



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**



**NANOPARTİKÜL İÇEREN İRRİGASYON
SOLÜSYONLARININ ELEKTRONİK APEKS BULUCUNUN
DOĞRULUĞUNA ETKİSİ**

Elif ÖZTÜRK

**ENDODONTİ ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Berkan ÇELİKTEN**

**ANKARA
2024**

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

NANOPARTİKÜL İÇEREN İRRİGASYON
SOLÜSYONLARININ ELEKTRONİK APEKS BULUCUNUN
DOĞRULUĞUNA ETKİSİ

Elif ÖZTÜRK

ENDODONTİ ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Berkan ÇELİKTEN

ANKARA
2024

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi Dekanlığı'na

Uzmanlık tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Nanopartikül İçeren İrrigasyon Solüsyonlarının Elektronik Apeks Bulucunun Doğruluğuna Etkisi” 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.

Öğrencinin Adı Soyadı: Elif Öztürk
Tarih: 03.05.2024
İmza:

KABUL VE ONAY

Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi

Endodonti Anabilim Dalında

Elif Öztürk tarafından hazırlanan

“Nanopartikül İçeren İrrigasyon Solüsyonlarının Elektronik Apeks Bulucunun Doğruluğuna Etkisi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından UZMANLIK TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 03.05.2024

İmza

Prof. Dr. Fatma Semra SEVİMAY

Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi

Jüri Başkanı

İmza

Prof. Dr. Berkan ÇELİKTEN

Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği
Fakültesi

Üye

İmza

Doç. Dr. Ayhan EYMİRLİ

Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği
Fakültesi

Üye

Tez hakkında alınan jüri kararı, Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Yönetim Kurulu tarafından onaylanmıştır.

ÖZET

Nanopartikül İçeren İrrigasyon Solüsyonlarının Elektronik Apeks Bulucunun Doğruluğuna Etkisi

Bu çalışmanın amacı gümüş nanopartikül ve kitosan çözeltisinin, sodyum hipoklorit, klorheksidin, etilen diamin tetra asetik asit ve serum fizyolojik solüsyonunun kök kanal çalışma boyu tespitinde elektronik apeks bulucunun doğruluğuna etkisini incelemektir. Çalışmamızda 66 adet üst orta ve yan keser dişler kullanıldı. Her bir grupta 11 adet diş olacak şekilde, rastgele 6 gruba ayrıldı (1.Grup: %5 NaOCl, 2. Grup: %17 EDTA, 3. Grup: %2 CHX, 4. Grup: AgNP, 5. Grup: %0,2 Kitosan, 6. Grup: %0,9 Serum fizyolojik). Her bir dişe giriş kavitesi açıldı. Tüm ölçümlerde sabit bir referans noktası oluşturmak için dişlerin boyları 16 mm olacak şekilde kuronlar prepare edildi. Elektronik ölçümler yapılmadan önce, SX Protaper eğre ile koronal ön genişletme yapıldı. #15 K tipi eğre, eğrenin ucu apekte görülene kadar ilerletilerek operasyon mikroskopunda x10 büyütme altında gözlemlendi. Eğre ucu ile lastik stoper arası mesafe ± 0.01 mm hassasiyet gösteren dijital kumpas ile ölçüldü. Her bir diş için ölçümler 3 kez tekrarlanarak ölçümlerin ortalaması kaydedildi. Elde edilen ortalama değer ile gerçek kök kanal uzunluğu belirlendi ve ‘Gerçek Majör Foramen’ olarak kaydedildi. Kaydedilen gerçek kök kanal uzunluğundan 0,5 mm çıkarılarak gerçek kök kanal çalışma boyu belirlendi ve ‘Gerçek Fizyolojik Foramen’ olarak kaydedildi. Ardından her bir diş aljinat kalıplara gömüldü. Kanallar irrigasyon solüsyonu ile irrigate edildi ve elektronik ölçümler Dentaport ZX (J Morita, Tokyo, Japan) ile gerçekleştirildi. Elektronik apeks bulucu ile ‘APEX’ ve ‘0,5’ noktasında ölçümler gerçekleştirildi. ‘APEX’ noktasındaki ölçümler “Elektronik Majör Foramen” olarak kaydedildi. ‘0,5’ noktasındaki ölçümler ise “Elektronik Fizyolojik Foramen” olarak kaydedildi. Verilerin istatistiksel analizleri yapılırken Kruskal Wallis H testi, Fisher-exact testi ve Wilcoxon İşaret testi kullanıldı. Sonuçlar anlamlılık $p < 0,05$ düzeyinde değerlendirildi. Çalışmamızın sonucunda, kullanılan irrigasyon solüsyonları arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p > 0,05$). Dentaport ZX, Gerçek Majör Foramen tespitinde $\pm 0,5$ mm aralığında %91; ± 1 mm aralığında %100; Gerçek Fizyolojik Foramen tespitinde $\pm 0,5$ mm aralığında %80,3; ± 1 mm aralığında %100 başarı oranı göstermiştir. AgNP ve kitosan çözeltisi endodontik tedavilerde, kök kanal tedavisi irrigasyonunda ve çalışma boyu belirlenirken güvenle kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler: Çalışma boyu uzunluğu, Elektronik apeks bulucu, Gümüş nanopartikül, İrrigasyon solüsyonu, Kitosan

