi yeni periradiküler lezyon oluşumuna neden olurken, mevcut lezyonun da iyileşmesine engel olmaktadır. Özellikle enfekte vakalarda kanalın apikal 3 mm'lik bölümünün iyi temizlenip doldurulması büyük önem taşımaktadır. Bu bölgede sıklıkla yer alan yan

kanallar, dallanmalar, istmuslar ve kanal düzensizlikleri de tedavi başarısını etkilemektedir (Basmadjian-Charles ve ark., 2002).

Grove (1930), kök kanallarının doldurulması gereken doğru noktanın dentin ile sementin birleşim yeri olduğunu ve kök kanal tedavisinin pulpanın periodontal membran ile birleştiği bu noktada bitirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Schilder'in (1967) teorisine göre ise, preparasyon ve obturasyon radyolojik apekse kadar uzanmalıdır.

Sement-dentin sınırı; pulpanın sona erdiği ve periodontal ligamentin başladığı anatomik bir sınırdır. Endodontik tedavinin bu noktada bitirilmesi gerektiği belirtilse de gerçek yeri yalnızca histolojik olarak belirlendiği için klinik uygulamada, kök kanal sisteminin en dar yeri olan '*minör apikal foramen*' anatomik olarak daha tutarlı bir bölge olduğu için ideal bitirme noktası olarak kabul görmektedir (Ponce ve Fernández, 2003; Nekoofer ve ark., 2006). Son yıllarda yapılan çalışmalarda sement dentin sınırı ve apikal daralımın birbirinden farklı bölgelerde bulundukları belirlenmiştir (Hassanien ve ark., 2008; ElAyouti ve ark., 2014). Hassenien ve ark. (2008), alt premolar dişlerde yaptıkları çalışmada bu iki nokta arasındaki mesafenin 1 mm'ye kadar çıkabildiğini aynı zamanda apikal daralmanın genellikle sement-dentin birleşiminin koronalinde yer aldığını bildirmişlerdir.

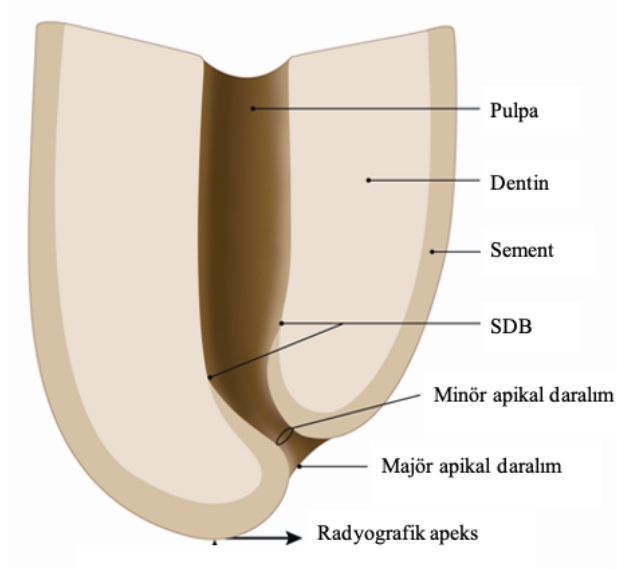
Apikal daralımda sonlandırılan kök kanal tedavilerinde kanal içindeki enfekte doku artıkları temizlenir, kanal girişi ve çıkışı tıkanarak kanal tedavisi için öngörülebilir bir prognoz sağlanır. Bu bölgede bitirilen endodontik tedavi sonucunda doku yıkımı, devam eden inflamatuvar cevap, yabancı cisim reaksiyonu gibi komplikasyonların azaldığı ve dezenfeksiyon için kullanılan yıkama solüsyonlarının da periapikal dokulara taşmasının engellendiği belirtilmiştir (Kuttler, 1955; Schilder, 1967; Ricucci ve Langeland, 1998). Bu sayede periapikal doku iyileşmesi sağlanmaktadır. Hatta PradeepKumar ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada apikal daralmanın ilerisinde tamamlanan tedaviler sonrası vertikal kök kırığı oluşma ihtimalinin arttığını bildirmişlerdir.

Apikal daralım lokasyon ve topografi bakımından çok değişkenlik gösterir ve patolojik olaylar nedeniyle hasar görebilir. Yapılan çalışmalar elektronik apeks bulucunun operasyon esnasında çalışma boyu belirlemede tercih edilebilir bir metot olduğunu ve periapikal radyografilere göre daha hassas sonuçlar elde edildiğini desteklemektedirler (Nekoofar ve ark., 2006; Aguiar ve ark., 2017; Segato ve ark., 2018).

1.1. Apikal Foramenin Anatomisi

Çalışma uzunluğunun tam olarak tespit edilmesi için apikal bölgenin anatomisinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Kuttler 1955 yılında apikal bölgeyi hem anatomik hem de histolojik bir bakış açısıyla tanımlayarak apikal foramenin anatomisinde farklı alanlar belirlemiştir (Şekil 1.1):

- Anatomik apeks
- Radyografik apeks
- Apikal foramen (major foramen)
- Apikal daralım (apikal konstrüksiyon, minör foramen, fizyolojik foramen)
- Semento-dentinal bileşke (SDB)



Şekil 1.1. Apikal Foramenin Anatomisi

Anatomik apeks

Anatomik apeks kökün morfolojik olarak en uç noktasıdır ve sadece geometrik bir referans noktasıdır. Major apikal foramen her zaman anatomik apekte sonlanmaz. Apikal foramenin anatomik apeksten 3,0 mm'ye kadar yukarıda olabileceğini belirten çalışmalar bulunmaktadır (Kuttler, 1955; Pineda ve Kuttler, 1972).

Radyografik apeks

Kökün radyografik olarak belirlenen en uç noktasıdır. Minör foramen ile radyografik apeks arasındaki mesafenin araştırıldığı çalışmalarda bu mesafenin ortalama 0,59 mm ile 0,89 mm arasında olduğu bildirilmiştir (Dummer ve ark., 1984; McDonald ve Hovland, 1990).

Apikal Foramen (Majör foramen)

Majör foramen kök kanalının eksternal kök yüzüne çıkış noktasıdır. Yapılan çalışmalarda kök apeksinin merkezinden ziyade %60-%94 oranında kök yüzeyinin bir tarafında yer aldığı belirtilmiştir (Kuttler, 1955; Burch ve Hulen, 1972). Majör

foramen bukkal, lingual veya proksimal yüzeyde anatomik apeksin 0,5-2 mm koronalinde yer almaktadır (Green, 1960; Melius ve ark., 2002).

Kuttler (1955), yaptığı çalışmada major foramenin apeks merkezine olan ortalama uzaklığı 0,495 mm olarak belirtirken, Burch ve Hulen (1972), ise 0,59 mm olarak bildirmiştir. Mizutani ve ark. (1992) apikal foramenin anatomik apekten 0,5 mm uzakta olduğunu bildirmiştir. Martos ve ark. (2009) ise bu mesafeyi büyük azı dişlerinde 0,82 mm, ön grup dişlerde 0,39 mm olarak saptamışlardır.

Apikal Daralım (Apikal Konstrüksiyon, Minör foramen, Fizyolojik foramen)

Bu alan kanalın en dar noktasıdır ve genellikle apikal foramenden 0.5-1.0 mm yukarıda bulunmaktadır (Eleazer ve ark., 2020). Apikal daralım, tespit edilmesi çok zor olan, değişken bir morfolojik yapıya sahiptir. Ayrıca, minör foramen her kanalda bulunmaz veya tespit edilemez.

Dummer ve ark. (1984) tüm diş gruplarını kapsayan topografi çalışmalarında apikal daralmanın dört farklı şekilde görülebileceğini ortaya koymuşlar ve Tip B'nin taşkın kanal dolgusuna Tip D'nin ise kısa kanal dolgusuna neden olabileceğini ileri sürmüşlerdir (Şekil 1.2). Yaptıkları çalışmada vakaların yarısından daha azında tek bir apikal daralım bölgesi bulunduğunu belirtmişlerdir.

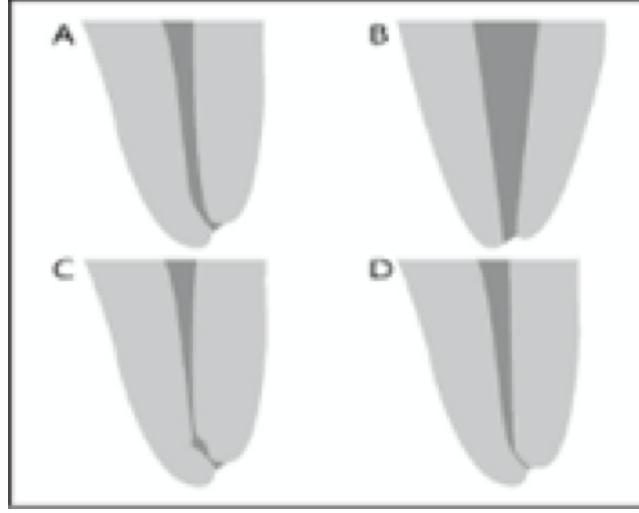
Bu çalışmaya göre apikal daralım bölgesi 4 tipe ayrılmıştır (Şekil 1.2).

Tip A: Tek bir daralım bölgesi gösteren

Tip B: Açılı bir daralım gösteren

Tip C: Birçok daralım bölgesi gösteren

Tip D: Paralel bir daralım gösteren



Şekil 1.2. Apikal daralım bölgesi tipleri

Semento-dentinal bileşke

Semento-dentinal bileşke, yalnız histolojik olarak tespit edilebilen klinik olarak belirlenemeyen endodonsiyum ve periodonsiyum arasındaki geçiş noktasıdır.

Kök oluşumu tamamlanmış dişlerde kökün en uç kısmında sekonder sement bulunur. Bu sement dokusu kökün ucundan kanalın içine doğru bir miktar uzanır ve bu birleşme yerine “*semento-dentinal bileşke (SDB)*” denir (Şekil 1.1.). Kuttler (1955) yaptığı histolojik çalışmada bu birleşmenin apikal foramenin eksternal yüzeyinden yetişkin hastalarda ortalama 0,659 mm, genç hastalarda ortalama 0,524 mm olarak bildirmiştir. Mizutani ve ark. (1992) ise bu birleşmenin apikal foramenden yaklaşık 1,0 mm uzakta olduğunu, yaşlı dişlerde ise 1,0 mm’den daha fazla olduğunu belirtmiştir. Ingle (1994) yaptığı çalışmada bu noktanın radyografik apekten ortalama 0,5 mm uzaklıkta olduğunu belirtmiştir. Genellikle minör foramenle aynı yerde olmadığı ve major foramenden yaklaşık 1 mm yukarıda olduğu tespit edilmiştir (Saad ve Al-Yahya, 2003).

Kök kanalının; dentin-sement sınırından, periodontal ligamente kadar olan huni ya da tersine konik şeklindeki kısmına ‘Black Aralığı’ denir. Black aralığının tabanını

majör foramen, tepesini ise sement-dentin sınırında ya da yakınında olduğu düşünölen minör foramen oluşturur (Kuttler, 1955).

Kök apekslerinin anatomisi üzerine yapılan bir çalışmada 18-25 yaş grubunda minör foramen ile major foramen arasındaki mesafe ortalama 0,524 mm, 55 yaş ve üstündeki grupta ise bu mesafe ortalama 0,607 mm olarak hesaplanmıştır (Kuttler, 1955). Yaşın artmasıyla görölen bu değışimin yaşla birlikte kök ucunda sekonder sement birikiminin artmasına bağılı olduğu düşünölmektedir. (Wu ve ark., 2000).

1.2. Çalışma Uzunluğu Tespit Yöntemleri

Çalışma uzunluğunun tespit edilmesi için aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır.

- Parmak hassasiyeti ile belirleme
- Kâğıt konların nemliliğini değerlendirerek belirleme
- Radyografik yöntem ile belirleme,
Geleneksel radyografi
Dijital radyografi
- Elektronik apeks bulucu ile belirleme

1.2.1. Parmak Hassasiyeti

Parmak hassasiyeti ile çalışma boyu belirleme en eski ve en yaygın tekniklerden biridir. Klinisyen, kanal eğesinin sıkıştığı ve dirençle karşılaştığı noktayı parmak hassasiyetiyle tespit etmeye çalışır. Fakat bu yöntemde deneyimli hekimler dahi sorunlar yaşayabilmektedir. Özellikle apikal daralım bölgesinde birçok anatomik varyasyon bulunmaktadır. Bu durumda kök kanal boyunun tespitinde parmak hassasiyeti yetersiz kalabilir. Dokunsal duyunun doğruluğı; özellikle köklerin aşırı

eğimli olduğu dişlerde, kök apeksi tam olarak olgunlaşmamış dişlerde, rezorpsiyon bulunan köklerde veya apikal daralmanın dokusal hissini engelleyecek kalsifikasyon varlığında yanlış sonuçlara neden olabilmektedir (Siu ve ark., 2009).

Seidberg ve ark. (1975), deneyimli klinisyenlerin sadece %60 vakada apikal daralım bölgesini parmak hassasiyeti ile tespit edebildiğini bildirmişlerdir. Bir simülasyon çalışmasında ise kök kanal preparasyonu öncesinde yapılan preflaring işleminin kök kanal boyunu belirlemede ve apikal daralım bölgesini hissetmede parmak hassasiyetinin başarısını arttırdığı gösterilmiştir (Chandler ve Bloxham, 1990; Stabholz ve ark., 1995).

Çalışma boyu belirlenmesinde parmak hassasiyeti tek başına kullanılabilecek bir yöntem değil, yardımcı bir teknik olarak kabul edilebilir.

1.2.2. Kâğıt Konların Nemliliğinin Değerlendirilmesi

Kök kanalının kemomekanik preparasyonu tamamlandığında kanalı kurulamak amacıyla kâğıt konlar kullanılmaktadır. Kanal kurutulduktan sonra kâğıt kon ucundaki ekstra bir ıslaklık veya kan, apeksten periodontal dokulara geçiş olduğunun bir işareti olarak düşünülebilir. Bu yöntem özellikle apeks bulucu ve radyografinin yetersiz kaldığı aşırı geniş foramen veya kök rezorpsiyonlarının varlığında faydalı olabilmektedir. Aslında bu yöntemin çalışma boyu belirlemede değil de çalışma boyu kontrolünde kullanılması ile daha doğru sonuçlar elde edilmektedir (Hargreaves ve Cohen, 2020).

Kâğıt kon yöntemi ile yapılan çalışma boyu kontrolü, kâğıt kon içerisinde bulunan selüloz liflerinin periapikal bölgeye itilmesine neden olabilmektedir (Brown, 2017). Selüloz liflerinin kronik apikal lezyonlara sebep olarak tedavi başarısızlığına sebep olabileceği bildirilmiştir (Nair ve ark., 1990).

Kâğıt konların nemliliğinin değerlendirilmesi ile ilgili üç farklı yöntem tarif edilmiştir:

Geleneksel yöntem: Kâğıt kon, apikal daralımdan çıkacak şekilde yavaşça ilerletilir. Kâğıt konun ucunda ıslaklık oluşup oluşmamasına göre çalışma boyu belirlenir (Gutmann ve Lovdahl, 2010).

Rosenberg yöntemi: Kâğıt kon tahmini kanal boyundan 2 mm kısa yerleştirilir. Kâğıt konun ucunda ıslanma oluşuncaya kadar kanal içerisinde 0,25 mm'lik ilerlemeler yapılır. Konun kuru kaldığı maksimum uzunluk çalışma boyu olarak kabul edilir (Rosenberg, 2004).

Hibrit yöntem: Kâğıt kon ile apikal foramenden çıkılır ve uçta ıslaklık oluşunca bir büyük çaptaki kon biraz daha kısa olarak yerleştirilir. Kâğıt konun kuru kaldığı maksimum uzunluk çalışma boyu olarak kabul edilir (Simon ve ark., 2009).

1.2.3. Radyografik yöntem

X-ışınının 1895 yılında keşfedilmesinden sonra; radyografik imgenin elde edilmesi, görüntülenmesi ve saklanması için röntgen filmi kullanılmaktadır. Radyografi; diş hekimliğinde tanıdan itibaren, tedavi esnasında ve tedavi sonrası kontrollere kadar tedavinin tüm aşamalarında anahtar role sahip önemli bir araçtır. Endodontide de başarılı bir kök kanal tedavisinin ön şartı, kanal boyunun doğru olarak tespit edilmesi olduğu için radyografi tüm tedavi aşamalarında en önemli araçlardan biri olarak kabul edilmektedir.

Radyografik yöntem çalışma boyunun belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden en yaygın olanıdır. Kök kanal sisteminin direk gözlenebilmesi, kanal ve kurvatürlerin belirlenmesi, kök kanallarında bulunan kalsifikasyon, rezorpsiyon, pulpa taşı gibi yapısal özelliklerin belirlenmesi, hastalık bulunup bulunmadığının tespit edilmesi ve tedavi öncesinde tahmini bir çalışma boyu vermesi gibi avantajları mevcuttur

(Ravanshad ve ark., 2010). Filmlerin banyo işlemlerinin zaman alması, banyo esnasında oluşabilecek hatalar, hekimin ve hastanın fazla radyasyona maruz kalması, geleneksel radyografik yöntemin dezavantajlarından (Çalışkan, 2006).

Radyografik apeks, kökün radyografide görülen anatomik sonlanma noktasıdır ve uzun yıllardır çalışma uzunluğunu belirlemede kullanılmaktadır. Radyografik apeksin çalışma boyunu belirlemede güvenilir bir nokta olduğunu savunan araştırmacılar semento dentinal bileşkenin radyografik ve klinik olarak belirlenmesinin imkânsız olmasından dolayı radyografik apeksin uzunluk tespiti için kullanılabilen tek tekrarlanabilir bölge olduğunu söylemektedirler.

Radyografik apeksin konumu dişin açlandırılması, filmin konumu, film tutucusu, X-ışını konisinin uzunluğu ve ilgili dişe bitişik anatomik yapıların varlığı gibi faktörlere bağlıdır (Garg ve Garg, 2010). Özellikle üst çenede bazı anatomik yapıların veya kemik yapılarının superpoze olması nedeniyle teşhis zorlaşmaktadır. Bununla ilgili yapılan bir çalışmada zigomatik arkın kök kanalı üzerine superpoze olması sonucunda üst 1. molar dişlerin sadece %20'sinin apikal bölgesinin belirlendiği, üst 2. molar dişlerin ise sadece %42'sinin tespit edildiği saptanmıştır (Tamse ve ark., 1980; Cox ve ark., 1991).

Radyografiler ile üç boyutlu yapıların iki boyutlu görüntüsü elde edilmektedir. Apikal foramen kökün tam ucunda değil de bukkal veya lingual kısmında bulunursa radyografi ile iki boyutlu görüntü elde edildiğinden apikal foramenin tespiti zorlaşmaktadır. Bundan dolayı horizontal yönde farklı açılardan alınan radyografiler yararlı olabilmektedir (Levy ve Glatt, 1970; Olson ve ark., 1991). Ayrıca zaman içerisinde sekonder dentinin ve sementin birikmesiyle apikal daralım bölgesinin yer değiştirdiği durumlarda ise radyografik yöntemle yapılan çalışma uzunluğunun hatalı sonuçlar verebileceği de bildirilmiştir (Stein ve Corcoran, 1990; Ctehong ve Pitt, 1994).

Kanal tedavisine başlamadan önce paralel teknik ile yüksek kalitede bir radyografi çekilmelidir. Bu radyografi; mevcut köklerin ve kanalların sayısını,

şekillerini ve eğriliklerini gösterirken kanal uzunluğunun belirlenmesi esnasında hekime yardımcı olmaktadır (Chhil, 2020).

Yaygın olarak kullanılan radyografi çekim teknikleri arasında, paralel tekniğin apikal anatominin belirlenmesinde açığortay tekniğinden üstün olduğu gösterilmiştir. X ışınlarının geliş açısı arttıkça ışınların geçmesi gereken dokunun kemik kütlesi arttığı için açı paralelden uzaklaştıkça görüntü kalitesi düşer ve dolayısıyla kök anatomisi daha az belirgin hale gelmektedir (Garg ve Garg, 2010).

Endodontide radyografik yöntemi incelemeden önce “bukkal nesne kuralının” anlaşılması önemlidir. Kuralın temel kavramı, X-ışını tüpü dikey veya yatay olarak hareket ettirildiğinde, bukkal taraftaki nesnenin, lingual taraftaki nesneye kıyasla radyografinin karşı tarafına hareket etmesidir. Bu kural aynı zamanda SLOB (same lingual opposite buccal) kuralı olarak da bilinir.

Radyografik yöntem ile çalışma uzunluğunu hesaplamak için preoperatif periapikal radyografi kullanılır. Panoramik filmler büyük magnifikasyonlara sahip olabileceği için çalışma uzunluğu hesaplanmasında kullanılması uygun değildir.

Kanal içine yerleştirilen ege ile alınan radyografide radyografik apekse göre elde edilen ölçümden 1,0 mm çıkarılarak çalışma uzunluğu elde edilir. Bu teknik ilk olarak John Ingle (1994) tarafından tanımlanmıştır.

Weine (1996) 1,0 mm çıkarma kuralını aşağıdaki gibi modifiye etmiştir:

a. Periapikal kemik veya kök apeksinde herhangi bir rezorpsiyon gözlenmiyorsa ölçümden 1,0 mm çıkarılır.

b. Periapikal kemikte rezorpsiyon gözleniyorsa 1,5 mm çıkartılır.

c.Periapikal kemikte ve kök apeksinde rezorpsiyon görülüyorsa 2,0 mm çıkartılır. Çünkü kök rezorpsiyonu varsa, bu gibi durumlarda apikal daralma kaybı meydana gelebilir.