SUMMARY

The Effect of Irrigation Solutions Containing Nanoparticles on the Accuracy of Electronic Apex Locator

The aim of this study is to compare the effect of silver nanoparticle and chitosan solution, sodium hypochlorite, chlorhexidine, ethylene diamine tetra acetic acid and sterile saline solution on the accuracy of the electronic apex locator in determining the root canal working length. 66 maxillary central and lateral incisors were used in our study. They were randomly divided into 6 groups, with 11 teeth in each group (1. Group: 5% NaOCl, 2. Group: 17% EDTA, 3. Group: 2% CHX, 4. Group: AgNP, 5. Group: 0,2% Chitosan, 6. Group: 0.9% Sterile Saline). An access cavity was performed for each tooth. In order to provide a stable reference for all measurements, the crowns were prepared and the teeth length adjusted to 16 mm. The electronic measurements were made after the preflaring using the SX Pro-Taper instruments. The #15 K type file was advanced until the tip of the file was seen at the apex and observed under the operating microscope under x10 magnification. The distance between the file tip and the rubber stopper was measured with a digital caliper with an accuracy of ± 0.01 mm. For each tooth, measurements were repeated 3 times and the average of the measurements were recorded. The actual root canal length was determined with the average value obtained and recorded as 'Actual Major Foramen'. The actual root canal working length was determined by subtracting 0.5 mm from the recorded actual root canal length and was recorded as 'Actual Physiological Foramen'. Each tooth was embedded in alginate molds. Measurements were performed by using Dentaport ZX (J Morita, Tokyo, Japan) in the presence of irrigating solutions using a K-file 15. Measurements were made at the 'APEX' and '0.5' points with the electronic apex locator. Measurements at the 'APEX' point were recorded as "Electronic Major Foramen". The measurements at the '0.5' point were recorded as "Electronic Physiological Foramen". Kruskal Wallis H test, Fisher-exact test and Wilcoxon Sign test were used for performing statistical analysis of the data. The results were evaluated at the significance level of $p < 0.05$. As a result of our study, no significant difference was found between the irrigation solutions used ($p > 0.05$). The reliability of Actual Major Foramen determination was 91% for ± 0.5 mm; 100% for ± 1 mm. The reliability of Actual Physiological Foramen determination was 80,3% for ± 0.5 mm; 100% for ± 1 mm. It was determined that the irrigation solutions used in our study did not affect the accuracy of the Dentaport ZX electronic apex locator. AgNP and chitosan solution can be used safely in endodontic treatments, root canal treatment irrigation and working length determination.

Key Words: Chitosan, Electronic apex locator, Irrigation solution, Silver nanoparticle, Working length

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
Özet	iv
Summary	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	11
1.2.4.1. Elektronik Apeks Bulucuların Sınıflandırılması	13
1.2.4.1.1. Birinci Nesil Apeks Bulucular (Rezistans Tip)	13
1.2.4.1.2. İkinci Nesil Apeks Bulucular (Empedans Tip)	14
1.2.4.1.3. Üçüncü Nesil Apeks Bulucular (Frekans Tip)	16
1.2.4.1.4. Dördüncü Nesil Apeks Bulucular (Orantı Tip)	17
1.2.4.1.5. Beşinci Nesil Apeks Bulucular (Multifrekans Tip)	19
1.2.4.1.6. Altıncı Nesil Apeks Bulucular (Adaptif tip)	20
1.2.4.2. Elektronik Apeks Bulucuların Avantaj ve Dezavantajları	20
1.2.4.2.1. Elektronik Apeks Bulucuların Avantajları	20
1.2.4.2.2. Elektronik Apeks Bulucuların Dezavantajları	21
1.2.4.3. Elektronik Apeks Bulucuların Doğruluğunu Etkileyen Faktörler	21
1.2.4.3.1. Pulpa Vitalitesi	21
1.2.4.3.2. Apikal Kök Rezorpsiyonu	22
1.2.4.3.3. Elektrik İleten Solüsyonlar	23
1.2.4.3.4. Kanal İçi Medikamanlar	24
1.2.4.3.5. Apikal Foramen ve Ölçümde Kullanılan Kanal Aletinin Çapı	24
1.2.4.3.6. Perforasyonlar ve Kök Kırıkları	25
1.2.4.3.7. Kök Kanal Dolgusunun Yenilenmesi Esnasında Kullanımı	26
1.2.4.3.8. Koronal Genişletmenin Etkisi	27
1.2.4.3.9. Süt Dişleri	27
1.2.4.3.10. Endodontik Motor ile Birlikte Kullanılan Apeks Bulucular	28
1.3. Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyon Solüsyonları	28
1.3.1. Sodyum Hipoklorit (NaOCl)	30
1.3.2. Klorheksidin (CHX)	31
1.3.3. Etilen Diamin Tetra Asetik Asit (EDTA)	32
1.3.4. Etidronik Asit (HEBP)	35
1.3.5. Tetrasiklin İzomer Karışımı, Asit ve Deterjan (MTAD) ve Tetraclean	36
1.3.6. Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂)	36
1.3.7. İyodin Potasyum İyodid (IKI)	37
1.3.8. QMIX	37
1.4. Nanoteknoloji ve Antibakteriyel Nanopartiküller	38
1.4.1. Gümüş Nanopartiküller (AgNP)	39