Çalışma uzunluğunu hesaplamak için basit matematiksel bir formülasyona dayanan bir yöntem bulunmuştur. Bunun için kanala bir eğe yerleştirilir, lastik stopper referans noktasında sabitlenir ve röntgen çekilir. Bu yöntemde kullanılan formül aşağıdaki gibidir:

Dişin gerçek uzunluğu

Dişin radyografide görülen uzunluğu

_____ = _____

Enstrümanın gerçek uzunluğu

Enstrümanın radyografide görülen uzunluğu

Bu yöntem ile çalışma uzunluğu hesaplamasında radyografi açılarında oluşabilecek varyasyonlar nedeniyle ve eğimli kanallarda hatalı ölçümler elde edilebilmektedir (Raghu ve ark., 2014).

Kuttler'a (1955) göre kanal preparasyonu apikal daralımda sonlandırılmalıdır. Yaptığı çalışmada minör ve major foramen arasındaki mesafeyi genç hastalarda ortalama 0,524 mm iken yaşlı hastalarda 0,66 mm olarak belirtmiştir. Kuttler'ın tekniğinde preoperatif radyografide minör ve major foramen lokalize edilir. Preoperatif radyografiden tahmini kök uzunluğu belirlenir. Kanal genişliği radyografide incelenir. Kanal darsa 10 veya 15 boyutlu el aleti, ortalama genişlikte ise 20 veya 25 boyutlu el aleti, genişse 30 veya 35 boyutlu el aleti kullanılır. Seçilen el aleti kanala yerleştirilerek tahmini kanal uzunluğu kadar ilerletilir ve radyografi alınır. Eğenin minör foramene uzaklığı 1 mm'den uzun veya kısaysa, ege kanal içinde tekrardan konumlandırılır ve ikinci radyografi çekilir. Ege majör foramene ulaşırsa, bu uzunluktan genç hastalarda 0,5 mm, yaşlı hastalarda 0,67 mm çıkarılır.

Geleneksel radyografilerin dezavantajları nedeniyle uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan konvansiyonel radyografiler yerini dijital radyografilere bırakmaktadır (Çalışkan, 2006).

Dijital radyografiler konvansiyonel radyografilere göre radyasyon dozunun az olması, görüntü kalitesinin daha yüksek olması, banyo işlemi olmadan film yerine elektronik bir aygıt kullanarak hızlı görüntü elde etmesi, görüntülerin kaydedilmesi, arşivlenmesi ve iletiminin daha kolay olması ve dijital görüntü üzerinde değişiklik yapılabilmesi nedeniyle günümüzde endodontik tedavide daha çok tercih edilmektedir (Pascon ve ark., 2009).

Dijital radyografide radyovizyografi (RVG) veya fosfor plak görüntüleme sistemi kullanılır.

Radyovizyografide ağız içine uygulanan sensörler aracılığı ile röntgen, dijital olarak çekilmekte ve röntgen banyosu yapılmadan görüntü 1-2 saniye içerisinde, bilgisayar üzerinde elektronik olarak elde edilmektedir. Bu sistemde görüntü bilgisayarda saklanabilmektedir. Bu yöntemde, kök kanalındaki kanal aletinin ucu ile apikal foramen arasındaki mesafe dijital olarak ölçülerek çalışma uzunluğu daha kısa sürede belirlenebilmektedir. Ayrıca elde edilen görüntünün kontrastı değiştirilerek netliği artırılabilir (Aşçı, 2014).

Fosfor plaklar kablosuz, röntgen ışını aldığı anda sabit bir görüntüyü kendi üzerine kaydedebilen ince sensörlerdir. Kaydedilen görüntü bir okuyucu cihaz yardımıyla bilgisayar ekranına taşınır. Kullanılmış fosfor plaklar üzerindeki görüntüler yoğun beyaz ışığa maruz bırakılarak silinip, yeniden kullanılabilir duruma getirilebilirler. Plakların çizilebilmesi, kullanılmış plaklarda bazen silinmenin tam gerçekleşmeyip hayalet görüntüler bırakması gibi dezavantajları vardır (Nair ve Nair, 2007).

Çalışma boyunun belirlenmesinde geleneksel radyografilerle dijital radyografilerin kıyaslandığı çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların pek

çoğunda dijital yöntem ve geleneksel yöntem kullanılarak yapılan ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (Lamus ve ark., 2001; Lozano ve ark., 2002; Menten ve Gencoglu, 2002).

1.2.4. Elektronik Apeks Bulucular

Elektronik apeks bulucular geleneksel olarak kök kanal boyunu ölçen yöntemlere alternatif olarak geliştirilmiş, elektronik cihazlardır (Khadse ve ark., 2017).

Radyografiler ile iki boyutlu görüntüler elde edildiği için kök anatomisini ve kökte var olan patolojiyi normal anatomik yapılardan ayırt etmedeki zorluklar nedeniyle sıklıkla yanlış yorumlanabilmektedir (Martínez-Lozano ve ark., 2001). Elektronik apeks bulucular radyasyonun zararlı etkileri, radyografik teknikle ilişkili olarak ortaya çıkan teknik sorunlar nedeniyle yıllar içinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Apeks bulucular aynı zamanda kök perforasyonu belirlemede, eksternal ve internal rezorpsiyon tanısında, horizontal ve vertikal kök kırıkları tespitinde, kök oluşumu tamamlanmamış apeksifikasyon tedavisi gereken dişlerde ve süt dişlerinde çalışma boyu belirlerken kullanılmaktadır (Khadse ve ark., 2017).

Elektronik apeks bulucular temel olarak apikal daralmayı bulmak için kullanılırlar. Minör foramen ve majör forameni ayırt etme yeteneği, apikal kontrol bölgesinin oluşturulması için çok önemlidir. Apikal kontrol bölgesi, kök kanal dolgu materyalinin kök kanal dolumu esnasında oluşturduğu basınca karşı direnç sağlayan kök kanal boşluğunun apikal ucunun mekanik olarak değiştirilmesi ile oluşturulan bir alandır (Garg ve Garg, 2010).

Kök kanal sistemi, elektrik akımının yalıtımını sağlayan dentin ve sement ile çevrilidir. Minör apikal foramen, oluşturulan akımın kanal boşluğu içindeki iletken

materyaller ile elektriksel olarak iletken olan periodontal ligamente iletildiği noktadır (Ionescu ve ark., 2020). Temelde tüm elektronik apeks bulucular, bir elektrik devresini tamamlamak için insan vücudunu kullanarak çalışmaktadır. Apeks bulucunun devresinin bir tarafı endodontik alete bağlanırken diğer tarafı hastanın ağız mukozası ile temas ettirilir. Endodontik alet periodontal dokuya temas edene kadar kök kanalında ilerletildiğinde devre tamamlanarak ölçüm yapılır.

Elektronik apeks bulucuların tarihi, Custer'ın çalışma uzunluğunu belirlemek için elektrik akımı kullanımını bildirdiği 1918'e kadar uzanmaktadır. Custer, apeksi çevreleyen dokuların elektrik iletkenliğinin, kanal içindeki iletkenlikten daha fazla olduğu gerçeğine dayanarak, elektrik iletimi yoluyla kök kanal boyunun tespit edilebileceği fikrini ortaya atmıştır. Custer, oral mukozaya yerleştirdiği bir elektrot ve kök kanalına yerleştirdiği kanal aleti arasına bir voltaj uygulamış ve oluşan elektrik akımını ölçerek apikal foramenin yerini tespit etmiştir (Gutmann, 2016).

Suzuki 1942 yılında, köpek dişlerinde iyontoforez yöntemi ile yaptığı deneysel çalışmada kök kanalı içerisine yerleştirilen kanal aleti ile oral mukozaya yerleştirilen bir elektrot arasındaki elektrik direncinin sabit bir değer kaydettiğini keşfetmiştir. Elektronik apeks bulucular, Suzuki'nin oral dokuların elektrik direncini araştırmasından sonra geliştirilmiştir.

Sunada 1962 yılında, basit devreli bir doğru akım cihazı kullanarak yaptığı çalışmada; hastaların yaşlarına ya da dişlerin tipine ve şekline bağlı olmaksızın, ege ucu apikal forameni geçerek periodontal membrana ulaştığında, muköz membran ile periodonsiyum arasındaki elektrik direncinin yaklaşık 6,5 k Ω (kilo-ohm) olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, ege perforasyon varlığında perfore alandan periodontal membrana ulaştığındaki elektriksel direncin de ege'nin apekse ulaştığı zamanki değere eşit olduğunu iddia etmiştir.

Rezistans ölçme fikri bir süre sonra yerini elektriksel olarak empedans ölçme fikrine bırakmıştır. Çok kısa bir süre sonra bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak frekans tip ve orantı tip elektronik apeks bulucular üretilmiştir. (Gordon

ve Chandler, 2004). Üreticiler yeni cihazların, orijinal rezistans bazlılara göre farklı elektronik kurallar kullanarak apikal daralmanın yerini tespit ettiğini iddia etmektedirler.

Apeks bulucuların kalp pili bulunan hastalarda kullanımı genellikle güvenlidir, ancak yine de üretici firmalar, kalp pili olan hastalarda hastanın kardiyologuna danışılmadan kullanılmaması gerektiğini belirtir. İn vitro yapılan bir çalışmada, elektronik apeks bulucular kalp piline doğrudan bağlandığında kalp pilinin fonksiyonunu engellemediği görülmüştür (Garofalo ve ark., 2002), elektrokardiyografi monitörü ile yapılan klinik bir çalışmada da elektronik apeks bulucuların herhangi bir kardiyak cihazın fonksiyonunu etkilemediği bildirilmiştir (Wilson ve ark., 2006).

1.2.4.1. Elektronik Apeks Bulucuların Sınıflandırılması

1.2.4.1.1. Birinci Nesil Apeks Bulucular (Rezistans Tip):

Oral mukoza ve periodontal ligament arasında 6,5 k'Ωluk sabit bir direncin varlığı esasına dayanan bir prensip ile çalışmaktadır. Kök kanalı içindeki kanal aleti, periodontal ligament ile temas ettiğinde devre tamamlanmaktadır (Aşçı, 2014).

Rezistans tip elektronik foramen bulucular, dudak klipsi ve kanal eğesine yerleştirilen ege tutucu ile oluşturulan doğru akım devresine bir gerilim uygulayarak oluşan elektrik akımının değerini ölçerler.

Rezistans tip elektronik apeks bulucuların birçoğunun kanal içinin kuru olduğu durumlarda doğru sonuç verdiği, aşırı kanama, cerahat ya da pulpa dokusu varlığında ise yanlış sonuçlar verebildikleri bildirilmiştir (Pommer ve ark., 2002; Suchde ve Talim, 1977; Tınaz, 2001). Çünkü ölçüm esnasında kanal içindeki kanal aleti

periodontal ligamente temas etmekte olan sıvıya dokununca devre tamamlanmakta ve kanal boyundan daha kısa ölçümler elde edilmektedir (Tınaz, 2001).

Rezistans tip cihazların kullanımına başlamadan önce kök kanal çapı tahmin edilmeli ve kanala tam uyan bir kanal aleti seçilmelidir. Bunun önceden tahmin edilmesi oldukça zordur ve bu tip cihazların ana problemlerinden biri budur. Diğer bir sorun da her ölçüme başlamadan önce bu aletlerin kalibrasyon gerektirmesidir. Bu tip cihazların yetersiz kaldığı bir diğer durum açık apeks ve periodontal lezyonun bulunduğu dişlerdir. Çünkü her iki durumda da kanal aleti periodontal ligamente temas edemez. Böyle durumlarda normalden uzun ölçümler elde edilebilir (Tınaz, 2001). Alet doğru akım taşıdığı için, kalp pili taşıyan hastalarda sakıncalı olabilmektedir (Aşçı, 2014). Ölçüm esnasında oluşan doğru akım derin anesteziye rağmen bazı hastalar tarafından sızlama veya elektrik şoku şeklinde ağrıya neden olmaktadır (Kim ve Lee, 2004).

The Root Canal Meter (Onuki medical Co. Japan), Endodontic Meter, Endodontic Meter S II (Onuki medical Co. Japan), Dentometer (Dahin Electro medicine, Denmark), Endo Radar (Electronica Liarre, Italy) birinci nesil apeks buluculara örnektir.

1.2.4.1.2. İkinci Nesil Apeks Bulucular (Empedans Tip)

Rezistans tipi aletlerde kullanılan tek dalga boyundaki akımın direnci yerine, empedansını ölçen bu aletlerin çalışma prensibi; kanalın en dar yeri olan apikal daralımda, kök kanal duvarından geçen empedanstaki ani düşüşü belirleme esasına dayanmaktadır (Aşçı, 2014).

Empedans, doğru akım devrelerindeki direncin, alternatif akım devrelerindeki karşılığıdır. Alternatif akım kullanan elektronik apeks bulucular farklı frekanslarda apikal foramendeki empedans değerlerini ölçer.

İkinci nesil elektronik apeks bulucuları diğerlerinden ayıran en önemli farklardan biri ölçüm yapılırken kanal içinde kanal aleti yerine prob kullanılmasıdır. Kullanılan bu prob kalınlığı nedeniyle dar kanallarda kullanım zorluğu oluşturmaktadır (Nekoofar ve ark., 2006; Tımaz, 2001). Bu cihazlarda dudak klipsi yerine hastanın elde tutabileceği bir parçası vardır ve her dişte kullanımdan önce diş eti sulkusunda kalibre edilmeleri gerekir (Inoue, 1973; McDonald, 1992).

Bu cihazların yüksek frekansta elektrik akımı kullandığı için hastalarda rahatsızlık hissi uyandırması ve her kullanımdan önce kalibrasyon gerektirmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır (Christie ve ark., 1993). İkinci nesil apeks bulucuların bir diğer dezavantajı, doğru ölçümler elde etmek için kök kanalının elektro-iletken maddelerden arındırılmış olması gerekmesidir. Elektro-iletken solüsyonların varlığı, kanalın elektrik özelliklerini değiştirdiği için yanlış ölçümlere neden olmaktadır (Garg ve Garg, 2010).

Sono-Explorer M-III, Sono-Explorer (Hayashi Dental Supply, Japan), The Endo Analyzer (Analytic/ Endo, Orange, USA) ikinci nesil apeks buluculardandır.

1.2.4.1.3. Üçüncü Nesil Apeks Bulucular (Frekans Tip)

Bu cihazların çalışması kanaldaki farklı bölgelerin yüksek (8 KHz) ve düşük (400 Hz) frekansları arasındaki empedans farkı prensibine dayanır. Empedanstaki fark en az kanalın koronal kısmındadır. Prob kanalın derinliklerine indikçe empedanstaki fark artar. Semento dentinal birleşmede bu fark en yüksek değerdedir (Garg ve Garg, 2010). Bu cihazlar iki farklı frekanstaki empedans değerini ölçer ve iki değer arasındaki farkı hesaplar.

Bu nesil cihazların en büyük avantajı doku artıkları ve sodyum hipoklorit gibi iletken sıvıların varlığında bile tutarlı ölçümler vermesidir. Ancak bu cihaz da birinci ve ikinci nesil cihazlarda olduğu gibi her kullanımdan önce kalibrasyon

gerektirmektedir. 2 μ A gibi çok küçük voltajda çalıştığı için kullanım esnasında hastada bir rahatsızlık yaratmaz (Gordon ve Chandler, 2004; Tınaz, 2001).

Kobayashi ve ark. (1991) nemli ortamda kullanılabilen ve kendi kendini kalibre edebilen ilk modern elektronik apeks bulucu olan Root ZX (J Morita, Tokyo, Japan)'i piyasaya sürmüşlerdir. Bu cihazın kuvvetli mikro işlemcilere sahip olduğu, matematiksel oranlama ve algoritma hesabı yapabildiği için daha doğru sonuçlar verdiği ifade edilmektedir (Gordon ve Chandler, 2004). Kanal içinin nemli olduğu durumlarda doğru sonuç verme özelliği tüm dikkatleri Root ZX'in üzerine çekmiş ve günümüze kadar halen pek çok çalışmada yeni üretilen elektronik apeks bulucuların doğruluğu araştırılırken Root ZX altın standart olarak kullanılmaktadır (Gordon ve Chandler, 2004).

Root ZX (J. Morita Japan), Endex/Apit (Osada, Japan), Justy II (Yoshida Co., Japan), Apex Finder AFA Model 7005 (EIE Analytic Endodontics, USA), Neosono-D (Amadent Medical and Dental, Co, USA), Propex (Dentsply Maillefer, Switzerland), Raypex 5 (VDW, Munich, Germany) üçüncü nesil apeks buluculara örnektir.

1.2.4.1.4. Dördüncü Nesil Apeks Bulucular (Orantı Tip)

Kök kanalının empedansının, iki farklı dalga boyuna sahip iki elektriksel akım ile ölçülerek; frekans farkı yerine, empedanslar arasında orantı kurularak belirlenmesi esasına göre çalışır (Aşçı, 2014). Bu tip cihazlar yaptığı kapasitans ve rezistans ölçümlerini kendi veri tabanındaki değerler ile karşılaştırarak kanal eğesinin apekse olan uzaklığını belirler (Nekoofar ve ark., 2006). Dördüncü nesil elektronik apeks bulucuların eksuda varlığında veya kanda hatalı sonuçlar verebildiği, kısmen kurutulmuş kanallarda daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Gordon ve Chandler, 2004).

AFA Apex Finder (EIE Analytic Technology, USA), Elements Diagnostic Unit (Sybron Endo, Sybron Dental, Anaheim, CA, USA), Root ZX II (J Morita, Tokyo, Japan), Propex II (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Switzerland), Bingo 1020 (Forum Engineering Technologies, Rishon Lezion, Israel) dördüncü nesil apeks buluculara örnektir.

1.2.4.1.5. Beşinci Nesil Apeks Bulucular (Multifrekans Tip)

Bu cihazların çalışma prensibi çoklu frekans kullanımına dayanmaktadır. Bu nesil elektronik apeks bulucular kök kanal koşullarından (kuru, ıslak, kan, salin, EDTA, NaOCl) etkilenmez (Kovačević ve Tamarut, 1998; Dimitrov ve Roshkev, 2009). Bu yöntemi kullanan cihazlar kuru kanallarda çalışırken önemli zorluklarla karşılaşmaktadır (Soi ve ark., 2013). Apex NRG Blue (Medic NRG, Israel), Apex NRG XFR (Medic NRG, Tel Aviv, Israel), Endo Master (EMS Swissendo, CH), Joypex-5 (Denjoy, China), E-Magic Finder (S-Denti Seoul, South Korea), Propex Pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), Root ZX mini (J Morita, Tokyo, Japan) beşinci nesil elektronik apeks buluculara örnektir.

1.2.4.1.6. Altıncı Nesil Apeks Bulucular (Adaptif tip)

Adaptif apeks bulucular da çoklu frekans işletim sistemine sahiptirler. Kanalın nemini sürekli olarak tanımlarlar, kuru veya ıslak kanala hemen adapte olurlar. Bu cihazlarda uzun süreli çalışmalar sonucu, kanalın nem özelliklerine bağlı sabit bir algoritma oluşturulmuştur ve çalışma uzunluğu bu yöntem ile tespit edilmektedir. Bu nesil, dördüncü ve beşinci nesil apeks bulucuların avantajlarını birleştirmektedir. Çalışma uzunluğunu ölçme yöntemi kanalların nem özelliklerine bağlıdır. Modern teknoloji sayesinde, altıncı nesil adaptif apeks bulucular, küçük boyutlu cihazlardır. Ayrıca bu cihazlar renkli multimedya ekranlarında grafiksel bilgiler sunmaktadırlar (Dimitrov ve Roshkev, 2009). Apex ID (SybronEndo, Glendora, CA) altıncı nesil apeks bulucuya örnektir.

1.2.5. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (CBCT)

Periapikal ve panoramik görüntüleme yöntemleri uzun yıllardır diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılsalar da iki boyutlu görüntü elde etmeleri nedeniyle belirli sınırlamaları vardır. 1972 yılında, bilgisayarlı tomografilerin tanıtılması ile birlikte, anatomik yapıların ve birbirleriyle olan ilişkilerinin üç boyutlu olarak görüntülenmesi mümkün olmuştur. Bilgisayarlı tomografi (BT) ile elde edilen 3 boyutlu görüntülerde; geleneksel radyografilerin 2 boyutlu olması nedeniyle oluşan anatomik yapıların süperpozisyonu, açı sapmalarına bağlı olarak meydana gelen boyutsal ve niteliksel değişim gibi dezavantajların görülmemesi BT'lerin tıbbın tüm alanlarında teşhis ve tedavi planlamasında önemli bir yer edinmesine neden olmuştur. Başlangıçta sadece baş bölgesinin görüntülenmesinde kullanılan BT ile daha sonra tüm vücudun görüntülenmesi mümkün hale gelmiştir (Patel ve ark., 2009).

Bilgisayarlı tomografinin diş hekimliği alanında kullanımını sınırlandıran çeşitli dezavantajları nedeniyle 1998 yılında, çalışma prensipleri BT'ye göre farklılık gösteren CBCT (Cone Beam Computed Tomography; Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi)'lerin maksillofasyal görüntüleme amaçlı kullanımı gündeme getirilmiştir (Mozzo ve ark., 1998). CBCT, geleneksel bilgisayarlı tomografiden önemli ölçüde daha düşük etkili radyasyon dozu ile bozulmamış görüntüler üreten çağdaş bir radyolojik görüntüleme sistemidir (Durack ve Patel, 2012). CBCT görüntüleme, endodontik tanı ve tedavi planlaması, implant tedavi planlaması, cerrahi ve ortodontik tedavi planlaması, paranasal sinüslerin değerlendirilmesi, temporomandibular eklemler, intraosseöz patolojiler vb. çeşitli maksillofasiyal tanı alanlarında uygulamalara sahiptir (Mallya, 2016).