1.4.1.1. Gümüş Nanopartiküllerin Etki Mekanizmaları	39
1.4.1.2. Gümüş Nanopartiküllerin Endodontik Uygulamaları	40
1.4.2. Kitosan	42
1.5. Çalışma Uzunluğunun Doğruluğu için Yapılan Araştırmalarda Kullanılan Yöntemler	43
1.5.1. Foramen Apikaleden Kanal Aletinin Çıkışının İzlenmesi	43
1.5.2. Dişlerin Şeffaştırılmasının Ardından Mikroskop Altında Yapılan Ölçüm	44
1.5.3. Apikal Bölümün Aşındırılmasının Ardından Mikroskop Altında Yapılan Ölçüm	44
1.5.4. Apikal Bölümün Ölçüsünün Alınması	45
1.5.5. Mikro Bilgisayarlı Tomografi Yöntemi	45
1.6. Çalışmanın Amacı	45
2. GEREÇ VE YÖNTEM	46
2.1. Çalışma için dişlerin seçimi ve hazırlanması	46
2.2. Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları ve Gruplar	47
2.3. Çalışma Boyu Ölçümleri	47
2.3.1. Gerçek Kök Kanal Çalışma Boyunun Belirlenmesi	47
2.3.2. Elektronik Olarak Kök Kanal Çalışma Boyunun Belirlenmesi	49
2.4. Kitosan Çözeltilisinin Hazırlanması	52
2.5. Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi	52
2.6. İstatistiksel Analiz	53
3. BULGULAR	54
4. TARTIŞMA	60
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	93

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda ve uzmanlık eğitimim boyunca klinik ve akademik çalışmalarda bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak bana yol gösteren, anlayış ve hoşgörüsüyle her konuda destek veren ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Berkan Çelikten'e,

Uzmanlık eğitimim süresince desteklerini esirgemeyen Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Fatma Semra Sevimay'a ve bilimsel ve mesleki tecrübelerinden yararlandığım Anabilim Dalı'mızın çok kıymetli, saygıdeğer ve hoşgörülü diğer tüm Öğretim Üyelerine,

Tez çalışmamdaki yardımlarından dolayı Sayın Doç. Dr. Gülin Amasya Çelikten'e,

Uzmanlık eğitimimin başlangıcından bugüne kadar her konuda içtenlikle ve samimiyetle yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli meslektaşım Sayın Öğr. Gör. Emine Odabaşı Tezer'e,

Eğitimimin bana kazandırdığı iş arkadaşlığının çok daha ötesindeki dostlukları için, her konuda desteklerini hissettiğim sevgili arkadaşlarım Dt. Pınar Hava Dursun, Dt. Ayşenur Doğan, Dt. Beyzanur Doğan ve Uzm. Dt. İlafl İskender'e,

Birlikte çalışmaktan ve tanımaktan mutluluk duyduğum tüm asistan arkadaşlarıma,

Beni bugünlere getiren, üzerimde sonsuz emekleri olan, hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim çok değerli aileme,

Anlayış, sabır ve sonsuz sevgisiyle bana inanıp güvenen ve her daim yanımda olan, böylesine zorlu bir süreçte en az benim kadar emek veren biricik yol arkadaşım sevgili eşim Muhammet Öztürk'e ve doğduğu günden beri evimizin neşesi olan canım kızım Zeynep'e,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	Yüzde
<	Küçük
>	Büyük
AgNP	Gümüş Nanopartikül
BT	Bilgisayarlı Tomografi
C. albicans	Candida albicans
Ca(OH) ₂	Kalsiyum Hidroksit
CHX	Klorheksidin
E. faecalis	Enterococcus faecalis
EDTA	Etilen Diamin Tetra Asetik Asit
EFF	Elektronik Fizyolojik Foramen
EMF	Elektronik Majör Foramen
GFF	Gerçek Fizyolojik Foramen
GMF	Gerçek Majör Foramen
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
HEBP	Etidronik Asit
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
IKI	İyodin Potasyum İyodid
kHz	Kilohertz
kΩ	Kilo ohm
Max	Maximum
Mikro-BT	Mikro Bilgisayarlı Tomografi
Min	Minimum
mL	Mililitre
mm	Milimetre
NaOCl	Sodyum hipoklorit
nm	Nanometre
Ort	Ortalama
p	İstatistiksel anlamlılık değeri
PCA	Parakloranilin
SDB	Semento-Dentinal Bileşke
SPSS	Statistical Package for Social Sciences
SS	Standart Sapma
vd	Ve diğerleri
μA	Mikroamper
μm	Mikrometre