CBCT görüntüleri, mezio-distal, buko-lingual veya koronal düzlemlerde görüntülenebilir ve klinisyene üç boyutlu bir görüntü sağlar (Patel ve ark., 2009). Kök kanal morfolojisinin bu gelişmiş görselleştirmesi, çalışma boyu ölçümlerinde CBCT kullanımını arttırmaktadır (Jeger ve ark., 2012). Konik ışınli bilgisayarlı tomografi, kök kanalının doğru bir ölçümünü sağlayabilse de (Janner ve ark., 2011; Jeger ve ark.,

2012; Liang ve ark., 2013; Connert ve ark., 2014), yüksek radyasyon dozu nedeniyle kullanımı sınırlıdır.

1.3 Elektronik Apeks Bulucuların Doğruluğunu Etkileyen Faktörler

1.3.1. Pulpanın Vitalitesi

Çalışmaların çoğu vital pulpanın, kök kanal tedavisi esnasında elektronik apeks bulucuların doğruluğu üzerinde etkisi olmadığını bildirmekle birlikte, bu konuda hala bazı fikir ayrılıkları bulunmaktadır (Hoer ve Attin, 2004).

Vital pulpanın, apikal daralımın tespitini etkileyip etkilemeyeceğine ilişkin çekilmiş dişler ile yapılan bir in vivo çalışmada vital ve devital dişlerde yapılan ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (Lee ve ark., 2002). Smadi (2006), preoperatif pulpal durumun TAZX foramen bulucu üzerindeki etkisini araştırdığı çalışmasında vital ve devital kanallarda radyografik apeks ve kök kanal dolgusunun bittiği nokta arasında anlamlı bir mesafe farkı gözlemlememiştir. Benzer olarak Akisue ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada pulpal durum ne olursa olsun Element Diagnostic Unit ve Apex Locator ile yaptıkları ölçümün güvenilir olduğunu göstermişlerdir. NovApex ile yapılan bir çalışmada da vital ve devital kanallarda yapılan ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Renner ve ark., 2012).

Apex Finder AFA Model 7005 ile yapılan ölçümlerin pulpanın durumdan etkilenip etkilenmediğinin araştırıldığı bir çalışmada; cihazın vital dişlerde apikal darlığı tespit etme oranı %93,9 iken, devital dişlerde bu oranın %76,6'ya düştüğü ve bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirtilmiştir (Pommer ve ark., 2002). Manhas ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada apeks bulucu ile apikal daralım belirlerken vital dişlerde devital dişlere göre daha doğru sonuçlar elde edilebileceğini bildirmişlerdir.

Periapikal radyolüsen siye sahip nekrotik pulpal ı dişlerde apikal daralımdan 1,5 mm'ye kadar ileride hatalı ölçümler elde edilebilmektedir. Çünkü bu dişlerde periodontal ligament ve periapikal kemik zarar gördüğü için apeks bulucular ile gerçek çalışma boyundan daha fazla değerler elde edilebilmektedir (Manhas ve ark., 2020).

1.3.2. Elektrik İleten Solüsyonlar ve Kanal İçi Medikamanlar

Sunada (1962), periodontal ligament ile oral mukoza arasındaki elektrik direncinin ölçülebilen sabit bir değere sahip olduğunu göstermiştir. Ancak bu sabit değer, frekansa bağlı apeks bulucular ile ölçüm esnasında kanal içindeki elektrolitlerden etkilenmekteydi. Daha sonraki yıllarda, Kobayashi ve Suda (1994), kanal uzunluğunu belirlerken iki farklı elektrik akımı frekansı kullanarak aynı kanaldaki iki empedans oranını aynı anda hesaplayan elektrolit veya vital pulpa dokusu varlığında ölçüm yapabilen bir apeks bulucu (Root ZX, J Morita, Tokyo, Japan) geliştirmişlerdir. Ancak halen kan, anestezi solüsyon, sodyum hipoklorit gibi iletkenlik özelliği yüksek sıvıların, elektronik foramen bulucuların doğruluğunu etkileyip etkilemediğine ilişkin bazı kuşklar bulunmaktadır.

Tınaz ve ark. (2001), değişik konsantrasyonlarda (%5,25, %2,65, %1 ve %0,5) NaOCl'in Root ZX'in ölçüm hassasiyetini etkilemediğini bildirmişlerdir.

Kim ve ark. (2004), elektronik apeks bulucular ile yapılan ölçümlerin, H₂O₂ gibi elektrik iletkenliği düşük bir solüsyon varlığında kısa, NaOCl gibi elektrik iletkenliği yüksek bir solüsyon varlığında ise uzun olma eğiliminde olduğunu ve bu durumun voltaj farkından kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. Ölçüm hatalarını en aza indirmek amacıyla, farklı irrigasyon solüsyonları kullanımına göre voltaj farklılıklarını otomatik olarak ayarlayan yeni bir devre geliştirmişler ve sonuç olarak ölçüm hatalarının önemli ölçüde azaldığını ve doğruluk oranlarının; H₂O₂ için %71,1'den %91,1'e; NaOCl için %82,2'den %100'e çıktığını görmüşlerdir (Kim ve Lee, 2004). Venturi ve Breschi (2007), yaptıkları bir çalışmada kuru ortamda Root ZX ile yapılan ölçümlerin stabil olmadığını ve yanlış sonuçlar elde ettiklerini belirtilmişlerdir. Gomes

ve ark. (2012), kök kanallarında farklı irrigasyon solüsyonları (%2,5 NaOCl, %2 Klorheksidin, %17 EDTA) varlığında Raypex 5'in doğruluğunda önemli bir farklılık tespit etmemişlerdir. Özsezer ve ark. (2017), Propex ile yaptıkları bir çalışmada kök kanalında klorheksidin varlığında NaOCl'e göre daha doğru sonuçlar elde etmişlerdir. Root ZX'in kök perforasyonu bulunan dişlerdeki doğruluğunun test edildiği başka bir çalışmada da ölçümlerin doğruluğunun kanal içi içeriğe bağlı olduğu gözlemlenmiştir (Shin ve ark., 2012). Dentaport ZX ve Rotor cihazlarıyla farklı irrigasyon solüsyonları (%2,5 NaOCl, salin solüsyonu ve %17 EDTA) bulunan ve kuru olan kanallarda kök perforasyonu belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, her iki foramen bulucuda en yüksek doğruluk oranı kuru kanallarda gözlenmiştir. Solüsyonlar açısından ise, Dentaport ZX grubunda en yüksek doğruluk oranı EDTA solüsyonunda gözlenirken, en düşük doğruluk oranı NaOCl solüsyonunda gözlenmiştir. Rotor grubunda ise salin solüsyonunda elde edilen ölçümler EDTA'ya ait ölçümlerden daha doğru tespit edilmiştir (Altunbaş ve ark., 2017).

Apex Finder AFA Model 7005 beş farklı frekans (0.5 kHz, 1, 2, 4 ve 8 kHz) kullanarak çalışan bir elektronik apeks bulucudur. Apex Finder'ın kök kanalında eksuda, kan, NaOCl gibi farklı elektrolit içeren sıvılar bulunduğunda bile kök kanal uzunluğu ölçümünü yapabildiği gösterilmiştir (Pommer ve ark., 2002). Marigo ve ark. (2016) Dentaport ZX ile NaOCl varlığında ve yokluğunda elektronik çalışma boyu ölçümünde benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Duran-Sindreu ve ark. (2013) NaOCl ve klorheksidinin Root ZX ve iPex cihazları ile yapılan ölçümleri etkilemediğini rapor etmişlerdir. NaOCl ve kan varlığında Root ZX, Raypex ve Pixi ile yapılan bir mikro-BT çalışmasında ölçümler arasında anlamlı bir farklılık olmadığı, bu solüsyonların çalışma boyu ölçümlerini etkilemediği belirtilmiştir (Çınar ve Üstün, 2020).

Yapılan birçok çalışmada kalsiyum hidroksit uygulanan kanallarda elektronik apeks bulucuların doğruluğunun olumsuz etkilendiğini ve bu etkilenmenin kanalda kalan kalıntı miktarı ile doğru orantılı olduğu bildirilmiştir (Ustun ve ark., 2015; Uzunoğlu ve ark., 2015; Ayranci ve ark., 2019)

1.3.3. Apikal Kök Rezorpsiyonu

K k  çevreleyen periodontal dokuların ve apikal daralımın yıkıma u radı ı inflamatuvar kök rezorpsiyonu olgularında, elektronik apeks bulucuların kullanımı tartışmalı bir konudur (Mente ve ark., 2002).

Travma geçirmiş dişlerde pulpanın, periodontal dokuların ya da her ikisinin kronik inflamasyonunda apikal rezorpsiyon görülme ihtimali vardır. Böyle bir durumda apikal konstrüksiyonun yeri patolojik olarak de iştiyse veya yok olduysa çalışma boyu belirlemek zor olmaktadır. İnfamatuvar kök rezorpsiyonu bulunan nekrotik dişlerde apikal konstrüksiyon kaybolabilir veya yeri değişebilir bunun sonucunda da hatalı ölçümler elde edilebilir (Kim ve Lee, 2004).

Apikal rezorpsiyon g r len dişlerde Root ZX kullanılarak yapılan bir çalışmada ölçümlerin doğruluk oranının yalnızca %62,7 olduğu bildirilmiştir (Goldberg ve ark., 2002).

Rezorpsiyonun gözlendiği süt dişlerinde yapılan bir diğer çalışmada Tri Auto ZX'in do rulu unun bu durumdan etkilenmediği gösterilmiştir (Kielbassa ve ark., 2003). Kök rezorpsiyonu olan ve olmayan süt dişleri ile yapılan çalışmada ise iki grup arasında anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir (Tosun ve ark., 2008).

1.3.4. Foramen Apikale'nin çapı ve  l  mde Kullanılan E enin  apı

Anatomik  zellikler, taşkın preparasyon, kök rezorpsiyonları ve tamamlanmamış apikal kök formasyonu sonucunda apikal foramen genişleyebilir ve bu durum kök kanal tedavisi sırasında elektronik çalışma boyunun doğru ölçümünü etkileyebilir (Akisue ve ark., 2014).

Apikal konstrüksiyonu genişletilmiş dişlerde yapılan bir in vitro çalışmada, elektronik apeks bulucu ile ölçüm yapılırken konstrüksiyonun çapına göre daha küçük eğeler kullanılmıştır. Root ZX ile yapılan ölçümlerle apikal daralımdan daha küçük boyutta eğeler kullanılmasına rağmen doğru sonuçlar elde edilmiştir (Nguyen ve ark., 1996). Kim ve Lee (2004), farklı diş gruplarında apeks bulucu ile yaptıkları ölçümlerde foramenin çapına uygun olarak 25 numaradan büyük ve küçük eğeler kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, kanal boyu tespitinde 25 numaralı eğeden daha küçük veya büyük çaplarda eğe kullanımı arasında, ölçüm sonuçlarının doğruluğu açısından herhangi bir farklılık olmadığını belirtmişlerdir.

Sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda apikal foramen çapının artmasıyla elektronik apeks bulucuların doğruluğunun azaldığı bildirilmiştir (Ebrahim ve ark., 2007; Herrera ve ark., 2011). Geniş apikal çaplara sahip dişlerde, apikal çapa uygun olmayan küçük eğelerin kullanılması nedeniyle ölçüm esnasında aşırı elektrik akımı olduğundan hatalı çalışma boyu ölçümleri elde edilebilir (Ebrahim ve ark., 2007). Renner ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada kanalın apikal çapına uygun eğe seçiminin ölçümlerde doğruluğu arttırdığını göstermişlerdir.

Genellikle elektronik foramen bulucu ile uzunluk ölçümü apikal konstrüksiyona kadar ilerleyebilen en küçük boyutlu bir eğe ile yapılır (Ebrahim ve ark., 2006). Bazı çalışmalar kanal çapından küçük eğelerin kullanılmasını önerirken (Briseño-Marroquín ve ark., 2008; Sadeghi ve Abolghasemi, 2008), bazı çalışmalar ölçümde kanal çapına uygun eğenin kullanılması ile daha doğru sonuçlar elde edildiğini belirtmiştir (Ebrahim ve ark., 2006). Kolanu ve ark. (2014), apikal foramen çapının 0.6 mm'den geniş olduğu dişlerde elektronik çalışma boyu ölçümlerinde hatalı sonuçlar elde etmişlerdir.

1.3.5. Perforasyonlar ve Kök Kırıkları

Kök perforasyonu kök kanal sistemi ve periodontal dokular arasındaki anatomik olmayan bağlantıdır. Perforasyon, çürük veya rezorpsiyon kaynaklı olabilirken

genellikle iyatrojenik kaynaklı meydana gelmektedir. Perforasyon varlığı kök kanal tedavisinden sonra dişin uzun dönem prognozunu kötü etkilemektedir (Alhadainy, 1994; Gorni ve ark., 2016).

Kökteki perforasyon yerinin klinik tanısı, irrigasyon solüsyonları veya kök kanal patı gibi materyallerin periradiküler dokulara ekstrüze olmasını en aza indirmek ve endodontik tedavi esnasında perforasyon alanının ilerisinde şekillendirme yapmayı önlemek için önemlidir (Fuss ve ark., 1996). Tanıda direk yöntem kanamanın gözlenmesi, indirekt yöntem kâğıt konda kanama görülmesi ve radyografik değerlendirme iken elektronik foramen bulucu kullanımı da kök perforasyonu hakkında bilgi vermektedir (Alhadainy, 1994).

Radyografi üç boyutlu görüntüyü iki boyutlu olarak gösterdiği için özellikle bukkal-lingual doğrultuda olan perforasyonların belirlenmesinde yetersiz kalmaktadır (Fuss ve ark., 1996). Birçok araştırmacı; kök perforasyonlarının apeks bulucular ile tespit edilebileceğini ifade etmektedirler (Nahmias ve ark., 1983).

Kaufman ve ark. (1997), in vitro ortamda Root ZX, Endex ve Sono Explorer Mark II'nin kök yüzeyindeki perforasyonu tespit edebilme etkinliklerini karşılaştırmışlar ve araştırmada kullanılan tüm elektronik apeks bulucuların perforasyonu 0,6- 0,06 mm geride tespit ettiğini bildirmişlerdir.

Temel çalışma ilkeleri göz önüne alındığında elektronik apeks bulucuların kök perforasyonlarını, horizontal ya da vertikal kök kırıklarını tespit etmesi gerekir. Teorik olarak kırık ya da perforasyonun başladığı nokta periodontal aralığa açılma noktası olduğu için, elektronik apeks bulucunun apeks çizgisini gösterdiği nokta, perforasyon bölgesini işaret eder. İn vitro ortamda yapay olarak horizontal ve vertikal kök kırığı oluşturulmuş dişlerde Justy II'nin etkinliğini araştıran bir çalışmaya göre; Justy II'nin horizontal kök kırıklarını tespit edebildiği, vertikal kırıkların tespitinde hatalı sonuçlar verdiği bulunmuştur (Azabal ve ark., 2004).

1.3.6. Süt Dişleri

Süt dişlerinde başarılı bir endodontik tedavi, fizyolojik dökülme işlemi tamamlanana kadar dişlerin korunmasında temel bir rol oynar. Süt dişlerinde devam eden fizyolojik kök rezorpsiyonu nedeniyle, apikal foramenin lokalizasyonunun tespiti hekim için oldukça güç olmaktadır. Süt dişlerinde apikal açıklığın belli zaman aralıklarıyla düzensiz bir şekilde rezorpsiyona maruz kalması nedeniyle, konvansiyonel yöntemler her zaman uygulanamaz (Barasuol ve ark., 2021).

Katz ve ark. (1996), rezorpsiyonun farklı derecelerinde çekilmiş süt dişlerinde, boy tespitinde Root ZX ve radyografiyi karşılaştırdıkları çalışmalarında, gerçek diş boyu ile kullanılan yöntemler arasında bir fark bulamamışlardır. Ayrıca, diş ve kanal tipinin, periapikal durumun ve klinik koşulların, Root ZX ile yapılan ölçümleri etkilemediği sonucuna varmışlardır. Bunun sonucunda; konvansiyonel radyografiye kıyasla Root ZX ile boy tespitinin, daha hızlı ve daha konforlu yapılabileceğini ileri sürmüşlerdir.

1.3.7. Kök Kanal Dolgusunun Yenilenmesi Esnasında Kullanımı

Kök kanal tedavilerinde istenilen iyileşme her zaman birinci endodontik tedavi ile sağlanamayabilir ve başarısızlıklar ortaya çıktığında kök kanal tedavisini yenilemek gerekebilir. Bu tedavinin amacı, apikal foramene yeniden erişim sağlamak için eski tedavide bulunan kök kanal dolgu malzemesinin tamamen çıkarılarak hem kök kanal sisteminin temizlenmesini ve şekillendirilmesini sağlamak hem de apikal bölgede elde edilmesi amaçlanan tıkanmayı sağlamaktır. Birçok alternatif tedavi arasında ortograd olarak yapılan cerrahi olmayan yeniden tedavi ilk seçenek olmalıdır (Gorni ve Gagliani, 2004).

Uzunoğlu ve ark. (2015), elektronik apeks bulucuların doğruluğunun kanal içi debris, organik artıklar, kalsiyum hidroksit, solventler, güta perka ve kök kanal patı varlığından etkilendiğini belirtmişlerdir. Propex ve Root ZX'in kök kanal dolgusu

yenilenmesi esnasında kök kanal uzunluğu belirlemedeki doğruluğunun incelendiği bir çalışmada Propex $\pm 0,5$ mm'de %80, $\pm 1,0$ mm'de %95 oranında doğru ölçümler verirken, Root ZX $\pm 0,5$ mm'de %95, $\pm 1,0$ mm'de %100 oranında doğru sonuçlar vermiştir (Goldberg ve ark., 2005).

Dentaport ZX, Propex Pixi, and iPex II ile yapılan kök kanal dolgusunun yenilenmesi esnasında elektrikli apeks bulucuların doğruluğunun karşılaştırıldığı bir çalışmada, cihazlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiş, ancak yeniden tedavi sonrası belirlenen çalışma uzunluğunun doğruluk yüzdesinin kök kanal tedavisinden önce belirlenen doğruluk yüzdesinden daha düşük olduğu gözlenmiştir (Tufenkci ve Kalaycı, 2020).

Kök kanal dolgusu yenilenmesi esnasında güta perkanın yumuşatılıp daha kolay çıkarılması için çözücü kullanımı önerilmiştir (Taşdemir ve ark., 2008). Fakat yapılan çalışmalarda yenileme esnasında kullanılan çözücülerin elektriksel iletkenliği nedeniyle elektronik apeks bulucuların doğruluğunu olumsuz etkileyebileceği bildirilmiştir (Er ve ark., 2013; Ustun ve ark., 2013).

1.3.8. Koronal Genişletmenin Etkisi

Birçok faktör gibi koronal genişletme de elektronik apeks bulucuların doğruluğunu etkilemektedir (Camargo ve ark., 2009). Birçok çalışmada, önceden dişe koronal genişletme yapılmasının elektronik apeks bulucuların doğruluğunu arttırdığı bulunmuştur (Camargo ve ark., 2009; Morgental ve ark., 2011; Brito-Júnior ve ark., 2012). Önceden genişletilmiş kanallara yerleştirilen eğeler apikal konstrüksiyona kolayca ulaşabilir ve ön genişletme yapılmayan kanallara göre daha düşük oranda taşkınlık gözlenir (Pecora ve ark., 2005). Ancak başka bir çalışmada ön şekillendirme yapmanın sonuçları etkilemediği bildirilmiştir (Tınaz ve ark., 2002b).

1.3.9. Endodontik Motor ile Birlikte Kullanılan Apeks Bulucular

Apeks bulucu ile entegre olarak kullanılabilen endodontik motorlar kök kanal tedavisi için oldukça popüler hale gelmiştir. Bazı araştırmalar, endodontik motor ile aynı anda kullanılan apeks bulucuların, tek başına kullanılanlar kadar güvenilir olmadığını tespit etmişlerdir (Uzun ve ark., 2008; Barthelemy ve ark., 2009; Siu ve ark., 2009). Yapılan bir çalışmada ise iki kullanım şekli arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı belirtilmiştir (Lvovsky ve ark., 2020).

1.4. Çalışma Uzunluğunun Doğruluğu için Yapılan Araştırmalarda Kullanılan Yöntemler

1.4.1. Apikal Foramenden Kanal Aletinin Çıkışının İzlenmesi

Bu yöntemde ince bir K tipi eğe ile kanalda ilerlenir, gözle veya büyütme altında kanal aletinin foramenden çıkışının izlendiği noktada ölçüm yapılır. Bu uzunluktan 0,5-1 mm çıkarılmasıyla elde edilen uzunluk, gerçek kök kanal uzunluğu olarak kabul edilir.

Bu yöntem ile çekilmiş dişlerin kök yapısına zarar vermeden standart bir ölçüm yapılsa da gerçek kök kanal uzunluğunu bilimsel olarak yansıtmamaktadır. Çünkü apikal daralım lokalizasyonu diştten dişe değişebilen, düzensiz bir yapıdır (Herrera ve ark., 2007). Yapılan birçok çalışmada apikal daralımın anatomik apeksten ortalama 0,5 mm kısa olduğu belirtilse de (Kuttler, 1955; ElAyouti ve ark., 2002; Lucena-Martin ve ark., 2004), bu noktanın anatomik apeksten 2 mm'ye kadar uzakta konumlanabileceği de gösterilmiştir (Morfis ve ark., 1994).