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Apikal foramenin anatomisi	3
Şekil 1.2. Apikal foramenin konumu a) Apikal Foramenin kökün tam ucunda sonlandığı durum b) Genç bir bireyde apikal foramenin konumu c) Yaşlı bir bireyde sert doku birikimine bağlı olarak değişen apikal foramenin konumu	4
Şekil 1.3. 1) Anatomik apeks 2) Apikal foramen (Majör foramen) 3) Apikal daralım (Minör foramen) 4) Anatomik apeks ve apikal foramen arası mesafe 5) Apikal daralım ve apikal foramen arası mesafe	5
Şekil 1.4. Apikal daralım bölgesinin tipleri	6
Şekil 1.5. Tanıtılan ilk 1. Nesil Elektronik Apeks Bulucu	13
Şekil 1.6. 1971 yılında Inoue tarafından kullanıma sunulan Sono-Explorer	15
Şekil 1.7. Root ZX (J. Morita, Kyoto, Japan)	17
Şekil 1.8. Elements Diagnostic Unit and Apex Locator	18
Şekil 1.9. Root ZX II	19
Şekil 2.1. Micracut cihazı	46
Şekil 2.2. Operasyon mikroskobu	48
Şekil 2.3. Operasyon mikroskobunda x10 büyütme altında majör foramenden eğe ucunun görülmesi	49
Şekil 2.4. Dentaport ZX elektronik apeks bulucunun ekranında yazan 'APEX' çizgisinin elektronik majör forameni göstermesi	50
Şekil 2.5. Dentaport ZX elektronik apeks bulucunun ekranında yazan '0,5' çizgisinin elektronik fizyolojik forameni göstermesi	51
Şekil 2.6. Stoperin alt kısmı ile eğe ucu arası mesafenin ± 0.01 mm hassasiyet gösteren dijital kumpas yardımıyla ölçülmesi	51
Şekil 2.7. Sentezlenen kitosan çözeltisi	52

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. NaOCl grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması	54
Çizelge 3.2. CHX grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması	54
Çizelge 3.3. EDTA grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması	55
Çizelge 3.4. AgNP grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması	55
Çizelge 3.5. Kitosan grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması	56
Çizelge 3.6. Serum fizyolojik grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması	56
Çizelge 3.7. Elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin farkının gruplar arası karşılaştırılması	57
Çizelge 3.8. Fizyolojik foramen için elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal çalışma boyu değerleri arasındaki farkın sınır durumlarına göre gruplar arası karşılaştırılması	58
Çizelge 3.9. Majör foramen için elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerleri arasındaki farkın sınır durumlarına göre gruplar arası karşılaştırılması	59

1.GİRİŞ

Başarılı bir endodontik tedavi için kök kanalından enfekte pulpa dokusunun, nekrotik doku artıklarının, mikroorganizmaların ve mikrobiyal toksinlerin uzaklaştırılması gerekmektedir (Christopher ve Emmanuel, 2010; Ricucci, 1998; Siqueira Jr ve Rôças, 2008). Bu da ancak doğru bir teşhise, kök kanallarının yeteri kadar şekillendirilmesine, etkin dezenfeksiyonuna, hermetik olarak doldurulmasına ve sızdırmaz üst restorasyon aşamalarının eksiksiz uygulanmasına bağlıdır (Deplazes vd., 2001; Gordon ve Chandler, 2004).

Çalışma boyunun doğru belirlenmesi kök kanal sisteminin temizlenme, şekillendirme ve dolumundaki en önemli aşamadır (Jain vd., 2020; Ricucci ve Langeland, 1998). “Çalışma boyu” terimi, Endodontik Terimler Sözlüğünde “koronal bir referans noktasından kanal preparasyonu ve kök kanal dolgusunun sonlandırılması gereken noktaya olan mesafe” olarak açıklanmaktadır (Renner vd., 2012). Referans noktası, kök kanal çalışma boyu ölçümlerinin yapıldığı dişin oklüzal veya insizal yüzeyindeki stabil bölgedir. Genellikle bu, ön dişlerin insizal kenarındaki ve arka dişlerin bukkal tüberkülündeki en yüksek noktadır.

Çalışma boyunun doğru tespit edilememesi ve idame ettirilememesi endodontik tedavinin başarısızlığına sebep olur (Chugal vd., 2003). Çalışma uzunluğunun normalden uzun olması, taşkın şekillendirme ve taşkın kök kanal dolgusu yapılmasına sebep olabilir. Bu durum periapikal dokulara zarar vererek, iyileşmeyi geciktirebilir ya da tamamen önleyebilir (Sjögren vd., 1990). Çalışma uzunluğunun normalden kısa olması ise yetersiz kök kanal temizliği ve eksik kök kanal dolgusu yapılması sebebiyle ikincil bir enfeksiyon gelişmesine sebep olabilir. Özellikle enfekte vakalarda kanalın apikal 3 mm’lik bölümünün iyi doldurulması büyük önem taşımaktadır. Bu bölgede sıklıkla yer alan yan kanallar, dallanmalar, istmuslar ve kanal düzensizlikleri de tedavi başarısını etkilemektedir (Basmadjian-Charles vd., 2002).

Sement-dentin sınırı; pulpanın sona erdiği ve periodontal ligamentin başladığı anatomik ve histolojik bir bölgedir (Ricucci, 1998). Ancak, sement dentin birleşimi yalnızca histolojik olarak belirlenebilecek bir bölgedir. Bu nedenle apikal daralmanın kanal tedavisi sonlanma noktası olarak daha uygun bir bölge olduğu düşünülmüştür (Gordon ve Chandler, 2004; Ponce ve Fernández, 2003). ‘Apikal daralma’ kök kanal sisteminin en dar bölgesidir.