1.4.2. Apikal Bölümün Aşındırılmasını Takiben Mikroskop Altında Yapılan Ölçüm

Bu teknikte çalışma boyu ölçümü herhangi bir yöntem ile yapıldıktan sonra kanal aleti kanal içine sabitlenir. Kökün apikal bölümü, apikal daralımla kanal aletinin ilişkisinin gözlenebileceği bir taraftan dışın uzun aksına paralel olarak aşındırılır. Mikroskop büyütmesi altında apikal daralım ile eğe ucu arasındaki mesafe incelenir. İncelemeler için steromikroskop, taramalı elektron mikroskobu, ışık mikroskobu, dental operasyon mikroskobu gibi çeşitli mikroskoplar kullanılabılır (Plotino ve ark., 2006; Vasconcelos ve ark., 2014; Wrbas ve ark., 2007). Eğe ucu ile apikal daralım ilişkisinin doğrudan gözlenebildiği bir yöntem olduğu için güvenilirliği yüksektir ve bu yüzden pek çok çalışmada da kullanılmıştır (Tselnik ve ark., 2005; Wrbas ve ark., 2007). Fakat aşındırma esnasında apikal daralımın doğal anatomisinin bozulma riski vardır ve zaman alıcı olması gibi dezavantajı bulunmaktadır (Genç Şen, 2007).

1.4.3. Dişlerin Şeffaflaştırılmasını Takiben Mikroskop Altında Yapılan Ölçüm

Bu yöntemde de çalışma boyu ölçümü herhangi bir yöntem ile yapıldıktan sonra kanal aleti kanal içine sabitlenir. Şeffaflaştırma işlemi için dişler ilk olarak %5,25'lik sodyum hipoklorit solüsyonu içerisinde tutulup, organik artıklardan arındırılır. Daha sonra %5'lik nitrik asit solüsyonunda 3 gün bekletilip dekalsifiye edilir. Akan su altında yıkandıktan sonra %80'lik etil alkolde 24 saat ve %90, %100'lük etil alkol solüsyonlarında 1'er saat süreyle bekletilerek dehidrate olmaları sağlanır. Son olarak metil salisilat içerisinde 4 saat bekletildikten sonra şeffaflaştırılma işlemi tamamlanır (Shabahang ve ark., 1996). Dişlere şeffaflaştırma işlemi uygulandıktan sonra mikroskop altında eğe ile apikal daralım ilişkisi incelenerek ölçüm yapılır. Bu yöntem endodontide çok sınırlı sayıda çalışmada kullanılmıştır (Vertucci, 1984; Shabahang ve ark., 1996; Weiger ve ark., 1999). Yöntemin pratik olmayışı ve her zaman yeterli derecede şeffaflık elde edilememesi gibi dezavantajları mevcuttur (Genç Şen, 2007).

1.4.4. Apikal Yapının Ölçüsünün Alınması

Kim ve ark. (2008) radyografik yöntem ve Root ZX apeks bulucu kullanarak belirledikleri çalışma boylarının doğruluğunu, alet ucunun major foramenden taşkın olduğu örneklerde, apikal yapının ölçüsünü alarak belirlemeye çalışmışlardır. Polivinilsiloksan ölçü maddesi kullanarak kök apeksinin major foramenden taşmış olan alet ucuyla birlikte ölçüsünü almış, daha sonra ölçü maddesini dikey olarak ortadan ikiye keserek alet ucu-apikal daralım arası mesafeyi ölçmüşlerdir. Yöntemin sadece foramenden taşılmış olan örneklerde kullanılması dezavantajdır ve hassasiyeti tartışmalıdır (Genç Şen, 2007).

1.4.5. Mikro Bilgisayarlı Tomografi Yöntemi

Mikro-BT görüntülemesi, kök kanal sisteminde üç boyutlu olarak inceleme ve ölçüm yapılmasına olanak tanıyan bir yöntemdir. Bu yöntem ile özellikle apikal üçlüdeki anatomik detayların izlenmesi ve ölçülmesi mümkün olmaktadır. Bu yöntem ile apikal daralımın lokalizasyonu net olarak belirlenebilmektedir (ElAyouti ve ark., 2014). In vitro çalışmalarda gerçek çalışma boyunun belirlenmesinde son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır (Piasecki ve ark., 2016). Diş örneklerinin tahrip edilmeden incelenebilmesi ve güvenilir bir yöntem olması gibi avantajları olsa da yüksek radyasyon dozu, yüksek maliyeti ve kullanımının pratik olmayışı gibi dezavantajları sebebiyle kök kanal boyu tespitinde kullanımı yaygınlaşmamıştır (Genç Şen, 2007).

1.5. Konu ile İlgili Çalışmalar

Kaufman ve ark. (2002), Bingo 1020 ve Root ZX'in doğruluğunu radyografik yöntem ile değerlendirmişlerdir. Test edilen tüm parametrelerde, Bingo 1020 kullanılarak elde edilen ölçümlerin, Root ZX kullanılarak elde edilen ölçümlerden anlamlı olarak daha doğru olduğunu belirtmişlerdir. Farklı solüsyonlarla ölçümler yapıldığında iki apeks bulucu arasında anlamlı bir fark bulunmamış ve kök kanal içeriğinin ölçümlerin

doğruluğunu etkilemediği bildirilmiştir. Radyografi ile elde edilen ölçümlerde, gerçek çalışma uzunluğu ve her iki apeks bulucu ile elde edilen uzunluktan daha fazla değer elde edildiğini belirtmişlerdir.

Plotino ve ark. (2006), yaptıkları çalışmada Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator ve Propex'in doğruluğunu ex vivo olarak karşılaştırmışlardır. Çalışmada gerçek çalışma uzunluğunu stereomikroskop altında belirlemişlerdir. Üç elektronik apeks bulucu ile elde edilen ölçümler ile gerçek çalışma uzunluğu arasındaki farklar karşılaştırıldığında, gerçek çalışma uzunluğuna $\pm 0,5$ mm dahilindeki ölçümlerin yüzdesi Root ZX için %97,37, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator için %94,28 ve Propex için %100 olarak bildirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, kullanılan apeks bulucuların vakaların çoğunda apikal daralmadan $\pm 0,5$ mm içinde kanal uzunluğunu belirlediğini doğrulamaktadır. Propex ile elde edilen ölçümlerin çoğunun apikal daralmanın ilerisinde olduğu gözlenmiştir.

Ebrahim ve ark. (2006), elektronik ölçümler sırasında kök kanalında sodyum hipoklorit solüsyonu veya kan varlığında eğe boyutunun Root ZX apeks bulucunun doğruluğu üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Eğe boyutu, hazırlık aşaması ve irrigasyon türünün ölçüm doğruluğu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

D'Assunção ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada Root ZX II ve Mini Apex Locator'ın doğruluğunu araştırmışlar ve iki apeks bulucunun doğrulukları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığını, iki cihazın da ölçümde güvenilir olduğunu bildirmişlerdir.

Camargo ve ark. (2009), koronal ön genişletmenin dört farklı elektronik apeks bulucunun (Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator, Mini Apex Locator ve Apex DSP) ön genişletme yapılmasının apeks bulucularda doğruluğu arttırdığını bildirmişlerdir.

Üstün ve ark. (2016), geniş periapikal lezyon ve intrakanal eksüda bulunan dişlerde kök kanal tedavisi öncesi çekilen konik ışınli bilgisayarlı tomografi ile kanal uzunluklarını ölçmüşler ve iki adet elektronik apeks bulucu kullanarak belirlenen elektronik çalışma uzunlukları ile karşılaştırmışlardır. Kullanılan yöntemler ile elde edilen ölçümler arasında anlamlı farklılık olmadığını bildirmişlerdir.

Aguiar ve ark. (2017), Root ZX, Root ZX II ve Root ZX Mini elektronik apeks bulucuların hassasiyetini değerlendirmişler ve cihazlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını bildirmişlerdir. Kullanılan üç cihazın da çalışma boyu belirlemede güvenilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Saatchi ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada Root ZX ile kök kanal eğriliği arasındaki ilişkiyi değerlendirmişlerdir. Root ZX'in doğruluğunu $\pm 0,5$ mm'de % 94,6 olarak tespit etmişlerdir. Elektronik çalışma uzunluğu ve gerçek çalışma uzunluğu arasındaki fark ile kanal kurvatürü arasında korelasyon gözlemlememişlerdir.

Connert ve ark. (2018), apikal daralmanın yerini belirlemede elektronik apeks bulucuların doğruluğunu mikro-BT kullanarak araştırmışlardır. Çalışmada, $\pm 0,5$ mm-1 mm tolerans dahilinde dokuz farklı elektronik apeks bulucu kullanmışlar ve apikal daralım bölgesinin belirlenmesinde anlamlı bir fark tespit etmemişlerdir. Ancak apikal daralıma $\pm 0,1-0,25$ mm toleransında anlamlı farklılık olduğu belirtilmiş ve en yüksek doğruluk %98 oranında Dentaport ZX'te gözlenmiştir.

Çınar ve Üstün (2020), farklı ortamlarda (kan, NaOCl varlığı) çalışma uzunluğunu belirlemede Propex Pixi, Root ZX Mini, Raypex 5'in doğruluğunu mikro-BT kullanarak karşılaştırmışlardır. Tüm elektronik apeks bulucular apikal daralıma uzaklık açısından güvenilir sonuçlar vermiştir. Kök kanalında kan ve %2,5 NaOCl solüsyonu varlığı çalışma boyu ölçümlerini etkilememiştir.

1.6. Çalışmanın Amacı

Kök kanal tedavisinde çalışma uzunluğu belirlemek için kullanılan ve son yıllarda en güncel yöntem olan elektronik apeks bulucuların doğrulukları birçok çalışmada değişik yöntemlerle incelenmektedir. Elektronik apeks bulucuların her geçen yıl geliştirilmesi ile yeni araştırmalar ve karşılaştırılmalı analizler yapılmaktadır. Biz de bu çalışmamızda, üç farklı elektronik apeks bulucuların doğruluklarını gerçek çalışma uzunluğu ile karşılaştırmayı ve mikro bilgisayarlı tomografi yöntemi kullanarak apikal daralım bölgesine olan yaklaşımlarını değerlendirmeyi amaçladık.



2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Çalışma için Dişlerin Seçimi ve Hazırlanması

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Etik Kurulu'nun 29.07.2020 tarihli 09/04 sayılı onayı ile yapıldı. Periodontal nedenlerle çekilmiş 40 adet maksiller santral diş çalışmada kullanmak amacıyla toplandı. Çekilen dişler 24 saat %5'lik sodyum hipoklorit (Werax, İzmir, Türkiye) solüsyonunda bekletildikten sonra kök yüzeylerindeki sert ve yumuşak doku artıkları periodontal küret (Hu-Friedy Gracey #12-14, USA) yardımıyla uzaklaştırıldı. Dişler, deney aşamasına kadar %0,9'luk serum fizyolojik içerisinde saklandı. Standardizasyonu sağlamak için düz ve tek köklü, çürük ve restorasyon bulunmayan, kök gelişimi tamamlanmış dişler çalışmaya dahil edildi. Dişler x12 büyütme altında steromikroskop (M3Z; Leica Microsystem Wetzlar, Germany) ile incelenerek kök yüzeyi ve kök ucunda kırık, çatlak olan dişler çalışma dışı bırakıldı. Daha sonra internal rezorpsiyon ve kalsifikasyon bulunan dişleri elimine etmek amacıyla periapikal radyografiler alındı. İncelemelerden sonra toplam 33 adet maksiller santral diş çalışmada kullanılmak üzere seçildi. Kök boyu apekten 15 mm olacak şekilde dijital kumpas kullanılarak ölçüldü ve işaretlendi. Kök uzunluğunun standardizasyonunu sağlamak ve düz bir referans hattı elde etmek amacıyla dişlerin kuronları bu işaretlenen noktadan su soğutması altında hassas kesim cihazı (Micracut, Metkon; Bursa, Türkiye) kullanılarak uzaklaştırıldı (Şekil 2.1). Kanal içerikleri timerf yardımı ile uzaklaştırıldı. Kanalların koronal bölümünde ProTaper Universal SX nikel titanyum döner eğesi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) kullanılarak ön genişletme yapıldı ve kanallar serum fizyolojik ile yıkandı. #10 numaralı K tipi eğeler (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) ile kanal açıklığı kontrol edildi.



Şekil 2.1. Dişlerin Micracut ile kuron bölümlerinin uzaklaştırılması

Çalışmamızda gerçek ve elektronik çalışma uzunluğu tespit yöntemleri ile ilgili ölçümler 33 adet diş üzerinde gerçekleştirildi ve gruplandırma Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi oluşturuldu. Her bir grup için ölçümler tamamlandıktan sonra diğer grubun ölçümleri yapıldı.

Çizelge 2.1. Çalışmamızda yapılan gerçek ve elektronik çalışma uzunluğuna ait gruplar

GRUPLAR	ÖLÇÜM
GKKÇU	GERÇEK KÖK KANAL ÇALIŞMA UZUNLUĞU
APEX ID	APEX ID İLE YAPILAN ELEKTRONİK ÇALIŞMA UZUNLUĞU
PROPEX PIXI	PROPEX PIXI İLE YAPILAN ELEKTRONİK ÇALIŞMA UZUNLUĞU
ROOT ZX MINI	ROOT ZX MINI İLE YAPILAN ELEKTRONİK ÇALIŞMA UZUNLUĞU

2.2. Çalışma Boyu Ölçümleri

2.2.1. Gerçek Kök Kanal Çalışma Uzunluğunun (GKKÇU) Ölçülmesi

Yapılan kontroller sonucu elde edilen 33 adet dişin kök kanalına endodontik mikroskop (Leica Biosystems, Wetzlar, Germany) altında x10 büyütmede #15 nolu K tipi eğe (Dentsply Maillefer) yerleştirilerek major foramenden görülmeye kadar ilerletildi. Daha sonra eğe, önceden düzleştirilen kökün koronalindeki referans hattına akıcı kompozit (Filtek Supreme XT, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) ile sabitlendi. Sabitlenme işlemi ölçüm yapılabilmesi için eğenin bir yüzeyinden yapıldı. Eğenin sap kısmı ile referans hattı arasındaki mesafe $\pm 0,01$ mm hassasiyet gösteren dijital kumpas ile ölçüldü (Şekil 2.2). Her bir diş için ölçümler 3 kez tekrarlandı ve bu ölçümlerin ortalaması alınarak kaydedildi. Eğer ölçümler arasındaki fark 0,05 mm'den fazla ise ölçüm tekrar gerçekleştirildi. Elde edilen bu ortalama değer eğenin tüm uzunluğundan çıkarılarak Gerçek Kök Kanal Uzunluğu elde edildi. Gerçek Kök Kanal Uzunluğundan 0,5 mm çıkartıldı ve her bir diş için elde edilen sonuç Gerçek Kök Kanal Çalışma Uzunluğu olarak kaydedildi.



Şekil 2.2. Eğenin sap kısmı ile referans hattı arasındaki mesafenin $\pm 0,01$ mm hassasiyet gösteren dijital kumpas ile ölçülmesi

2.2.2. Elektronik Olarak Kök Kanal Çalışma Uzunluğunun Belirlenmesi

Elektronik ölçümler 3 farklı apeks bulucu ile gerçekleştirildi. Çalışmamızda elektronik apeks bulucu olarak Apex ID (SybronEndo, Glendora, CA), Propex Pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), Root ZX mini (J Morita, Tokyo, Japan) kullanıldı (Şekil 2.3). Kökler in vitro ortamda periodontal ligamentin elektriksel iletkenliğini taklit etmek amacıyla aljinat modele gömüldü. Aljinat modelin içine kullanılacak elektronik apeks bulucunun dudak klipsi yerleştirildi. Elektronik ölçümleri gerçekleştirmek amacıyla cihazın iki elektrotlu kablosunda bulunan tutucu uca #15 nolu K tipi ege (Dentsply Maillefer) tutturuldu. Diğer elektrota aljinat içindeki dudak klipsi bağlandı (Şekil 2.4.). Düzenek tamamlandıktan sonra kök kanallarına 1 ml %5'lik sodyum hipoklorit (Werax; İzmir, Türkiye) enjekte edildi. Cihazlar deneyler sırasında her zaman tam olarak şarj edildi ve aletler üretici firma talimatlarına göre kullanıldı. Üretici firmaların belirttiği kullanım talimatında Apex ID, Propex Pixi ve Root ZX mini elektronik apeks bulucuların ekranında '0,0' çizgisinin minör forameni gösterdiği belirtilmiştir. Her bir apeks bulucu için '0,0' noktasında ege akışkan kompozit (Filtek Supreme) ile dişe sabitlendi. Egenin sap kısmı ile kökün referans hattı arasındaki mesafe $\pm 0,01$ mm hassasiyet gösteren bir kumpas yardımı ile ölçüldü. Her diş için ölçümler 3'er defa tekrarlandı ve ortalaması alınarak kaydedildi. Eğer ölçümler arasındaki fark 0,05 mm'den yüksekse ölçüm tekrar gerçekleştirildi. 33 adet diş için ayrı ayrı hesaplanan ortalama değer egenin tüm uzunluğundan çıkarılarak Elektronik Çalışma Uzunluğu olarak kaydedildi. Bu işlemler her bir elektronik apeks bulucu için tekrarlandı. Tüm ölçümler aljinat modelin nemini kaybetmemesi için 2 saatlik süre içerisinde yapıldı.



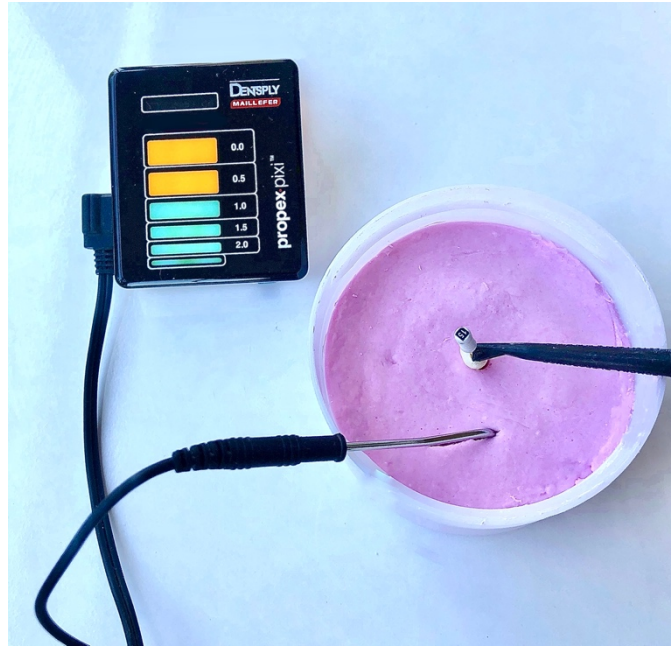
Apex ID

Propex Pixi



Root ZX Mini

Şekil 2.3. Çalışmamızda kullanılan elektronik apeks bulucular (Apex ID [SybronEndo, Glendora, CA], Propex Pixi [Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland], Root ZX mini [J Morita, Tokyo, Japan])



Şekil 2.4. Elektronik çalışma uzunluğu belirlemek için hazırlanan deney düzeneği

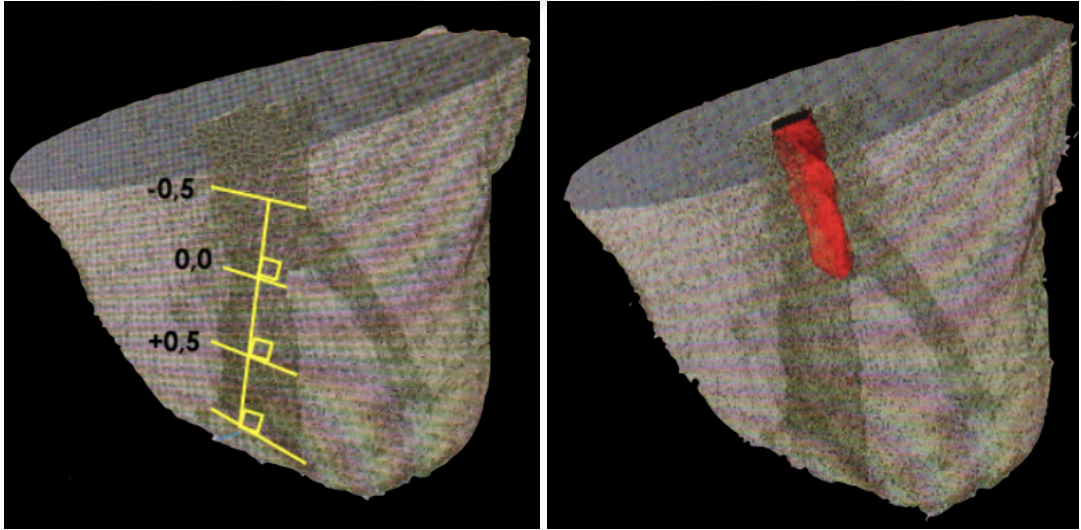
2.3. Örneklerin Mikro-BT'de Taranması

Çalışmamızda her bir örnek numaralandırılarak falkon tüpleri içerisine yerleştirildi. Elektronik ölçümleri gerçekleştirmeden önce tüm örnekler örnek numarasına dikkat ederek mikro-BT cihazı (Bruker Micro-CT SkyScan 1173, Kontich, Belgium) (Şekil 2.5.) ile tarandı. Daha sonra her bir elektronik apeks bulucu için kanala yerleştirilen kanal eğesi '0,0' noktasında sabitlenerek tüm örnekler Mikro-BT'de tekrar tarandı. Falkon tüpleri içerisinde bulunan örnekler yüksek çözünürlükte taranmak üzere mikro-BT cihazının döner platformu üzerine konularak sabitlendi. Cihazın X ışını kaynağı 8 W, 80 kV ve 125 μ A olacak şekilde ayarlandı. Örnekler 1,0 mm Al filtresiyle, 0,20 rotasyonla ışınladı. Her bir örnek 0,3 dereceden 360 dereceye taranmış olup tarama süresi 17 dakikadır. Her görüntü 20 milisaniye pozlanarak her açıdan 3 kez görüntü alınıp birleştirilerek tek görüntü haline getirildi ve böylece gürültü (noise) oranı azaltıldı. Cihazın diğer ayar ve parametreleri üretici firmanın önerisi doğrultusunda yapıldı. Taramalar sonucunda her bir örneğin piksel boyutu 25 μ m olacak şekilde ham görüntüleri elde edildi.