'Minör apikal foramen' veya 'fizyolojik foramen' olarak da adlandırılır. Yapılan bazı çalışmalarda apikal daralma ile sement-dentin birleşiminin her zaman çakışmadığı bildirilmiştir (ElAyouti vd., 2014; Hassanien vd., 2008). Kök kanal tedavisinde başarıya ulaşmak için, tedavi sırasında kullanılan enstrümanların, irrigasyon solüsyonlarının ve kök kanal dolgusunun apikal daralmayı geçmemesi gerekmektedir (Estrela vd., 2014; Vieyra ve Acosta, 2011). Apikal daralımda 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; Ricucci ve Langeland, 1998; Schilder, 1967).

Çalışma boyunun belirlenmesinde kağıt kon yöntemi, parmak hassasiyeti yöntemi, radyografik yöntem ve elektronik apeks bulucular gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kağıt kondaki nemlilik ve parmak hassasiyeti güvenilir yöntemler değildir (Berman ve Hargreaves, 2015; Kaval ve Dönmez, 2013); yardımcı teknik olarak kabul edilebilirler (Hargreaves ve Cohen, 2010). Radyografik yöntem, çalışma boyunu tespit etmek için klinikte en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Ancak radyografik yöntemin, hasta ve hekimin radyasyona maruz kalması, görüntüde oluşan distorsiyonlar ve süperpozisyonlar gibi dezavantajları vardır (Krishnan ve Sreedharan, 2012). Bu dezavantajların azaltılması ve endodontik tedavinin başarısının artırılması amacıyla elektronik apeks bulucular geliştirilmiştir. Elektronik apeks bulucuların, periapikal radyografilere göre daha hassas sonuçlar verdiğini destekleyen çalışmalar mevcuttur (Aguar vd., 2017; Nekoofar vd., 2006; Segato vd., 2018).

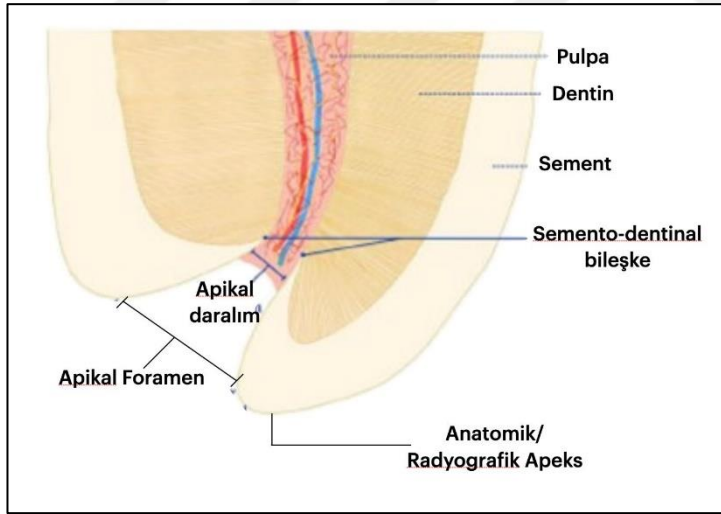
Kök kanallarının çok karmaşık anatomik ve morfolojik yapıda olabilecekleri de göz önünde bulundurulduğunda, endodontik tedavinin başarısında etkili irrigasyon ve kök kanallarının dezenfeksiyonu kilit konu haline gelmektedir (Mohammadi ve Abbott, 2009; Radcliffe vd., 2004). İrrigasyon işleminde genellikle mikroorganizmaların elimine edilmesi ve smear tabakasının ortadan kaldırılması için farklı konsantrasyonlarda sodyum hipoklorit (NaOCl), etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) ve klorheksidin (CHX) çözeltisi uygulanmaktadır (Haapasalo vd., 2014). Ancak, tüm bunlara rağmen inatçı enfeksiyonların tedavisinde tam anlamıyla başarıya ulaşamamıştır.

20. yüzyılın sonlarına doğru ortaya çıkan nanoteknoloji, diş hekimliğine yeni bir perspektif kazandırmıştır. Nanoteknoloji, nanometre ölçeğinde (1 nm ila 100 nm) şekil ve

boyutu kontrol ederek yapıların, cihazların ve sistemlerin tasarımı, karakterizasyonu ve uygulanması olarak tanımlanır (Kesharwani vd., 2018). Endodontide nanopartiküller geniş spektrumlu antibakteriyel etkinlikleri nedeniyle kök kanallarında etkili dezenfeksiyon için araştırılmaktadır. Endodontide çalışılan nanopartiküller arasında kitosan, çinko oksit ve gümüş yer almaktadır (Markan vd., 2017).

1.1. Apikal Foramenin Anatomisi

Çalışma uzunluğunun doğru belirlenebilmesi için apikal bölgenin anatomisi çok iyi bilinmelidir. Kuttler 1955 yılında apikal bölgeyi hem anatomik hem de histolojik bir bakış açısıyla tanımlayarak apikal foramenin anatomisinde farklı alanlar belirlemiştir (Şekil 1.1) (Shirazi vd., 2023). Bu alanlar; anatomik apeks, radyografik apeks, apikal foramen (major foramen), apikal daralım (apikal konstrüksiyon, minör foramen, fizyolojik foramen) ve semento-dentinal bileşke (SDB)'dir.