Örneklerin rekonstrüksiyonu için NRecon (ver.1.6.5.2, SkyScan, Kontich, Belgium) yazılımı kullanıldı. NRecon yazılımı mikro-BT taramaları ile elde edilen ham görüntüleri birleştirerek her örneğin iç yapısının incelenmesine olanak sağlayan görseller oluşturan programdır. Çalışmamızda nicelik ölçümlerinin ve görüntülerin yapılandırmasında daha önceden Feldkamp ve ark. (1989) tanımladığı algoritma kullanıldı. Rekonstrüksiyon için halka artifaktı 8, düzeltme parametresi 3, sertleştirme düzeltmesi (beam hardening) %40 olacak şekilde belirlendi. Kontrast ayarları SkyScan firmasının talimatlarına göre ayarlandı. Bir örnekten 2 boyutlu 1024 kesit elde edildi. Daha sonra ham görüntüler NRecon programı ile birleştirilerek her örneğin iç yapısının incelenmesine olanak sağlayacak şekilde BMP formatında kesitler elde edildi. Bu kesitler; mikro-BT cihazıyla yapılan taramalardan elde edilen verileri kantitatif parametreler ve görsel modeller oluşturmakta kullanılan, densitometrik ve morfolometrik ölçümlere olanak sağlayan CTAn (ver. 1.16.4.1.SkyScan) programına aktarıldı. CTAn yazılımı ile örneklerin eğeli ve boş hali modellenerek örnekler üst üste bindirildi. Görüntülenmeleri Slicer (ver. 4.11) ile yapıldı (Şekil 2.6).



Şekil 2.5. Çalışmada kullanılan mikro-BT cihazı



Şekil 2.6. Bir örneğe ait eğe yerleştirilmeden önce ve sonraki mikro-BT taramasının aynı kesitteki görüntüsü

İstatistiksel analiz

Bu çalışmada tüm analizler SPSS 22.0 (SPSS Inc, Armonk, NY, ABD) paket programı kullanılarak yapıldı.

Elde edilen verilerin istatistiksel analizinde varyans ANOVA ve Bonferroni post hoc testleri kullanıldı.

Sonuçlar yorumlanırken anlamlılık düzeyi olarak 0,05 kullanılmış olup; $p \leq 0,05$ olması durumunda anlamlı bir farklılığın olduğu, $p > 0,05$ olması durumunda ise anlamlı bir farklılığın olmadığı belirtildi.

3. BULGULAR

Farklı elektronik apeks bulucuların doğruluklarını gerçek çalışma uzunluğu ile karşılaştırmayı, mikro bilgisayarlı tomografi yöntemi kullanarak apikal daralım bölgesine olan yaklaşımlarını değerlendirdiğimiz çalışmamızın bulguları Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te görülmektedir.

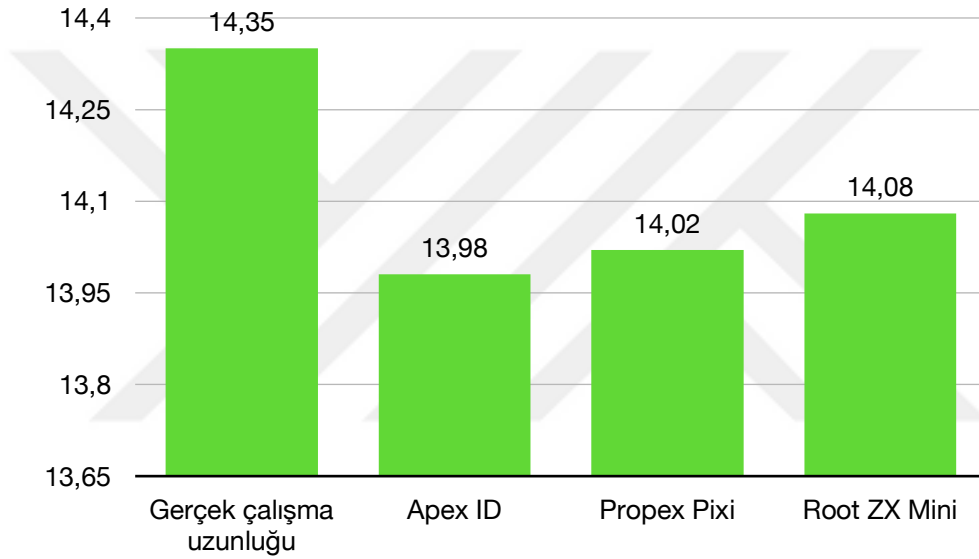
Çizelge 3.1'de 33 diş için elde edilen gerçek kök kanal çalışma uzunluğu, Apex ID, Propex Pixi ve Root ZX Mini için elde edilen ortalama uzunluk ölçümleri, standart sapmaları ve ölçümlerin minimum ile maksimum değerleri verilmiştir.

Yapılan ölçümlerde ortalama Gerçek Kök Kanal Çalışma Uzunluğu kanal aletinin major foramene ilerletilerek elde edilen değerden (Gerçek Kök Kanal Uzunluğu) 0,5 mm çıkartılarak hesaplanmış ve 33 dişe ait ortalama değer 14,35 mm olarak belirlenmiştir. Elektronik apeks bulucular ile 0.0 noktasında yapılan ölçümlerde elektronik çalışma uzunluğu Apex ID için ortalama 13,98 mm, Propex Pixi için ortalama 14,02 mm, Root ZX mini için ortalama 14,08 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1.). Elektronik çalışma uzunluğu ve Gerçek Çalışma Uzunluğu arasındaki fark sırasıyla Apex ID, Propex Pixi ve Root ZX Mini için 0,37 mm, 0,33 mm ve 0,27 mm'dir. Gerçek kök kanal çalışma boyu ile elektronik apeks bulucular tarafından belirlenen çalışma boyları değerleri arasında rakamsal olarak fark olmasına karşın istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$).

Çizelge 3.1. Gerçek kök kanal çalışma uzunluğu ve elektronik apeks bulucular ile elde edilen ölçümlerin ortalamaları, standart sapmaları ve minimum maksimum değerleri

GRUP	n	Mean (mm)	Standart Sapma	Minimum (mm)	Maksimum (mm)	p
Gerçek Çalışma Uzunluğu	33	14,35	±0,05	14,20	14,62	0,632*
Apex ID	33	13,98	± 0,18	12,35	14,72	
Propex Pixi	33	14,02	± 0,23	13,44	14,66	
Root ZX Mini	33	14,08	± 0,20	13,26	14,37	

*p>0,05



Şekil 3.1. Gerçek kök kanal çalışma uzunluğu ve elektronik apeks bulucular ile elde edilen ölçümlerin ortalamaları

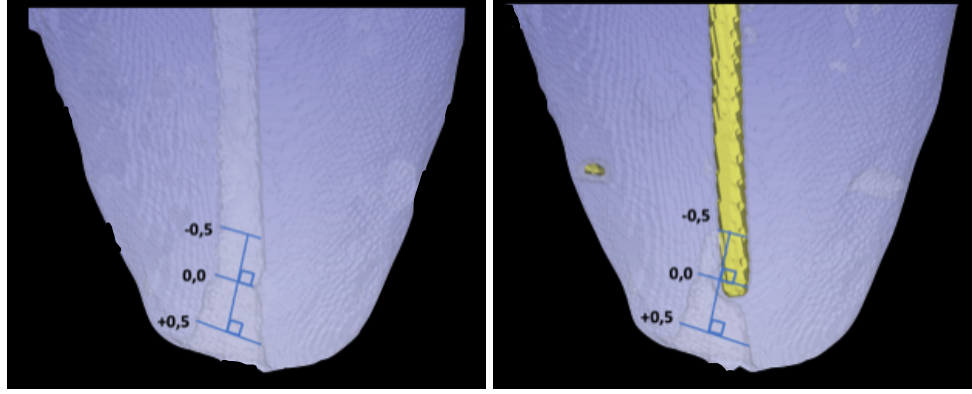
Çizelge 3.2’de elektronik apeks buluculara ait ölçümlerin Mikro-BT incelemesinde apikal daralıma uzaklıkların $\pm 0,5$ mm ve $\pm 1,0$ mm aralığındaki örnek sayıları ve oranları görülmektedir. Apex ID ile yapılan ölçümlerde 3 örnek $-1,0/-0,5$ mm aralığında (%9,09), 19 örnek $-0,5/0,0$ mm aralığında (%57,57), 10 örnek $+0,5/0,0$ mm aralığında (%30,30) (Şekil 3.2), 1 örnek $+0,5/+1,0$ mm aralığında (%3,03) yer almıştır. Apex ID ile 33 örnekten 29’u apikal daralıma $\pm 0,5$ mm aralığında tespit edilmiş olup bu oran %87,87 olarak bulunmuştur. Hiçbir örnekte $\pm 1,0$ sınırları dışında ölçüm alınmamıştır.

Çizelge 3.2. Mikro-BT incelemesi ile elektronik apeks buluculara ait ölçümlerin apikal daralıma $\pm 0,5$ mm ve $\pm 1,0$ mm aralığındaki örnek sayıları ve oranları

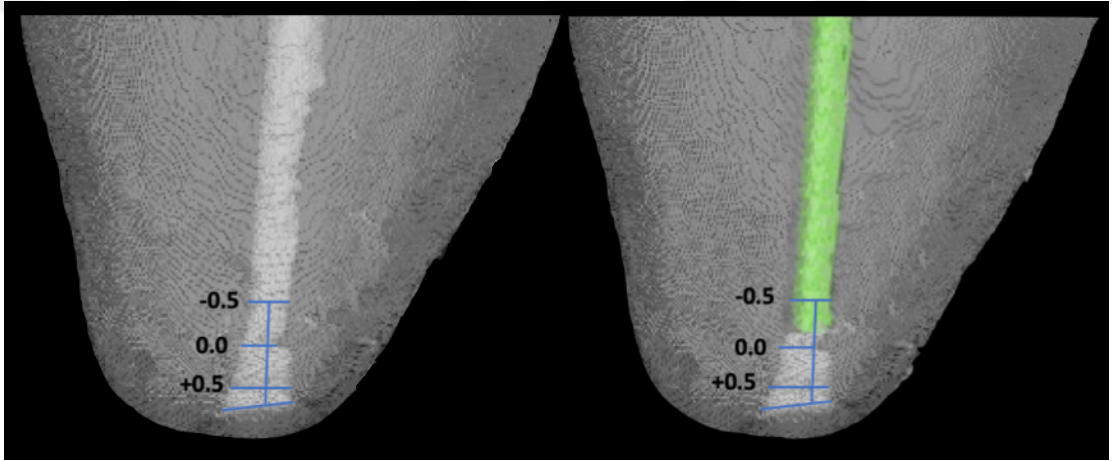
	n	Apikal daralımdan -1,0 mm ila -0,5 mm uzaklıkta	Apikal daralımdan -0,5 mm 0,0 mm uzaklıkta	Apikal daralım 0,0 noktası	Apikal daralımdan +0,5 mm ila 0,0 mm uzaklıkta	Apikal daralımdan +0,5 mm ila +1,0 mm uzaklıkta
Apex ID	33	3 (%9,09)	19 (%57,57)	0	10 (%30,30)	1 (%3,03)
Propex Pixi	33	2 (%6,06)	20 (%60,60)	0	10 (%30,30)	1 (%3,03)
Root ZX Mini	33	2 (%6,06)	22 (%66,66)	1 (%3,03)	8 (%24,24)	0

Propex Pixi ile yapılan ölçümlerde 2 örnek -1,0/-0,5 mm aralığında (%6,06), 20 örnek -0,5/0,0 mm aralığında (%60,60), 10 örnek +0,5/0,0 mm aralığında (%30,30), 1 örnek +0,5/+1,0 mm aralığında (%3,03) yer almıştır. Propex Pixi ile 33 örnekten 30'u apikal daralıma $\pm 0,5$ mm aralığında tespit edilmiş olup bu oran %90,90 olarak bulunmuştur. Hiçbir örnekte $\pm 1,0$ mm sınırları dışında ölçüm alınmamıştır.

Root ZX Mini ile yapılan ölçümlerde 2 örnek -1,0/-0,5 mm aralığında (%6,06), 22 örnek -0,5/0,0 mm aralığında (%66,66) (Şekil 3.3), 1 örnek 0,0 noktasında (%3,03), 8 örnek +0,5/0,0 mm aralığında (%24,24) yer almıştır. Root ZX Mini ile 33 örnekten 31'i apikal daralıma $\pm 0,5$ mm aralığında tespit edilmiş olup bu oran %93,94 olarak bulunmuştur. Hiçbir örnekte $\pm 1,0$ sınırları dışında ölçüm alınmamıştır. Çalışmamızın bulgularına göre $\pm 0,5$ mm aralığında en yüksek oran Root ZX Mini'de elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Apex ID'ye ait bir örnekte eğe yerleştirilmemiş ve yerleştirilmiş mikro-BT görüntüsünde eğenin apikal daralımı +0,5/0,0 mm aralığında geçtiği gözlenmektedir



Şekil 3.3. Root ZX Mini'ye ait bir örnekte eğe yerleştirilmemiş ve yerleştirilmiş mikro-BT görüntüsünde eğenin apikal daralımı -0,5/0,0 mm aralığında yaklaştığı gözlenmektedir

Mikro-BT incelemesi sonucu elde edilen verilerin istatistiksel analizi Çizelge 3.3’de verilmiştir. Elektronik apeks buluculara ait oranlar istatistiksel olarak karşılaştırıldığında apeks bulucular arasında $\pm 0,5$ mm ve $\pm 1,0$ mm aralıklarında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p > 0,05$). Ancak verilerden de görüldüğü üzere en hassas ölçüm Root ZX Mini’de ($\pm 0,5$ mm aralığında %93,94) elde edilmiştir

Çizelge 3.3. Elektronik apeks bulucuların tolerans aralıklarındaki yüzdelerinin karşılaştırılması

Apeks bulucular	n	Kesin (-0,5, +0,5)	<i>p</i> değeri*	Kabul edilebilir (-1,0 mm ila -0,5 mm, +0,5 mm ila +1,0 mm)	<i>p</i> değeri*
Apex ID	33	%87,87	.622	%12,12	.387
Propex Pixi	33	%90,90		%9,09	

Apeks bulucular	n	Kesin (-0,5, +0,5)	<i>p</i> değeri*	Kabul edilebilir (-1,0 mm ila -0,5 mm, +0,5 mm ila +1,0 mm)	<i>p</i> değeri*
Apex ID	33	%87,87	.331	%12,12	.162
Root ZX Mini	33	%93,94		%6,06	

Apeks bulucular	n	Kesin (-0,5, +0,5)	<i>p</i> değeri*	Kabul edilebilir (-1,0 mm ila -0,5 mm, +0,5 mm ila +1,0 mm)	<i>p</i> değeri*
Propex Pixi	33	%90,90	.546	%9,09	.413
Root ZX Mini	33	%93,94		%6,06	

*İstatistiksel farklılık için $p < 0,05$ (ANOVA, Bonferroni post hoc testi) alınmıştır

4. TARTIŞMA

Kök kanal tedavisinin her basamağı gibi çalışma boyunun belirlenmesi de tedavi başarısında önemli rol oynamaktadır. Hatalı olarak belirlenen bir çalışma uzunluğu, hatalı şekillendirme ve yetersiz kök kanal dolgusuna yol açacağından, büyük olasılıkla endodontik tedavinin başarısını olumsuz yönde etkileyecektir (Sjögren ve ark., 1990).

Kök kanal tedavisinin apikal sınırı, endodontinin halen tartışma konularından biridir. Bu konudaki en yaygın düşünce kök kanal tedavisinin sonlandırılması gereken ideal noktanın, kanalın en dar kısmı olan apikal daralım noktası olduğudur (Heo ve ark., 2008; De Camargo ve ark., 2009). Endodontik tedavi görmüş dişlerle ilgili yapılan histolojik çalışmalarda, enstrümantasyon ve obturasyonun apikal daralma ile sınırlı olduğu vakalarda iyileşmenin daha üstün olduğu gösterilmiştir (Dunlap ve ark., 1998). Çalışma uzunluğunun doğru olarak tespit edilememesi sonucunda kök kanal tedavisi taşkın veya yetersiz yapılır. Yetersiz şekillendirme ve irrigasyon, kök kanalında şekillendirilmemiş ve temizlenmemiş alanların kalmasına neden olmakta böylece kanal içindeki mikroorganizmalar ile artık debrislerin uzaklaştırılması güçleşmektedir. Taşkın şekillendirme yapılması ise apikal daralımı bozarak enfekte pulpa dokusunun ve dentin artıklarının periapikal bölgeye taşmasına yol açmaktadır. Bu da kalıcı bir inflamatuara neden olarak postoperatif ağrıyı ve yabancı vücut reaksiyonunu tetiklemektedir (Seltzer ve ark., 2004; Ng ve ark., 2011; Ricucci ve ark., 2011).

Klinik olarak çalışma boyu tespiti için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar; parmak hassasiyeti, kâğıt konların nemliliğinin değerlendirilmesi, konik ışınli bilgisayarlı tomografi, radyografik yöntem ve elektronik apeks buluculardır. Radyografik yöntemle apikal daralım noktası belirleneceği zaman genellikle radyografik apekten 0,5 mm kısa olacak şekilde çalışma uzunluğu belirlenmektedir. Ancak belirlenen bu nokta tahmini hesaplanmış olup apikal daralımın çok ötesinde olup taşkın preparasyona ya da gerisinde olup yetersiz preparasyona neden olabilmektedir (Dummer ve ark., 1984). Çalışma uzunluğunun radyografik olarak

belirlenmesinin diğ er dezavantajları, belirlenen uzunluğ un; diş eğimi, film pozisyonu, kon uzunluğ u, konun dikey ve yatay açılanmaları ve filmin okutulması sorunları gibi bir dizi baş a faktörden de etkilenebilmesidir. Ayrıca, radyografik yöntemde hastalar fazladan röntgen ışınına maruz kalmaktadırlar (Goldman ve ark., 1972). Radyografiler bilindiğı üzere iki boyutlu görüntü sunmaktadır (St ber ve ark., 2011). Nazal fossa, zigomatik ark ve maksiller sinüs gibi anatomik bölgeler radyografilerde çalışma uzunluğ unu belirlerken superpoze olup görüntüyü olumsuz yönde etkileyebilmektedir (ElAyouti ve ark., 2001).

Klinik ve laboratuvar çalışmalar, elektronik apeks bulucular ile belirlenen çalışma uzunluğ unun, geleneksel radyografi yöntemlerinden daha doğ ru ve güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiştir (ElAyouti ve ark., 2009; Piasecki ve ark., 2016). Ayrıca,  alışma uzunluğ unun elektronik olarak belirlenmesi daha hızlı ve pratik olup, hasta-hekim için radyasyon gerektirmez. Endodontik işlem sırasında veya sonrasında tekrar edilebilirliğı ise diğ er bir avantajıdır (Vasconcelos ve ark., 2016). Kim ve ark. (2008) en doğ ru çalışma uzunluğ u ölçümünün, elektronik ve radyografik yöntemlerin kombine kullanılarak elde edilebileceğini bildirmiştir. Radyografik yöntemler, kanal eğriliğı ve bulunamayan kanalların varlığı gibi tanı bilgilerini sağladığından elektronik apeks bulucular ile birlikte kullanımı doğ ru ölçümler yapmayı ve tanı koymayı kolaylaştırmaktadır (Ingle ve ark., 2008).

Elektronik apeks bulucuların avantajlarının yanında pulpanın vitalitesi, kanal içi iletken varlığı, rezorpsiyon varlığı, foramen apikalenin genişliğı, koronal genişletme gibi birçok faktörün elektronik apeks bulucuların hassasiyetine etkisi vardır. Çalışmamızda ölçümlerden önce, kullandığımız son jenerasyon elektronik apeks bulucuların doğ ruluklarını olumlu yönde etkileyecek koşulları oluştırmaya çalıştık.

Endodontik tedavi sırasında kök kanalının  n şekillendirilmesi servikal dentini uzaklaştırmak için önemlidir. Böylece eēe apikal daralıma kolayca erişebilmektedir. Koronal genişletmenin elektrikli apeks bulucuların etkinliğı üzerine yapılan çalışmalarda  n genişletmeden sonra yapılan ölçümlerin daha yüksek doğ ruluk g sterdiğı belirtilmiştir (Ibarrola ve ark., 1999; Camargo ve ark., 2009). Biz de

çalışmamızda elektronik ölçüm yapmadan önce kök kanallarına ön genişletme işlemi uyguladık.

Kanal içindeki sıvının elektronik apeks bulucuların doğruluğuna etkisi birçok çalışmada sorgulanmış ve bazı araştırmacılar farklı solüsyonların elektronik apeks bulucuların doğruluğunu etkilediğini desteklerken (Chen ve ark., 2011), bazıları ise sonuçları etkilemediğini belirtmiştir (Tchorz ve ark., 2013). Venturi ve Breschi (2007) kanal içinde yıkama solüsyonu varlığı ve yokluğunda elektronik apeks bulucuların doğruluğunu inceledikleri çalışmalarında Root ZX'in kanal içi solüsyon varlığında daha iyi ölçümler yaptığını saptamışlardır. Benzer şekilde Ebrahim ve ark. (2006) da, kök kanallarında NaOCl varlığında Root ZX'in doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Bu sonucu, NaOCl'nin yüksek elektro-iletkenliği ve kök kanal duvarının elektriksel empedansının azalmasına neden olan dentin tübüllerine sızma özelliği ile ilişkilendirmişlerdir. Bu çalışmada da kök kanalında yıkama solüsyonu olarak %5'lik NaOCl kullanılmış ve iletkenlik daha iyi hale getirilerek daha güvenilir ölçümler yapılması amaçlanmıştır.

Elektronik apeks bulucuların güvenilirliklerinin farklı sodyum hipoklorit konsantrasyonlarından anlamlı olarak etkilenmediği gözlenmiştir (Meares ve Steiman, 2002). Tınaz ve ark. (2002a), farklı NaOCl konsantrasyonlarının elektronik apeks bulucuların ölçümüne olan etkisini incelemek için yaptıkları çalışmada da; dört farklı NaOCl konsantrasyonu kullanmışlar ve hiçbir grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptamamışlardır.

Elektronik apeks bulucuların çevre dokuların biyolojik özelliklerinden ziyade elektriksel prensiplere göre çalıştığı bilinmektedir (Huang, 1987). Bu nedenle çekilmiş dişlerin periodonsiyumun elektriksel direncine benzer maddelerin içerisine yerleştirilmesi ile oluşturulan in vitro modeller elektronik apeks bulucuların fonksiyonları hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır (Aurelio ve ark., 1983; Donnelly, 1993; Czerw ve ark., 1994). Elektronik apeks bulucuların in vitro olarak test edilebilmesi için çeşitli modeller geliştirilmiştir. İlk olarak Aurelio ve ark. (1983), klinik ortamı taklit eden bir model önermişlerdir. Deney düzeneği fosfatla

tamponlanmış serum içinde agar içeren polistiren kültür tüplerinden oluşmuştur. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda aljinat modelin yeterliliği test edilmiş, yüksek elastisitesi ve kullanım kolaylığı ile in vitro çalışmalarda uygun bir materyal olarak kullanılmaya başlanmıştır (Fuss ve ark., 1996; Tinaz ve ark., 2002b). Serum veya jelatin solüsyonlarının kullanıldığı diğer modellerde solüsyonlar kanal içerisine kaçarak erken elektronik okumalara neden olurken, aljinatın diğer maddelere göre daha sert olan kıvamı ve akışkanlığı nedeniyle apikal foramen içine madde kaçıışı önlenerek hatalı ölçümleri de engellediği düşünülmektedir (Czerw ve ark., 1994; Kumar ve ark., 2004). İn vitro olarak çekilmiş dişlerde elektronik apeks bulucuların doğruluğunu karşılaştırdığımız bu çalışmamızda ağız ortamını taklit eden aljinat modelleri kullanılmıştır.

Çalışma boyu belirleme esnasında operatöre bağlı birtakım hatalar meydana gelebilmektedir. Bunlar lastik durdurucunun ayarlanması, eğenin uzunluk ölçümü ve referans noktasının tekrarlanabilirliği ile ilgili olabilmektedir (ElAyouti ve Löst, 2006). Bu olası hataları önlemek için çalışmamızda ölçümler esnasında lastik stopper kullanımı yerine, eğeyi dişin koronalinde oluşturduğumuz düz referans hattına rezin dolgu materyali ile sabitledik. Çalışma boyu değerini ise eğenin sap kısmı ile bu referans hattı arasındaki mesafeyi ölçtükten sonra, elde edilen değeri eğenin tüm uzunluğundan çıkararak gerçekleştirdik. Bu gibi çalışmalarda diğer bir sorun ise özellikle döner eğeler ile enstrümantasyondan sonra eğimli kök kanallarında çalışma uzunluğunun değişmesidir (Kumar ve ark., 2013). Çalışmamızda bu faktörü elimine etmek amacıyla ölçümleri düz ve tek köklü diş grubu olan maksiller santral dişler üzerinde gerçekleştirdik.

Çalışmamızda, önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi, gerçek çalışma boyu uzunluğu için major foramenden 0,5 mm koronal nokta belirlenmiştir (Stöber ve ark., 2011; Duran-Sindreu ve ark., 2012). Çalışma uzunluğu belirlemede ortalama operatör hatasının 0,4 mm ile 1 mm arasında değiştiği bildirilmiştir (ElAyouti ve Löst, 2006). Buna göre, çalışma uzunluğunun belirlenmesi için deneysel kurulumdaki prosedürel hatalar, ölçülecek doğruluk toleransından daha küçük olmalıdır. Bir tür güvenlik önlemi olarak, bazı apeks bulucu üreticileri, çalışma uzunluğunun, '0.0 'gösteren

elektronik apeks bulucu ölçümlerinden 0,5 mm çıkarılarak belirlenmesini önermektedir. Bu prosedür aşırı enstrümantasyonu önleyebilir, ancak kök kanal tedavisinin ideal sonlanma noktası olduğu varsayılan apikal daralmanın doğru bir şekilde belirlenmesine izin vermeyerek kök kanalı içerisinde temizlenemeyen alanlar bırakır ve yetersiz tıkanma sağlayarak başarısızlığa yol açabilir (Connert ve ark., 2018). Bu nedenle çalışmamızda kullanılan elektronik apeks bulucuların standardizasyonunu sağlamak için ölçümleri '0.0 'noktasında gerçekleştirdik.

Yapılan birçok çalışmada, elektronik apeks bulucuların doğruluğunu değerlendirirken $\pm 0,5$ mm mesafe en katı kabul edilebilir aralık olduğu düşünüldüğünden, bu tolerans içinde elde edilen ölçümlerin son derece doğru olduğu savunulmaktadır (Pommer ve ark., 2002; Piasecki ve ark., 2011; Herrera ve ark., 2011; de Vasconcelos ve ark., 2015; Piasecki ve ark., 2016). Bazı çalışmalarda daha geniş aralık olarak foramene $\pm 1,0$ mm uzaklık da doğru kabul edilmiştir (Keller ve ark., 1991). Bunun nedeni apikal konstrüksiyonun major foramenden 1,0 mm'ye kadar uzaklıkta olabileceğini gösteren çalışmaların mevcut olmasıdır (Shabahang ve ark., 1996). $\pm 0,5$ mm tolerans aralığı çalışma uzunluğunun apikal daralıma yakın olmasını sağlayarak endodontik tedavinin apikal foramenin ilerisinde olmasını önlemektedir. Bizim çalışmamızda da ölçümlerde $\pm 0,5$ mm tolerans sınırı uygulanmış olup, elde edilen değerlerden apikal daralıma $\pm 0,5$ mm aralığında bulunanlar kesin, $\pm 0,5$ mm/ ± 1 mm aralığındaki bulunanlar kabul edilebilir olarak belirlenmiştir.

İn vitro çalışmalarda elektronik apeks bulucuların doğruluğunu test eden pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda apikal daralımın yerini belirlemek için farklı yöntemler kullanılmıştır. Bunlar arasında apikal foramenden kanal aletinin çıkışının izlenmesi, apikal bölümün aşındırılarak mikroskop altında incelenmesi, dişlerin şeffaflaştırılarak mikroskop altında incelenmesi ve apikal yapının ölçüsünün alınması yer almaktadır. Fakat bu yöntemlerin çoğunda apikal daralımın yeri dişte tahribat oluşturarak uzunlamasına alınan kesitlerle incelenmektedir (Kuttler, 1955; Dummer ve ark., 1984). Schell ve ark. (2017), bu yöntemin apikal daralımın doğru belirlenmesi için uygun olmadığını göstermiştir.

Mikro-BT, invaziv olmayan, diş başına yüzlerce kesiti değerlendirme olanağı sunarak dişlerin iç anatomisinin 3 boyutlu analizine imkân sağlayan bir yöntemdir (Versiani ve ark., 2013; Leoni ve ark., 2014; Marceliano-Alves ve ark., 2015). Bu yüksek çözünürlüklü, tahribatsız yöntem aynı zamanda apikal daralımın konumunu da tam olarak tespit edebilmektedir (Piasecki ve ark., 2016; Schell ve ark., 2017; Connert ve ark., 2018). Bu nedenle çalışmamızda elektronik apeks bulucuların doğruluklarını incelemek için mikro-BT analiz yöntemini kullanmayı tercih ettik. Ancak mikro-BT, araştırmayı ex vivo düzeyde sınırlar, çünkü in vivo olarak mikro-BT taraması yapmak mümkün değildir. Ex vivo çalışmaların da birtakım sınırlamaları bulunmaktadır. Örneğin mikro-BT’de karşılaşılan en önemli sorun metalin neden olduğu artefaktlardır (Schulze ve ark., 2011). Çalışmamızda metal artefaktlarından kaynaklanan ölçüm hatalarından kaçınmak için elektronik apeks bulucu ölçümlerinden önce dişler kanal aleti yerleştirilmeden boş olarak tarandı. Mikro-BT ile taranan ilk görüntülerde her bir diş için major foramen ve apikal daralım sınırları belirlendi. Elektronik apeks bulucular ile ölçüm yapıldıktan sonra yapılan taramalarla, ilk elde edilen tarama görüntüleri karşılaştırılarak eğenin apikal daralımı $\pm 0,5$ mm ve $\pm 1,0$ mm mesafelerde olup olmadığı tespit edilerek, oransal veriler elde edildi.

İn vitro olarak gerçekleştirdiğimiz bu çalışmamızda; ilk olarak gerçek çalışma uzunluğu ve üç farklı elektronik apeks bulucular (Apex ID, Propex Pixi, Root ZX mini) ile elde ettiğimiz çalışma uzunlukları karşılaştırıldı. Daha sonra elektronik apeks bulucuların ‘0,0’ noktasında eğenin apikal daralımı olan uzaklıkları mikro-BT ile incelendi. Çalışmamızın sonucunda kullandığımız elektronik apeks bulucular ile elde edilen ortalama çalışma uzunlukları ve ortalama gerçek çalışma uzunluğu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmedi ($p > 0,05$). Elektronik apeks bulucular ile in vitro olarak elde ettiğimiz ölçümlerin gerçek çalışma uzunluğuna oldukça yakın olduğu gözlemlendi. Yapılan mikro-BT incelemesinde ise, elektronik apeks buluculara ait örneklerin çoğunda ölçümlerin $\pm 0,5$ mm tolerans aralığında yer aldığı belirlendi. Ölçümlerin tamamının $\pm 1,0$ mm aralığında olduğu ve hiçbir örnekte bu aralık dışında ölçüm alınmadığı tespit edildi.

Apex ID (SybronEndo, Glendora, CA) yakın zamanda piyasaya sürülmüş ve iki frekanslı (0,5 ve 5,0 kHz) Root ZX'e benzer bir çalışma mekanizmasına sahip altıncı jenerasyon elektronik apeks bulucudur. Üreticilere göre, iki frekanslı bu yöntem ölçümlerde doğruluğu arttırır çünkü her frekans, sinyal filtreleme kullanılmadan ayrı ayrı ölçülür. Çalışmamızda Apex ID ile elde edilen ortalama uzunluk 13,98 mm olup gerçek çalışma uzunluğu (14,35 mm) ile arasındaki fark 0,37 mm'dir. Aradaki bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). Apex ID ile elde edilen uzunlukların Mikro-BT incelemesinde ise örneklerin %87,87'sinin apikal daralıma $\pm 0,5$ mm aralığında, %100'ü ise apikal daralıma $\pm 1,0$ mm aralığında olduğu gözlenmiştir.

Serna-Peña ve ark. (2020) Root ZX mini, Apex ID ve Propex Pixi ile yaptıkları çalışmalarında elektronik ölçümleri in vivo olarak gerçekleştirmiş, daha sonra ilgili dişleri çekerek in vitro olarak gerçek çalışma uzunluğunu belirlemişlerdir. Çalışmada elde edilen elektronik çalışma uzunluğundan gerçek çalışma uzunluğu çıkarılarak elde edilen değerler analiz edilmiştir. Buna göre kullanılan elektronik apeks bulucular ile gerçek çalışma uzunluğu arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$). Çalışmanın yöntemi farklı olsa da bizim sonuçlarımız ile araştırmacıların sonuçları benzerlik göstermektedir. Yologiden ve ark. (2018)'nin Apex ID ve üç farklı elektronik apeks bulucu ile yaptıkları in vitro çalışmalarında, elde ettikleri elektronik ölçümler ile görsel olarak elde ettikleri gerçek çalışma uzunluklarını karşılaştırmışlar ve Apex ID ile doğru ölçümler elde edilebildiğini, örneklerin çoğunun gerçek çalışma uzunluğuna $\pm 0,5$ mm yakınlıkta olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmamızda Apex ID ile elde edilen çalışma uzunlukları $\pm 0,5$ mm aralığında %87,87 olarak bulunmuştur.

Propex Pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) ölçüm esnasında multifrekans yöntemi kullanan beşinci nesil elektronik apeks buluculardandır. Çalışmamızda Propex Pixi ile elde edilen ortalama uzunluk 14,02 mm olup gerçek çalışma uzunluğu (14,35 mm) ile arasındaki fark 0,33 mm'dir. Aradaki bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). Propex Pixi ile elde edilen uzunlukların Mikro-BT incelemesinde, örneklerin %90,90'ı apikal daralıma $\pm 0,5$ mm uzaklığında, %100'ü ise apikal daralıma $\pm 1,0$ mm uzaklıkta olduğu belirlenmiştir. Elde ettiğimiz

bu sonuçlar birçok araştırmacının sonuçları ile paralellik göstermektedir (Bonilla ve ark., 2014; Üstün ve ark., 2016; Çınar ve ark., 2020).

Çınar ve ark. (2020) yaptıkları çalışmalarında Propex Pixi, Root ZX Mini ve Raypex 5 ile çalışma uzunlukları belirledikleri dişleri mikro-BT ile analiz etmişlerdir. Yaptıkları incelemede elektronik ölçümlerin apikal daralima uzaklıklarını hesaplamışlar ve elektronik apeks bulucular arasında apikal daralima mesafeleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadığını belirtmişlerdir ($p>0,05$). Aynı zamanda kanal içinde pulpa dokusu ve %2,5'luk NaOCl varlığının elektronik ölçümleri etkilemediğini gözlemlemişlerdir.

Üstün ve ark. (2016) geniş periapikal lezyona sahip dişlerle yaptıkları in vivo çalışmalarında CBCT ölçümüyle elde ettikleri uzunlukları, Propex Pixi ve Raypex 6 ile elde ettikleri elektronik çalışma uzunluğu ile karşılaştırmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığını belirtmişlerdir ($p>0,05$). Bonilla ve ark. (2014) in vitro olarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında Propex Pixi ve Root ZX II ile elektronik çalışma uzunluğu ölçümü yaptıktan sonra, örneklerin apikal 4 mm'sinde uzunlamasına şekilde aşındırma yaparak x40 büyütme mikroskop altında eğenin apikal daralima uzaklığını ölçmüşlerdir. Propex Pixi ile elde edilen ölçümlerin apikal daralima uzaklığı $0,21\pm0,25$ mm bulunurken, Root ZX II ile $0,08\pm0,22$ mm olarak hesaplanmıştır. Bu değerlendirmeye göre Propex Pixi apikal daralima %88 oranında $\pm0,5$ mm uzaklıkta ve %98 oranında $\pm1,0$ mm uzaklıkta bulunurken, Root ZX II %97 oranında $\pm0,5$ mm ve %99 oranında $\pm1,0$ mm uzaklıkta bulunmuş ve elde edilen ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlenmemiştir ($p>0,05$).

Root ZX (J Morita Corp, Tokyo, Japan) iki frekansın (0,4 ve 8,0 kHz) empedansı arasındaki oranı ölçerek çalışma boyu ölçümü yapmaktadır. Bu cihazın çeşitli koşullar altında etkinlik ve tekrarlanabilirliği gösterilmiş ve minör apikal forameni belirlemede %82 ile %100 arasında doğruluğa sahip olduğu bildirilmiştir (Stoll ve ark., 2010; Swapna ve ark., 2015). Bu yüzden apeks bulucuların doğruluğunun değerlendirildiği çalışmalarda altın standart olarak kabul edilmektedir (Duran-Sindreu ve ark., 2012;

Moscoso ve ark., 2014; Vasconcelos ve ark., 2014; Vasconcelos ve ark., 2016). Root ZX Mini (J Morita, Tokyo, Japan) beşinci nesil bir apeks bulucudur, Root ZX'e benzer işlevsellik ve doğruluk sergileyen bu cihazın kompakt bir sürümüdür (Stoll ve ark., 2010; Koçak ve ark., 2013). İn vivo çalışmalar Root ZX ve Root ZX II'nin etkinliğini göstermiştir (Stöber ve ark., 2011; Duran-Sindreu ve ark., 2013; Soares ve ark., 2013). Fakat Root ZX Mini performansının değerlendirildiği çalışma sayısı yetersizdir. Çalışmamızda Root ZX mini ile elde edilen ortalama uzunluk 14,08 mm olup gerçek çalışma uzunluğu (14,35 mm) ile arasındaki fark 0,27 mm'dir. Aradaki bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). Root ZX mini ile elde edilen uzunlukların Mikro-BT incelemesinde örneklerin %93,94'ü apikal daralıma $\pm 0,5$ mm uzaklığında, %100'ü ise apikal daralıma $\pm 1,0$ mm uzaklıkta belirlenmiştir. Root ZX ile elde edilen bu değerler $\pm 0,5$ mm aralığında çalışmamızda kullandığımız diğer elektronik apeks buluculara göre daha yüksektir. Her iki değerlendirmede de Root ZX Mini'nin daha hassas bir ölçüm sağladığı gözlenmiştir.

Da Silva ve ark. (2014) Root ZX II, Root ZX Mini ve RomiApex A-15 kullanarak in vitro şartlarda yaptıkları çalışmada elektronik olarak elde ettikleri ölçümleri görsel olarak major foramende elde ettikleri gerçek çalışma uzunluğu ile karşılaştırmışlar ve apeks bulucuların gerçek çalışma uzunluğuna $\pm 0,5$ mm uzaklıkta sırasıyla %62,5, 56,2, 50 olarak kaydetmişler ve ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlemlememişlerdir ($p>0,05$). Aguiar ve ark. (2017) Root ZX, Root ZX II ve Root ZX Mini ile yaptıkları in vitro çalışmalarında apeks bulucular ile elde edilen ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlemlememişlerdir. Elektronik ölçümler ve görsel olarak major foramende elde ettikleri gerçek çalışma uzunluklarını karşılaştırdıklarında Root ZX Mini'nin $\pm 0,5$ mm uzaklıkta %68,8, $\pm 1,0$ mm uzaklıkta %100 oranında yer aldığı bildirilmiştir. Bu iki çalışmada (Da Silva ve ark., 2014; Aguiar ve ark., 2017) $\pm 0,5$ mm uzaklıkta yer alan örnek yüzdelerinin çalışmamıza göre daha düşük bulunmasının sebebini gerçek çalışma uzunluğunu belirlemede eğeyi major foramende gördükten sonra 0,5 mm çıkarmamalarına bağlayabiliriz.

Daha sonraki yıllarda Serna-Peña ve ark. (2020) ve Çınar ve ark. (2020)'nin yaptığı çalışmalarda da Root ZX Mini ile elde edilen ölçümler çalışmada kullanılan diğer elektronik apeks buluculara göre apikal daralıma daha yakın sonuçlar verse de aralarında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır. Çalışmamızın sonuçlarına göre Root ZX Mini ile elde ettiğimiz değerler daha başarılı olmasına rağmen diğer elektronik apeks bulucular ile arasında istatistiksel olarak farklılık bulunmamıştır.

Yaptığımız bu in vitro çalışmada üç farklı elektronik apeks bulucuların doğruluklarını gerçek çalışma uzunluğu ile karşılaştırdık ve ayrıca mikro bilgisayarlı tomografi yöntemi kullanarak elektronik apeks bulucuların apikal daralım bölgesine olan yaklaşımlarını değerlendirdik. Sonuç olarak; kullandığımız elektronik apeks bulucuların, bu çalışma sınırları içerisinde, çalışma boyu belirlemede başarılı olduğunu tespit ettik. Aynı zamanda mikro-BT incelemesinde elektronik apeks bulucuların apikal daralıma $\pm 0,5$ mm aralığında kalma oranlarının yüksek olduğunu gözlemledik. Çalışmamızda beşinci ve altıncı nesil yeni geliştirilmiş elektronik apeks bulucuların kullanılması ölçümlerde başarılı sonuçlar elde etmemizi sağlamıştır. Yeni nesil apeks bulucuların kullanılması çalışma boyunun doğru belirlenerek kanal tedavisinin başarısını olumlu yönde etkileyecektir. Farklı elektronik apeks bulucular kullanarak konu ile ilgili daha ileri in vitro ve in vivo çalışmaların yapılabileceğini düşünmekteyiz.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Gerçek çalışma uzunluğu ve üç farklı elektronik apeks bulucunun (Apex ID, Propex Pixi, Root ZX Mini) doğruluklarını in vitro olarak değerlendirdiğimiz çalışmamızda, kullandığımız elektronik apeks bulucular ile elde edilen ölçümlerin gerçek çalışma uzunluğu ile arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$).
2. Mikro-BT incelemesinde Apex ID ile elde edilen ölçümlerin %87,87'si $\pm 0,5$ mm aralığında bulunurken, %100'ü $\pm 1,0$ mm aralığında yer almıştır.
3. Mikro-BT incelemesinde Propex Pixi ile elde edilen ölçümlerin %90,90'ı $\pm 0,5$ mm aralığında bulunurken, %100'ü $\pm 1,0$ mm aralığında yer almıştır.
4. Mikro-BT incelemesinde Root ZX Mini ile elde edilen ölçümlerin %93,94'ü $\pm 0,5$ mm aralığında bulunurken, %100'ü $\pm 1,0$ mm aralığında yer almıştır.
5. Mikro-BT incelemesi sonucu elde edilen veriler incelendiğinde en hassas ölçüm Root ZX Mini'de ($\pm 0,5$ mm aralığında %93,94) elde edilse de elektronik apeks bulucuların apikal daralımı yaklaşımlarına ait oranlar istatistiksel olarak karşılaştırıldığında apeks bulucular arasında $\pm 0,5$ mm ve $\pm 1,0$ mm aralıklarında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$).
6. Kök kanal tedavisinin en önemli aşamalarından biri olan çalışma uzunluğu belirlenmesinin son jenerasyon elektronik apeks bulucular ile yapılması kök kanal tedavisinin başarısını olumlu yönde etkileyecektir. Bu konuda farklı elektronik apeks bulucular ile yapılacak in vitro ve in vivo çalışmalara ihtiyaç vardır.