Şekil 1.1. Apikal foramenin anatomisi (Shirazi vd., 2023)

Anatomik Apeks

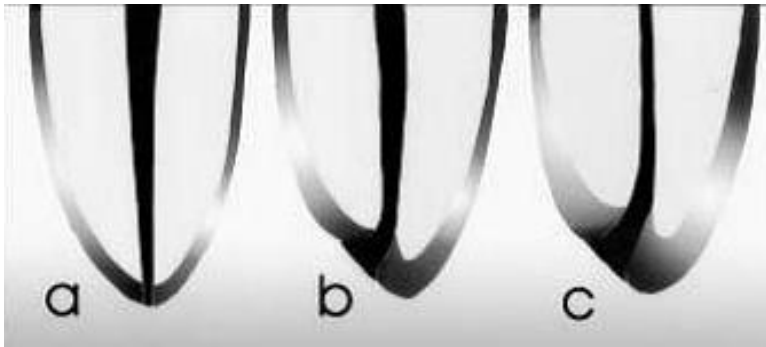
Anatomik apeks kökün morfolojik olarak en uç noktasıdır ve diş kronuna en uzak nokta olarak ifade edilir. Birçok çalışmada apikal foramenin anatomik apeksle her zaman çakışmadığı ve %50-98 oranında apikal foramenin anatomik apeksten 3 mm'ye kadar mesafelerde olabileceği belirtilmiştir (Green, 1956; Kuttler, 1955; Pineda ve Kuttler, 1972).

Radyografik apeks

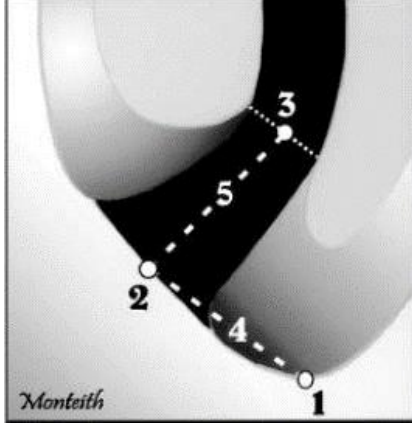
Kökün, radyografik olarak belirlenen dış yüzeyindeki en uzak apikal noktasıdır. Radyografik apeksin, anatomik apeksten farklı olmasının nedeni, kök morfolojisinden kaynaklı ve/veya radyolojik görüntü alınırken X ışını konunun açılmasına bağlı olabilmektedir. Yapılan çalışmalara göre kök kanal dolgusu radyolojik apeksten 0 – 2 mm geride olduğunda en yüksek başarı oranları bildirilmektedir (Kojima vd., 2004; Schaeffer vd., 2005).

Apikal Foramen (Majör Foramen)

Kök kanalının eksternal kök yüzeyindeki çıkış noktasına apikal foramen (majör foramen) denir. Apikal foramenin etrafı sekonder sementle çevrilidir. Fizyolojik ve patolojik değişiklikler sonucu veya yaşa bağlı olarak apikal foramenin konumu farklılık gösterebilmektedir (Şekil 1.2) (Tsesis vd., 2015).



Şekil 1.2. Apikal foramenin konumu a) Apikal Foramenin kökün tam ucunda sonlandığı durum b) Genç bir bireyde apikal foramenin konumu c) Yaşlı bir bireyde sert doku birikimine bağlı olarak değişen apikal foramenin konumu (Nugroho, 2014)



Şekil 1.3. 1) Anatomik apeks 2) Apikal foramen (Majör foramen) 3) Apikal daralım (Minör foramen) 4) Anatomik apeks ve apikal foramen arası mesafe 5) Apikal daralım ve apikal foramen arası mesafe (Gordon ve Chandler, 2004)

Kuttler (1955) yaptığı bir çalışmada anatomik apeks ile apikal foramen arası mesafeyi gençlerde 0,48 mm, yaşlılarda 0,6 mm olarak ölçmüştür (Kuttler, 1955). Green (1956, 1960) ise bu mesafeyi ön dişlerde 0,3 mm, arka dişlerde ise 0,43 mm olarak belirtmiştir (Green, 1960; Green, 1956). Dummer vd. (1984) apikal foramen ile anatomik apeks arası mesafenin, ön dişlerde ortalama 0,36 mm olduğunu bildirmişlerdir (Dummer vd., 1984). Yaşlı ve arka dişlerde anatomik apeks-apikal foramen arası mesafe, genç ve ön dişlere göre daha fazladır (Şekil 1.3) (Gordon ve Chandler, 2004).

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

Apikal daralım, kök kanalının en dar noktası olup en ince çapta kan damarlarının geçtiği bölgedir (Kuttler, 1955; Mancini vd., 2011). Kök kanalının şekillendirilmesinin bu alanda bitirilmesiyle küçük bir yara alanı oluşarak optimal iyileşme koşulları sağlanmaktadır (Ricucci ve Langeland, 1998).