ÖZET

Farklı Apeks Bulucuların Doğruluğunun Mikro Bilgisayarlı Tomografi Kullanılarak Değerlendirilmesi

Bu çalışmanın amacı; Apex ID (SybronEndo, Glendora, CA), Propex Pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) ve Root ZX mini (J Morita, Tokyo, Japan) elektronik apeks bulucuların doğruluklarının gerçek çalışma uzunluğu ile karşılaştırılması ve mikro bilgisayarlı tomografi yöntemi kullanarak apikal daralım bölgesine olan yaklaşımlarının değerlendirilmesidir. Çalışmamızda 33 adet periodontal nedenle çekilmiş düz ve tek kanallı maksiller santral diş kullanıldı. Gerçek çalışma uzunluğu her bir diş için görsel olarak major foramenden 0,5 mm kısa olacak şekilde belirlendi. Elektronik apeks bulucular ile '0,0' noktasında ölçümler gerçekleştirilerek elektronik kök kanal çalışma uzunluğu belirlendi. Gerçek çalışma uzunluğu ile her bir elektronik apeks bulucular ile elde edilen ortalama uzunluk karşılaştırıldı. Elektronik çalışma uzunluğu belirlendikten sonra eğeler dişe sabitlenerek mikro-BT (Bruker Microct Skyscan 1172, Kontich, Belgium) taraması yapıldı ve elektronik apeks bulucular ile yapılan ölçümlerin apikal daralıma yaklaşımları değerlendirildi. Bu işlemler her bir elektronik apeks bulucu için tekrarlandı. Elde edilen verilerin istatistiksel analizinde varyans ANOVA ve Bonferroni post hoc testleri kullanıldı. $p<0,05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Bu in vitro çalışma sonucunda; üç farklı elektronik apeks bulucu ile (Apex ID, Propex Pixi, Root ZX mini) elde edilen çalışma uzunluğu ve gerçek çalışma uzunluğu arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Mikro-BT incelemesinde apikal daralıma $\pm 0,5$ mm ve $\pm 1,0$ yaklaşım yüzdeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

Anahtar Kelimeler: Mikro-Bilgisayarlı Tomografi, Apex ID, Propex Pixi, Root ZX Mini, Elektronik Apeks Bulucu, Apikal Daralım, Çalışma Boyu Belirleme.

SUMMARY

A Micro-computed Tomographic Evaluation of Accuracy of Different Electronic Apex Locators

The aim of this study was to compare the accuracy of three electronic apex locators Apex ID (SybronEndo, Glendora, CA), Propex Pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) and Root ZX mini (J Morita, Tokyo, Japan) to determine the working length and the evaluation of their approach to the apical constriction using microcomputer tomography method. In this study, 33 maxillary central teeth extracted for periodontal disease were used. The actual working length was visually determined to be 0,5 mm shorter than the major foramen for each tooth. Electronic root canal length was determined by performing measurements at the "0,0" point with electronic apex locators. The actual working length was compared with the average length obtained with each electronic apex locators. After determining the electronic working length, the files were fixed to the tooth and micro-CT scan (Bruker Microct Skyscan 1172, Kontich, Belgium) was performed and the apical narrowing approach of the measurements obtained with electronic apex locators was evaluated. This process was performed by all electronic apex locators. Data was analyzed with variance ANOVA and Bonferroni post hoc tests were used. In all analyses, $p < 0,05$ was taken to indicate statistical significance. Within the limitations of this study, no significant difference was found between the three electronic apex locators (Apex ID, Propex Pixi, Root ZX mini) and the actual working length ($p > 0,05$). According to micro-CT evaluation, there was no statistically significant difference between the $\pm 0,5$ mm and $\pm 1,0$ approach percentages to apical constriction ($p > 0,05$).

Keywords: Micro-Computed Tomography, Apex ID, Propex Pixi, Root ZX Mini, Electronic Apex Locator, Apical Constriction, Working Length Determination.

KAYNAKÇA

- AGUIAR B A, REINALDO R S, FROTA L M A, DO VALE M S, VASCONCELOS B C D (2017). Root ZX electronic foramen locator: an ex vivo study of its three models 'precision and reproducibility. *Int Endod J*, 2017.
- AKISUE E, GAVINI G, DE FIGUEIREDO J A P (2007). 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*, **104(4)**: e129-e132.
- AKISUE E, GRATIERI S D, BARLETTA F B, CALDEIRA C L, GRAZZIOTIN-SOARES R, GAVINI G (2014). Not all electronic foramen locators are accurate in teeth with enlarged apical foramina: an in vitro comparison of 5 brands. *J Endod*, **40(1)**: 109-112.
- ALHADAINY H A (1994). Root perforations: a review of literature. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **78(3)**: 368-374.
- ALTUNBAŞ D, KUŞTARCI A, TOYOĞLU M (2017). The influence of various irrigants on the accuracy of 2 electronic apex locators in locating simulated root perforations. *J Endod*, **43(3)**: 439-442.
- AŞÇI S K (2014). Endodonti. 1. Baskı, Quintessence yayıncılık, İstanbul, p: 379-384
- AURELIO J A, NAHMÍAS Y, GERSTEIN H (1983). A model for demonstrating an electronic canal length measuring device. *J Endod*, **9(12)**: 568-569.
- AYRANCI L, ÇETİNKAYA A, ÖZKAN S (2019). The Effect of Calcium Hydroxide and File Sizes on the Accuracy of the Electronic Apex Locator in Simulated Immature Teeth. *MBSJ Health Sci*, **5(3)**: 273-278.
- AZABAL M, GARCIA-OTERO D, DE LA MACORRA J (2004). Accuracy of the Justy II Apex locator in determining working length in simulated horizontal and vertical fractures. *Int Endod J*, **37(3)**: 174-177.
- BARASUOL J C, MASSIGNAN C, BORTOLUZZI E A, CARDOSO M, BOLAN M (2021). Influence of hand and rotary files for endodontic treatment of primary teeth on immediate outcomes: Secondary analysis of a randomized controlled trial. *Int J Paediatr Dent Title*, **31(1)**: 143-151.
- BARTHELEMY J, GREGOR L, KREJCII, WATAHA J, BOUILLAGUET S (2009). Accuracy of electronic apex locator-controlled handpieces. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **107(3)**: 437-441.
- BASMADJIAN-CHARLES C, FARGE P, BOURGEOIS D, LEBRUN, T. (2002). Factors influencing the long-term results of endodontic treatment: a review of the literature. *Int Dent J Title*, **52(2)**, 81-86.

- BONILLA M, SAYIN T C, SCHOBERT B, HARDIGAN P (2014). Accuracy of a new apex locator in ex-vivo teeth using scanning electron microscopy. *Endod Pract*, **16**, 14-20.
- BRISEÑO-MARROQUÍN B, FRAJLICH S, GOLDBERG F, WILLERSHAUSEN B (2008). Influence of instrument size on the accuracy of different apex locators: an in vitro study. *J Endod*, **34(6)**, 698-702.
- BRITO-JÚNIOR M, CAMILO C, MOREIRA-JÚNIOR G, PECORA J D, SOUSA-NETO M D (2012). Effect of pre-flaring and file size on the accuracy of two electronic apex locators. *J Appl Oral Sci*, **20(5)**, 538-543.
- BROWN D (2017). Paper points revisited: risk of cellulose fibre shedding during canal length confirmation. *Int Endod J*, **50(6)**, 620-626.
- BURCH J G, HULEN S (1972). The relationship of the apical foramen to the anatomic apex of the tooth root. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **34(2)**, 262-268.
- ÇALIŞKAN M K (2006). Endodontide tanı ve tedaviler: Nobel Tıp Kitabevleri.
- CAMARGO É J, ZAPATA R O, MEDEIROS P L, BRAMANTE C M, BERNARDINELI N, GARCIA R B, DE MORAES I G, DUARTE M A H (2009). Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. *J Endod*, **35(9)**, 1300-1302.
- CHANDLER N, BLOXHAM G (1990). The influence of two handle designs and gloves on the performance of a simulated endodontic task. *J Endod*, **16(11)**, 541-542.
- CHEN E, KAING S, MOHAN H, TING S, WU J, PARASHOS P (2011). An ex vivo comparison of electronic apex locator teaching models. *J Endod*, **37(8)**, 1147-1151.
- CHHIL H (2020). Apex Locators–Review. *J Adv Sci Res*, **3(1)**, 9-22.
- CHONG B, PITT T F (1994). Apex locators in endodontics: which, when and how? *Dent. Update*, **21(8)**, 328-330.
- CHRISTIE W, PEIKOFF M, HAWRISH C (1993). Clinical observations on a newly designed electronic apex locator. *J Can Dent Assoc Title*, **59(9)**, 765-772.
- ÇINAR F, ÜSTÜN Y (2020). Ex Vivo Evaluation of the Accuracy of 3 Electronic Apex Locators in Different Environments: A Micro-Computed Tomography Study. *Eur Endod J*, **5(3)**, 226-230.
- CONNERT T, HULBER-J M, GODT A, LOST C, ELAYOUTI A (2014). Accuracy of endodontic working length determination using cone beam computed tomography. *Int Endod J*, **47(7)**, 698-703.

- CONNERT T, JUDENHOFER M, HULBER-J M, SCHELL S, MANNHEIM J, PICHLER B, LOST C, ELAYOUTI A (2018). Evaluation of the accuracy of nine electronic apex locators by using Micro-CT. *Int Endod J*, **51(2)**, 223-232.
- COX V S, BROWN JR C E, BRICKER S L, NEWTON C W (1991). Radiographic interpretation of endodontic file length. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **72(3)**, 340-344.
- CZERW R J, FULKERSON M S, DONNELLY J C (1994). An in vitro test of a simplified model to demonstrate the operation of electronic root canal measuring devices. *J Endod*, **20(12)**, 605-606.
- D'ASSUNÇÃO F L C, DE ALBUQUERQUE D S, SALAZAR-SILVA J R, DE QUEIROZ FERREIRA L C, BEZERRA P M (2007). The accuracy of root canal measurements using the Mini Apex Locator and Root ZX-II: an evaluation in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **104(3)**, e50-e53.
- DA SILVA T M, ALVES F R (2014). 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*, **15(3)**, 312.
- DE CAMARGO É J, ZAPATA R O, MEDEIROS P L, BRAMANTE C M, BERNARDINELI N, GARCIA R B, DE MORAES I G, DUARTE M A H (2009). Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. *J Endod*, **35(9)**, 1300-1302.
- DE VASCONCELOS B C, CHAVES R D V, VIVACQUA-GOMES N, DE MIRANDA CANDEIRO G T, BERNARDES R A, VIVAN R R, DUARTE M A H (2015). Ex vivo evaluation of the accuracy of electronic foramen locators in root canals with an obstructed apical foramen. *J Endod*, **41(9)**, 1551-1554.
- DEPLAZES P, PETERS O, BARBAKOW F (2001). Comparing Apical Preparations of Root Canals Shaped by Nickel-Titanium Rotary Instruments and Nickel-Titanium Hand Instruments. *J Endod*, **27(3)**, 196-202.
- DIMITROV S, ROSHKEV D (2009). Sixth generation adaptive apex locator. *Journal of IMAB-Annual Proceeding (Scientific Papers)*, **15(2009)**, 75-78.
- DONNELLY J C (1993). A simplified model to demonstrate the operation of electronic root canal measuring devices. *J Endod*, **19(11)**, 579-580.
- DUMMER P M, MCGINN J H, REES D G (1984). The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *Int Endod J*, **17(4)**, 192-198.
- DUNLAP C A, REMEIKIS N A, BEGOLE E A, RAUSCHENBERGER C R (1998). An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. *J Endod*, **24(1)**, 48-50.
- DURACK C, PATEL S (2012). Cone beam computed tomography in endodontics. *Braz Dent J*, **23(3)**, 179-191.

- DURAN-SINDREU F, GOMES S, STOBBER E, MERCADÉ M, JANÉ L, ROIG M (2013). In vivo evaluation of the iPex and Root ZX electronic apex locators using various irrigants. *Int Endod J*, **46(8)**, 769-774.
- DURAN-SINDREU F, STOBBER E, MERCADÉ M, VERA J, GARCIA M, BUENO R, ROIG M (2012). Comparison of in vivo and in vitro readings when testing the accuracy of the Root ZX apex locator. *J Endod*, **38(2)**, 236-239.
- EBRAHIM A, WADACHI R, SUDA H (2007). An in vitro evaluation of the accuracy of Dentaport ZX apex locator in enlarged root canals. *Australian dental journal*, **52(3)**, 193-197.
- EBRAHIM A, YOSHIOKA T, KOBAYASHI C, SUDA H (2006). The effects of file size, sodium hypochlorite and blood on the accuracy of Root ZX apex locator in enlarged root canals: an in vitro study. *Australian dental journal*, **51(2)**, 153-157.
- ELAYOUTI A, DIMA E, OHMER J, SPERL K, VON OHLE C, LOST C (2009). Consistency of apex locator function: a clinical study. *J Endod*, **35(2)**, 179-181.
- ELAYOUTI A, HULBER-J M, JUDENHOFER M S, CONNERT T, MANNHEIM J G, LOST C, PICHLER B J, VON OHLE C (2014). Apical constriction: location and dimensions in molars—a micro-computed tomography study. *J Endod*, **40(8)**, 1095-1099.
- ELAYOUTI A, LOST C (2006). A simple mounting model for consistent determination of the accuracy and repeatability of apex locators. *Int Endod J*, **39(2)**, 108-112.
- ELAYOUTI A, WEIGER R, LOST C (2001). Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. *J Endod*, **27(1)**, 49-52.
- ELAYOUTI A, WEIGER R, LOST C (2002). The ability of root ZX apex locator to reduce the frequency of overestimated radiographic working length. *J Endod*, **28(2)**, 116-119.
- ELEAZER P, GLICKMAN G, MCCLANAHAN S (2020). AAE Glossary of Endodontic Terms. *AAE*.
- ER O, UZUN O, USTUN Y, CANAKCI B, YALPI F (2013). Effect of solvents on the accuracy of the Mini Root ZX apex locator. *Int Endod J*, **46(11)**, 1088-1095.
- FELDKAMP L A, GOLDSTEIN S A, PARFITT M A, JESION G, KLEEREKOPER M (1989). The direct examination of three-dimensional bone architecture in vitro by computed tomography. *Journal of bone and mineral research*, **4(1)**, 3-11.
- FUSS Z, ASSOOLINE L S, KAUFMAN A Y (1996). Determination of location of root perforations by electronic apex locators. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **82(3)**, 324-329.

- GARG N, GARG A (2010). *Textbook of endodontics*, 2. Ed: Boydell & Brewer Ltd. p:200-210
- GAROFALO R R, EDE E N, DORN S O, KUTTLER S (2002). Effect of electronic apex locators on cardiac pacemaker function. *J Endod*, **28(12)**, 831-833.
- GENÇ ŞEN Ö (2007). Endodontide Çalışma Boyunun Doğruluğunu Araştırmada Kullanılan Yöntemler. *Türkiye Klinikleri J Endod-Special Topics*. 2017;**3(1)**:38-41.
- GOLDBERG F, DE SILVIO A C, MANFRÉ S, NASTRI N (2002). In vitro measurement accuracy of an electronic apex locator in teeth with simulated apical root resorption. *J Endod*, **28(6)**, 461-463.
- GOLDBERG F, MARROQUÍN B B, FRAJLICH S, DREYER C (2005). In vitro evaluation of the ability of three apex locators to determine the working length during retreatment. *J Endod*, **31(9)**, 676-678.
- GOLDMAN M, PEARSON A H, DARZENTA N (1972). Endodontic success—who's reading the radiograph? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **33(3)**, 432-437.
- GOMES S, OLIVER R, MACOUZET C, MERCADÉ M, ROIG M, DURAN-SINDREU F (2012). In vivo evaluation of the Raypex 5 by using different irrigants. *J Endod*, **38(8)**, 1075-1077.
- GORDON M, CHANDLER N (2004). Electronic apex locators. *Int Endod J*, **37(7)**, 425-437.
- GORNI F G, ANDREANO A, AMBROGI F, BRAMBILLA E, GAGLIANI M (2016). Patient and clinical characteristics associated with primary healing of iatrogenic perforations after root canal treatment: results of a long-term Italian study. *J Endod*, **42(2)**, 211-215.
- GORNI F G, GAGLIANI M M (2004). The outcome of endodontic retreatment: a 2-yr follow-up. *J Endod*, **30(1)**, 1-4.
- GREEN D (1960). Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **13(6)**, 728-733.
- GROVE C J (1930). Why root canals should be filled to the dentinocemental junction. *J Am Dent Assoc (1922)*, **17(2)**, 293-296.
- GUTMANN J L (2016). Apical termination of root canal procedures—ambiguity or disambiguation? *Evid Based Dent*, **1(1)**, 1-22.
- GUTMANN J L, LOVDAHL P E (2010). Problem Solving in Endodontics: Prevention, Identification and Management: Elsevier Health Sciences.

- HARGREAVES K, COHEN S (2020). Cohen's Pathways of the Pulp. 10. ed.: Mosby Elsevier, St. Louis. p: 923-928
- HASSANIEN E E, HASHEM A, CHALFIN H (2008). 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*, **34(4)**, 408-412.
- HEO M S, HAN D H, AN B M, HUH K H, YI W J, LEE S S, CHOI S C (2008). 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*, **105(2)**, 239-244.
- HERRERA M, ÁBALOS C, LUCENA C, JIMÉNEZ-PLANAS A, LLAMAS R (2011). Critical diameter of apical foramen and of file size using the Root ZX apex locator: an in vitro study. *J Endod*, **37(9)**, 1306-1309.
- HERRERA M, ÁBALOS C, PLANAS A J, LLAMAS R (2007). Influence of apical constriction diameter on Root ZX apex locator precision. *J Endod*, **33(8)**, 995-998.
- HOER D, ATTIN T (2004). The accuracy of electronic working length determination. *Int Endod J*, **37(2)**, 125-131.
- HUANG L (1987). An experimental study of the principle of electronic root canal measurement. *J Endod*, **13(2)**, 60-64.
- IBARROLA J L, CHAPMAN B L, HOWARD J H, KNOWLES K I, LUDLOW M O (1999). Effect of preflaring on Root ZX apex locators. *J Endod*, **25(9)**, 625-626.
- INGLE J I (1994). Obturation of the radicular space. *Endodontics*, 228-319.
- INGLE J I, BAKLAND L K, BAUMGARTNER J C (2008). Ingle's endodontics/John I. Ingle, Leif K. Bakland, J. Craig Baumgartner. In: Hamilton, Ont.: BC Decker. p: 550-553
- INOUE N (1973). An audiometric method for determining the length of root canals. *J Can Dent Assoc Title*, **39(9)**, 630-636.
- IONESCU A, HARRIS D, SELVAGANAPATHY P, KISHEN A (2020). Electrokinetic transport and transport of antibacterial nanoparticles for endodontic disinfection. *Int Endod J.*, **53(8)**, 1120-1130.
- JAIN J, OJHA U, MEHROTRA A, BEGUM A (2020). Comparative Analysis of Two Different Apex Locator I-pex & Raypex-6 in Working Length Determination of Open Apex: An In Vitro Analysis.
- JANNER S F, JEGER F B, LUSSI A, BORNSTEIN M M (2011). Precision of endodontic working length measurements: a pilot investigation comparing cone-

- beam computed tomography scanning with standard measurement techniques. *J Endod*, **37**(8), 1046-1051.
- JEGER F B, JANNER S F, BORNSTEIN M M, LUSSI A (2012). Endodontic working length measurement with preexisting cone-beam computed tomography scanning: a prospective, controlled clinical study. *J Endod*, **38**(7), 884-888.
- KATZ A, MASS E, KAUFMAN A (1996). Electronic apex locator: a useful tool for root canal treatment in the primary dentition. *ASDC J. Dent. Child*, **63**(6), 414-417.
- KAUFMAN A, FUSS Z, KEILA S, WAXENBERG S (1997). Reliability of different electronic apex locators to detect root perforations in vitro. *Int Endod J*, **30**(6), 403-407.
- KAUFMAN A, KEILA S, YOSHPE M (2002). Accuracy of a new apex locator: an in vitro study. *Int Endod J*, **35**(2), 186-192.
- KELLER M E, BROWN JR C E, NEWTON C W (1991). A clinical evaluation of the Endocater—an electronic apex locator. *J Endod*, **17**(6), 271-274.
- KHADSE A, SHENOI P, KOKANE V, KHODE R, SONARKAR S (2017). Electronic Apex Locators-An overview. *Indian J Conserv Endod*, **2**, 35-40.
- KIELBASSA A M, MULLER U, MUNZ I, MONTING J S (2003). Clinical evaluation of the measuring accuracy of ROOT ZX in primary teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **95**(1), 94-100.
- KIM E, LEE S J (2004). Electronic apex locator. *Dent Clin N Am* **48**(1), 35-54.
- KIM E, MARMO M, LEE C Y, OH N S, KIM I K (2008). An in vivo comparison of working length determination by only root-ZX apex locator versus combining root-ZX apex locator with radiographs using a new impression technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **105**(4), e79-e83.
- KOBAYASHI C, MATOBA K, SUDA H, SUNADA I (1991). New practical model of the division method electronic root canal length measuring device. *J Jpn Endodon Assoc*, **12**, 143-148.
- KOBAYASHI C, SUDA H (1994). New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J Endod*, **20**(3), 111-114.
- KOÇAK S, KOÇAK M M, SAĞLAM B C (2013). Efficiency of 2 electronic apex locators on working length determination: A clinical study. *JCD*, **16**(3), 229.
- KOLANU S K, BOLLA N, VARRI S, THUMMU J, VEMURI S, MANDAVA P (2014). Evaluation of correlation between apical diameter and file size using Propex Pixi apex locator. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, **8**(12), ZC18.