Anatomik çalışmalarda, apikal daralım ile apikal foramen arasındaki mesafe yaklaşık 0,5 –1 mm olarak bildirilmiştir (Dummer vd., 1984; Green, 1960; Kuttler, 1955; Stein vd., 1990).

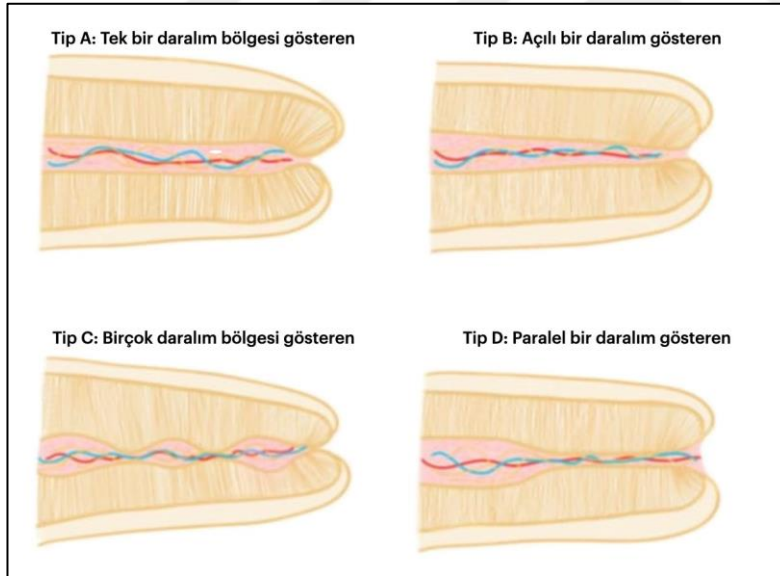
Kök kanalının; sement-dentin sınırından, periodontal ligamente kadar olan huni ya da tersine konik şeklindeki kısmına ‘Black Aralığı’ denir. Black aralığının tabanını majör apikal

foramen, tepesini ise sement-dentin sınırı veya yakınında olduğu düşünölen minör foramen oluşturur (Kuttler, 1955).

Apikal daralım morfolojik olarak değışkenlik gösterir ve tespit edilmesi oldukça zordur. Ayrıca, minör foramen her kanalda bulunmaz veya tespit edilemez. Bazı vakalarda kanal skleroze olur veya apikal daralım inflamatuvar rezorbsiyon dolayısıyla kaybolabilir (Stock, 1994).

Dummer vd. (1984), apikal daralım bölgesini 4 tipte sınıflandırmışlardır (Şekil 1.4):

- 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 1.4. Apikal daralım bölgesinin tipleri (Shirazi vd., 2023).

Yapılan bu çalışmaya göre, B tipindeki apikal daralımlarda taşkın şekillendirme, D tipindeki apikal daralımlarda ise yetersiz şekillendirme ve kısa kanal dolgusu olabileceği öne sürölmüşdür (Dummer vd., 1984).

Sement-dentin birleşimi

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 ‘Sement-dentin birleşimi (SDB)’ denir (Şekil 1.1). Sement-dentin birleşimi histolojik bir bölgedir ve klinik olarak tespit edilemez (Tsesis vd., 2015).

1.2. Çalışma Uzunluğu Tespit Yöntemleri

Çalışma uzunluğunu tespit edilmesi için aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır (Gordon ve Chandler, 2004; Tınaz, 2001):

- Parmak hassasiyeti
- Kâğıt konların nemliliğinin değerlendirilmesi
- Radyografik yöntem ile belirleme

Geleneksel radyografi kullanılarak
Dijital radyografi kullanılarak

- Elektronik apeks bulucular

1.2.1. Parmak Hassasiyeti

Parmak hassasiyeti yönteminin doğruluğu ve güvenilirliği tartışmalıdır. Klinisyen, kanal eğesinin sıkıştığı ve dirençle karşılaştığı noktayı parmak hassasiyetiyle tespit etmeye çalışır. Ancak bu yöntemle tecrübeli hekimler dahi sorun yaşayabilir. Özellikle eğimli köke sahip dişlerde, açık apeksli genç dişlerde, rezorpsiyon bulunan köklerde veya apikal daralmanın dokusal hissini engelleyecek kalsifiye kanalların varlığında yanlış sonuçlara neden olabilmektedir (Siu vd., 2009).

Yapılan bir çalışmada deneyimli klinisyenlerin sadece %60 vakada apikal daralım bölgesini parmak hassasiyeti ile tespit edebildiği bildirilmiştir (Seidberg vd., 1975).

Bir simülasyon çalışmasında kök kanal preparasyonu öncesinde koronal ön genişletme işlemi yapılmasının, kök kanal boyunu belirlemede ve apikal daralım bölgesini hissetmede parmak hassasiyetinin başarısını arttırdığı gösterilmiştir (Chandler ve Bloxham, 1990; Stabholz vd., 1995).