- KOVAČEVIĆ M, TAMARUT T (1998). Influence of the concentration of ions and foramen diameter on the accuracy of electronic root canal length measurement—An experimental study. *J Endod*, **24(5)**, 346-351.
- KUMAR R, KHAMBE N, PATIL S, HOSHING U, MEDHA A, SHETTY R (2013). Working length changes in curved canals after coronal flaring by using rotary files and hand file: An in vitro study. *JCD*, **16(5)**, 399.
- KUMAR S, CHACKO Y, LAKSHMINARAYANAN L (2004). A simple model to demonstrate the working of electronic ‘apex locator’s. *Endodontology* 2004; **16**: 50-3.
- KUTTLER Y (1955). Microscopic investigation of root apexes. *J Am Dent Assoc*, **50(5)**, 544-552.
- LAMUS F, KATZ J O, GLAROS A G (2001). Evaluation of a digital measurement tool to estimate working length in endodontics. *J Contemp Dent Pract*, **2(1)**, 24.
- LEE S J, NAM K C, KIM Y J, KIM D W (2002). Clinical accuracy of a new apex locator with an automatic compensation circuit. *J Endod*, **28(10)**, 706-709.
- LEONI G B, VERSIANI M A, PÉCOR A J D, DE SOUSA-NETO M D (2014). Micro-computed tomographic analysis of the root canal morphology of mandibular incisors. *J Endod*, **40(5)**, 710-716.
- LEVY A, GLATT L (1970). Deviation of the apical foramen from the radiographic apex. *J N J State Dent Soc*, **41(8)**, 12-13.
- LIANG Y H, JIANG L, CHEN C, GAO X J, WESSELINK P R, WU M K, SHEMES H (2013). The validity of cone-beam computed tomography in measuring root canal length using a gold standard. *J Endod*, **39(12)**, 1607-1610.
- LOZANO A, FORNER L, LLENA C (2002). In vitro comparison of root-canal measurements with conventional and digital radiology. *Int Endod J*, **35(6)**, 542-550.
- LUCENA-MARTIN C, ROBLES-GIJON V, FERRER-LUQUE C, DE MONDELO J N R (2004). In vitro evaluation of the accuracy of three electronic apex locators. *J Endod*, **30(4)**, 231-233.
- LVOVSKY A, BATASHVILI G, STAFFOLI S, TORRIJOS B G N, GAMBARINI G, SOLOMONOV M, BEN J (2020). Ex Vivo accuracy of an endodontic motor with an integrated apex locator in multirrooted teeth. *BMC Oral Health*, **5**, 1-3.
- MALLYA S M (2016). Principles of cone beam computed tomography. In: *3D Imaging in Endodontics*. Springer, Cham, 2016. p. 1-14.
- MANHAS S, LAKRA S, SHARMA A, GARG K, ARORA G (2020). Apex Locator-Booster to Dentist: Literature Review. *Curr Med Res Opin Title*, **3(07)**, 508-515.

- MARCELIANO-ALVES M, SOUSA-NETO M, FIDEL S, STEIER L, ROBINSON J, PÉCORA J, VERSIANI M (2015). Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multifile rotary systems: a micro-CT study. *Int Endod J*, **48(12)**, 1129-1136.
- MARIGO L, GERVASI G L, SOMMA F, SQUEO G, CASTAGNOLA R (2016). Comparison of two electronic apex locators on human cadavers. *Clin Oral Invest*, **20(7)**, 1547-1550.
- MARTÍNEZ-LOZANO M, FORNER-NAVARRO L, SÁNCHEZ-CORTÉS J, LLENA-PUY C (2001). Methodological considerations in the determination of working length. *Int Endod J*, **34(5)**, 371-376.
- MARTOS J, FERRER-LUQUE C, GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ M, CASTRO L (2009). Topographical evaluation of the major apical foramen in permanent human teeth. *Int Endod J*, **42(4)**, 329-334.
- MCDONALD N J (1992). The electronic determination of working length. *Dent Clin N Am*, **36(2)**, 293-307.
- MCDONALD N, HOVLAND E J (1990). An evaluation of the apex locator Endocater. *J Endod*, **16(1)**, 5-8.
- MEARES W A, STEIMAN H R (2002). The influence of sodium hypochlorite irrigation on the accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod*, **28(8)**, 595-598.
- MELIUS B, JIANG J, ZHU Q (2002). Measurement of the distance between the minor foramen and the anatomic apex by digital and conventional radiography. *J Endod*, **28(2)**, 125-126.
- MENTE J, SEIDEL J, BUCHALLA W, KOCH M (2002). Electronic determination of root canal length in primary teeth with and without root resorption. *Int Endod J*, **35(5)**, 447-452.
- MENTES A, GENCOGLU N (2002). Canal length evaluation of curved canals by direct digital or conventional radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **93(1)**, 88-91.
- MIZUTANI T, OHNO N, NAKAMURA H (1992). Anatomical study of the root apex in the maxillary anterior teeth. *J Endod*, **18(7)**, 344-347.
- MORFIS A, SYLARAS S, GEORGOPOULOU M, KERNANI M, PROUNTZOS F (1994). 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*, **77(2)**, 172-176.
- MORGENTAL R D, VIER-PELISSER F V, LUISI S B, COGO D M, KOPPER P M P (2011). Preflaring effects on the accuracy of three electronic apex locators. *Rev. odonto ciênc.*, **26(4)**, 331-335.

- MOSCOSO S, PINEDA K, BASILIO J, ALVARADO C, ROIG M, DURAN-SINDREU F (2014). Evaluation of Dentaport ZX and Raypex 6 electronic apex locators: an in vivo study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, **19(2)**, e202.
- MOZZO P, PROCACCI C, TACCONI A, MARTINI P T, ANDREIS I B (1998). A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol*, **8(9)**, 1558-1564.
- NAHMIAS Y, AURELIO J A, GERSTEIN H (1983). Expanded use of the electronic canal length measuring devices. *J Endod*, **9(8)**, 347-349.
- NAIR M K, NAIR U P (2007). Digital and advanced imaging in endodontics: a review. *J Endod*, **33(1)**, 1-6.
- NAIR P R, SJOGREN U, KREY G, SUNDQVIST G (1990). Therapy-resistant foreign body giant cell granuloma at the periapex of a root-filled human tooth. *J Endod*, **16(12)**, 589-595.
- NEKOOFAR M, GHANDI M, HAYES S, DUMMER P (2006). The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *Int Endod J*, **39(8)**, 595-609.
- NG Y L, MANN V, GULABIVALA K (2011). A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. *Int Endod J*, **44(7)**, 583-609.
- NGUYEN H, KAUFMAN A, KOMOROWSKI R, FRIEDMAN S (1996). Electronic length measurement using small and large files in enlarged canals. *Int Endod J*, **29(6)**, 359-364.
- OLSON A, GOERING A, CAVATAIO R, LUCIANO J (1991). The ability of the radiograph to determine the location of the apical foramen. *Int Endod J*, **24(1)**, 28-35.
- ÖZSEZER E, İNAN U, AYDIN U (2007). In vivo evaluation of ProPex electronic apex locator. *J Endod*, **33(8)**, 974-977.
- PASCON E, MARRELLI M, CONGI O, CIANCIO R, MICELI F, VERSIANI M (2009). An in vivo comparison of working length determination of two frequency-based electronic apex locators. *Int Endod J*, **42(11)**, 1026-1031.
- PATEL S, DAWOOD A, WHAITES E, PITT FORD T (2009). New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J*, **42(6)**, 447-462.
- PECORA J, CAPELLI A, GUERISOLI D, SPANÓ J, ESTRELA C (2005). Influence of cervical preflaring on apical file size determination. *Int Endod J*, **38(7)**, 430-435.

- PIASECKI L, CARNEIRO E, DA SILVA NETO U X, WESTPHALEN V P D, BRANDÃO C G, GAMBARINI G, AZIM A A (2016). The use of micro-computed tomography to determine the accuracy of 2 electronic apex locators and anatomic variations affecting their precision. *J Endod*, **42(8)**, 1263-1267.
- PIASECKI L, CARNEIRO E, FARINIUK L F, WESTPHALEN V P D, FIORENTIN M A, DA SILVA NETO U X (2011). Accuracy of Root ZX II in locating foramen in teeth with apical periodontitis: an in vivo study. *J Endod*, **37(9)**, 1213-1216.
- PINEDA F, KUTTLER Y (1972). Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **33(1)**, 101-110.
- PLOTINO G, GRANDE N, BRIGANTE L, LESTI B, SOMMA F (2006). Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator and ProPex. *Int Endod J*, **39(5)**, 408-414.
- POMMER O, STAMM O, ATTIN T (2002). Influence of the canal contents on the electrical assisted determination of the length of root canals. *J Endod*, **28(2)**, 83-85.
- PONCE E H, FERNÁNDEZ J A V (2003). The cemento-dentino-canal junction, the apical foramen, and the apical constriction: evaluation by optical microscopy. *J Endod*, **29(3)**, 214-219.
- PRADEEPKUMAR A, SHEMESH H, VAN LOVEREN C, JOTHILATHA S, SHIREEN F, VIJAYABHARATHI R, KISHEN A (2019). Impact of apical extent of root canal filling on vertical root fracture: a case-control study. *Int Endod J*, **52(9)**, 1283-1289.
- RAGHU K N, DANIEL J G, RAZVI S, VINAYCHANDRA R, KINI A, NANDAKISHORE K J (2014). In vivo evaluation of the accuracy of working length determination using an electronic apex locator IPEX (NSK) on vital uninfected teeth and teeth with radiographic evidence of periapical lesions. *J Int Soc Prev Community Dent Title*, **4(3)**, S204.
- RAVANSHAD S, ADL A, ANVAR J (2010). Effect of working length measurement by electronic apex locator or radiography on the adequacy of final working length: a randomized clinical trial. *J Endod*, **36(11)**, 1753-1756.
- RENNER D, GRAZZIOTIN-SOARES R, GAVINI G, BARLETTA F B (2012). Influence of pulp condition on the accuracy of an electronic foramen locator in posterior teeth: an in vivo study. *Braz Oral Res*, **26(2)**, 106-111.
- RICUCCI D, LANGELAND K (1998). Apical limit of root canal instrumentation and obturation, A histological study. *Int Endod J*, **31(6)**, 394-409.
- RICUCCI D, RUSSO J, RUTBERG M, BURLESON J A, SPÅNGBERG L S (2011). A prospective cohort study of endodontic treatments of 1,369 root canals: results

- after 5 years. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **112(6)**, 825-842.
- ROSENBERG D (2004). The paper point technique. *Endod Pract Dent Today*, **22(3)**: 62-4, 66-7.
- SAAD A, AL-YAHYA A (2003). The location of the cementodentinal junction in single-rooted mandibular first premolars from Egyptian and Saudi patients: a histological study. *Int Endod J*, **36(8)**, 541-544.
- SAATCHI M, IRAVANI S, KHALEGHI M A, MORTAHEB A (2017). Influence of root canal curvature on the accuracy of root ZX electronic foramen locator: An in vitro study. *Iran Endod J*, **12(2)**, 173.
- SADEGHI S, ABOLGHAJEMI M (2008). The effect of file size on the accuracy of the raypex 5 apex locator: an in vitro study. *J. Dent. Res. Dent. Clin. Dent. Prospects*, **2(1)**, 24.
- SCHELL S, JUDENHOFER M, MANNHEIM J, HULBER-J M, LOST C, PICHLER B, ELAYOUTI A (2017). Validity of longitudinal sections for determining the apical constriction. *Int Endod J*, **50(7)**, 706-712.
- SCHILDER H (1967). Filling root canals in three dimensions. *J Endod*, **32(4)**, 281-290.
- SCHULZE R, HEIL U, GROB D, BRUELLMANN D, DRANISCHNIKOW E, SCHWANECKE U, SCHOEMER E (2011). Artefacts in CBCT: a review. *Dentomaxillofac Radiol Title*, **40(5)**, 265-273.
- SEGATO A V K, PIASECKI L, NUÑOVERO M F I, DA SILVA NETO U X, WESTPHALEN V P D, GAMBARINI G, CARNEIRO E (2018). The accuracy of a new cone-beam computed tomographic software in the preoperative working length determination ex vivo. *J Endod*, **44(6)**, 1024-1029.
- SEIDBERG B H, ALIBRANDI B V, FINE H, LOGUE B (1975). Clinical investigation of measuring working lengths of root canals with an electronic device and with digital-tactile sense. *J Am Dent Assoc*, **90(2)**, 379-387.
- SELTZER S, SOLTANOFF W, SINAI I, GOLDENBERG A, BENDER I (2004). Biologic aspects of endodontics Part III. Periapical tissue reactions to root canal instrumentation. *J Endod*, **30(7)**, 491-499.
- SERNA-PEÑA G, GOMES-AZEVEDO S, FLORES-TREVIÑO J, MADLA-CRUZ E, RODRÍGUEZ-DELGAD, I, MARTÍNEZ-GONZÁLEZ G (2020). In vivo evaluation of 3 electronic apex locators: Root ZX Mini, Apex ID, and Propex Pixi. *Journal of endodontics*, **46(2)**, 158-161.
- SHABAHANG S, GOON W W, GLUSKIN A H (1996). An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator. *J Endod*, **22(11)**, 616-618.

- SHIN H S, YANG W K, KIM M R, KO H J, CHO K M, PARK S H, KIM J W. (2012). Accuracy of Root ZX in teeth with simulated root perforation in the presence of gel or liquid type endodontic irrigant. *Restor Dent Endod Title*, **37(3)**, 149-154.
- SIMON S, MACHTOU P, ADAMS N, TOMSON P, LUMLEY P (2009). Apical limit and working length in endodontics. *Dent. Update*, **36(3)**, 146-153.
- SIU C, MARSHALL J G, BAUMGARTNER J C (2009). An in vivo comparison of the Root ZX II, the Apex NRG XFR, and Mini Apex Locator by using rotary nickel-titanium files. *J Endod*, **35(7)**, 962-965.
- SJOGREN U, HÄGGLUND B, SUNDQVIST G, WING K (1990). Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod*, **16(10)**, 498-504.
- SMADI L (2006). Comparison between two methods of working length determination and its effect on radiographic extent of root canal filling: a clinical study. *BMC Oral Health*, **6(1)**, 4.
- SOARES R M V, SILVA E J N L, HERRERA D R, KREBS R L, COUTINHO-FILHO T S (2013). Evaluation of the Joypex 5 and Root ZX II: an in vivo and ex vivo study. *Int Endod J*, **46(10)**, 904-909.
- SOI S, MOHAN S, KAUR V V P (2013). Electronic apex locators, *J Dent Sci Oral Rehabilitat*: 24-27
- STABHOLZ A, ROTSTEIN I, TORABINEJAD M (1995). Effect of preflaring on tactile detection of the apical constriction. *J Endod*, **21(2)**, 92-94.
- STEIN T J, CORCORAN J F (1990). Anatomy of the root apex and its histologic changes with age. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **69(2)**, 238-242.
- STOBER E K, DURAN-SINDREU F, MERCADÉ M, VERA J, BUENO R, ROIG M (2011). An evaluation of root ZX and iPex apex locators: an in vivo study. *J Endod*, **37(5)**, 608-610.
- STOLL R, URBAN-KLEIN B, ROGGENDORF M, JABLONSKI-MOMENI A, STRAUCH K, FRANKENBERGER R (2010). Effectiveness of four electronic apex locators to determine distance from the apical foramen. *Int Endod J*, **43(9)**, 808-817.
- SUCHDE R, TALIM S (1977). Electronic ohmmeter: an electronic device for the determination of the root canal length. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **43(1)**, 141-150.
- SUNADA I (1962). New method for measuring the length of the root canal. *J Dent Res*, **41(2)**, 375-387.
- SUZUKI K (1942). Experimental study on iontophoresis. *Jpn J Stomatology*, **16**, 411-429.

- SWAPNA D V, KRISHNA A, PATIL A C, RASHMI K, PAI V S, RANJINI M A (2015). Comparison of third generation versus fourth generation electronic apex locators in detecting apical constriction: An in vivo study. *JCD*, **18(4)**, 288.
- TAMSE A, KAFFE I, FISHEL D (1980). Zygomatic arch interference with correct radiographic diagnosis in maxillary molar endodontics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **50(6)**, 563-565.
- TAŞDEMİR T, YILDIRIM T, ÇELİK D (2008). Comparative study of removal of current endodontic fillings. *J Endod*, **34(3)**, 326-329.
- TCHORZ J P, HELLWIG E, ALTENBURGER M J (2013). Teaching model for artificial teeth and endodontic apex locators. *J Dent Educ*, **77(5)**, 626-629.
- TINAZ A C, SEVİMLİ L S, GÖRGÜL G, TÜRKÖZ E G (2002a). The effects of sodium hypochloride concentrations on the accuracy of an apex locating device. *J Endod*, **28(3)**, 160-162.
- TINAZ A, ALACAM T, TOPUZ O (2002b). A simple model to demonstrate the electronic apex locator. *Int Endod J*, **35(11)**, 940-945.
- TINAZ C (2001). Kanal tedavisinde çalışma boyutu. Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, **18(1)**, 31-37.
- TOSUN G, ERDEMİR A, ELDENİZ A, SERMET U, SENER Y (2008). Accuracy of two electronic apex locators in primary teeth with and without apical resorption: a laboratory study. *Int Endod J*, **41(5)**, 436-441.
- TSELNIK M, BAUMGARTNER J C, MARSHALL J G (2005). An evaluation of root ZX and elements diagnostic apex locators. *J Endod*, **31(7)**, 507-509.
- TUFENKCI P, KALAYCI A (2020). Evaluation of the accuracy of different apex locators in determining the working length during root canal retreatment. *J. Dent. Res. Dent. Clin. Dent. Prospects*, **14(2)**, 125.
- ÜSTÜN Y, ASLAN T, ŞEKERCİ A E, SAĞSEN B (2016). 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*, **42(9)**, 1334-1337.
- USTUN Y, UZUN O, ER O, CANAKCI B C, TOPUZ O (2015). The effect of residual calcium hydroxide on the accuracy of a contemporary electronic apex locator. *Acta Biomater Odontol Scand*, **73(2)**, 132-136.
- USTUN Y, UZUN O, ER O, MADEN M, YALPI F, CANAKCI B C (2013). Effects of dissolving solutions on the accuracy of an electronic apex locator-integrated endodontic handpiece. *Sci World J*, 2013.
- UZUN O, TOPUZ O, TINAZ C, NEKOOFAR M H, DUMMER P M H (2008). Accuracy of two root canal length measurement devices integrated into rotary

- endodontic motors when removing gutta-percha from root-filled teeth. *Int Endod J*, **41(9)**, 725-732.
- UZUNOĞLU E, EYMİRLİ A, UYANIK M, ÇALT S, NAGAŞ Z (2015). Calcium hydroxide dressing residues after different removal techniques affect the accuracy of Root ZX apex locator. *Restor Dent Endod* **40(1)**, 44.
- VASCONCELOS B C D, ARAÚJO R B R, LUNA-CRUZ S M, DUARTE M A H, FERNANDES C A D O (2014). In vivo accuracy of two electronic foramen locators based on different operation systems. *Braz Dent J*, **25(1)**, 12-16.
- VASCONCELOS B C, BASTOS L M, OLIVEIRA A S, BERNARDES R A, DUARTE M A H, VIVACQUA-GOMES N, VIVAN R R (2016). Changes in root canal length determined during mechanical preparation stages and their relationship with the accuracy of Root ZX II. *J Endod*, **42(11)**, 1683-1686.
- VENTURI M, BRESCHI L (2007). A comparison between two electronic apex locators: an ex vivo investigation. *Int Endod J*, **40(5)**, 362-373.
- VERSIANI M, PÉCORA J, SOUSA-NETO M (2013). Microcomputed tomography analysis of the root canal morphology of single-rooted mandibular canines. *Int Endod J*, **46(9)**, 800-807.
- VERTUCCI F J (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **58(5)**, 589-599.
- WEIGER R, JOHN C, GEIGLE H, LOST C (1999). An in vitro comparison of two modern apex locators. *J Endod*, **25(11)**, 765-768.
- WEINE F S (1996). Endodontic therapy, ed 5, St Louis: Mosby. 243.
- WILSON B L, BROBERG C, BAUMGARTNER J C, HARRIS C, KRON J (2006). Safety of electronic apex locators and pulp testers in patients with implanted cardiac pacemakers or cardioverter/defibrillators. *J Endod*, **32(9)**, 847-852.
- WRBAS K, ZIEGLER A, ALTENBURGER M, SCHIRRMESTER J (2007). In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *Int Endod J*, **40(2)**, 133-138.
- WU M K, WESSELINK P R, WALTON R E (2000). Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, **89(1)**, 99-103.
- YOLAGİDEN M, ERSAHAN S, SUYUN G, BİLGEÇ E, AYDİN C (2018). Comparison of Four Electronic Apex Locators in Detecting Working Length: An Ex Vivo Study. *J Contemp Dent Pract*, **19(12)**, 1427-1433.

ÖZGEÇMİŞ

I. Bireysel Bilgiler

Adı : Aylin
Soyadı : Ergeldi

Doğum Yeri ve Tarihi:

Uyruğu :

Medeni Durumu :

İletişim Adresi ve

Telefonu :

Elektronik Posta :

II. Eğitim Bilgileri

2018-2021 : Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti
Anabilim Dalı, (Uzmanlık) ANKARA

2012-2017 : İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, (Lisans)
İSTANBUL

2008-2012 : Lüleburgaz Anadolu Lisesi, KIRKLARELİ

Yabancı Dil

İngilizce