1.2.2. Kâğıt Konların Nemliliğinin Değerlendirilmesi

Kâğıt kon ucunda ekstra bir ıslaklık veya kan olması, apeksten periodontal dokulara geçiş olduğunun bir göstergesi olabilir. Özellikle çok geniş foramen veya kök rezorpsiyonlarının varlığında, elektronik apeks bulucu ve radyografinin yetersiz kaldığı durumlarda bu yönteme başvurulabilir. Tek başına güvenilir bir yöntem değildir, yardımcı bir yöntem olarak kabul edilir (Marcos-Arenal vd., 2009).

Kâğıt kon fibrillerinin periapikal bölgede kopması, iyileşmeyen periapikal lezyonlara sebep olabilir. Bu nedenle dikkatli kullanılmalıdır (Nair vd., 1990).

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

- a) **Geleneksel yöntem:** Kâğıt kon, apikal daralımdan çıkacak şekilde yavaşça ilerletilir. Kâğıt konun ucunda ıslaklık oluşup oluşmamasına göre çalışma boyu belirlenir (Gutmann ve Lovdahl, 2010).
- b) **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, 2003).
- c) **Hibrit yöntem:** Kâğıt kon ile apikal foramen den 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 vd., 2009).

1.2.3. Radyografik yöntem

Radyografik yöntem çalışma boyunun belirlenmesinde uzun yıllardır sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Endodontide çalışma boyunun doğru tespit edilmesi, kök kanal tedavisinde başarıya giden yolda anahtar role sahiptir. Radyografi, diş hekimliğinde teşhis, tedavi ve tedavi sonrası kontrollerde klinisyene yol göstericidir.

Kök kanal sisteminin direk gözlelenebilmesi, kanal ve kurvatürlerin belirlenmesi, kök kanallarında bulunan kalsifikasyon, rezorpsiyon, pulpa taşı gibi yapısal özelliklerin belirlenmesi, bir hastalık bulunup bulunmadığının tespit edilmesi ve tedavi öncesinde tahmini bir çalışma boyu vermesi gibi avantajları mevcuttur (Ravanshad vd., 2010). Ancak apikal foramen kökün bukkalinde ya da lingualinde yer alıyorsa, radyografi iki boyutlu bir görüntü sağladığı için çalışma boyunu belirlemede yetersiz kalacaktır (Schaeffer vd., 2005). Sadece radyografik yöntemin kullanılması, apikal anatominin gösterdiği farklılıklardan dolayı taşkın veya kısa kanal dolgularına sebep olabilir (Dummer vd., 1984; Green, 1956; Vieyra ve Acosta, 2011).

Radyografik apeksin konumu dişin açıldırılması, 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 görüntü üzerine süperpoze olması teşhisi zorlaştırmaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışmada, zigomatik arkın süperpoze olması sonucu üst birinci molar dişlerin %80'inin apikalinin belirlenemediği, ikinci molarlarda ise %58'inin apikalinin belirlenemediği bulunmuştur (Tamse vd., 1980).

X ışınlarının geliş açısı arttıkça, ışınların aşması gereken dokunun kemik miktarı da artacağından dolayı görüntü kalitesi azalır. Buna bağlı olarak paralel tekniğin açıortay tekniğinden üstün olduğu bildirilmiştir (Garg ve Garg, 2010).

Endodontide radyografiler yorumlanmadan önce “SLOB (Same Lingual Opposite Buccal) kuralının” bilinmesi oldukça önemlidir. Bu kurala göre, X-ışını tüpü dikey veya yatay olarak hareket ettirildiğinde, bukkal taraftaki nesne, lingual taraftaki nesneye kıyasla radyografinin karşı tarafına hareket eder.

Geleneksel Radyografi

Geleneksel periapikal filmler kullanılır. Geleneksel radyografilerle kanal boyu tespitinde iki yöntem vardır:

a) Orantı yöntemi: Kanala eğe yerleştirilerek radyografi alınır. Hemen ardından hem radyografideki görüntünün boyu hem de kanal eğesi ölçülerek ikisi arasında bir oran orantı denklemi oluşturulur ve kanal çalışma boyu hesaplanır (Raghu vd., 2014).

b) Ingle Yöntemi: Teşhis radyografisindeki diş boyu ölçülür. Bu ölçümden 2-3 mm kısa boyda bir kanal eğesi kanala yerleştirilerek tekrar radyografi alınır. Radyografideki kanal aleti ile diş apeksi arasındaki mesafe ölçülür ve 0,5 mm eksiği çalışma boyu olarak hesaplanır (Ingle ve Taintor, 1965).

Çalışma uzunluğu hesaplamasında radyografi açılarında oluşabilecek varyasyonlar nedeniyle ve eğimli kanallarda hatalı ölçümler elde edilebilmektedir (Raghu vd., 2014).

Filmlerin banyo işlemlerinin zaman alması, banyo esnasında oluşabilecek hatalar, hekimin ve hastanın fazla radyasyona maruz kalması, geleneksel radyografik yöntemin dezavantajlarından biridir (Çalışkan, 2006). Bu sebeple artık geleneksel radyografiler yerini dijital radyografilere bırakmaktadır.

Dijital Radyografi

Dijital radyografinin, görüntünün manipülasyonu, işlenmesi, arşivlenip hastaya tekrar sunulması, yuvarlak kolimasyonlu hızlı filmlerle düşük doz radyasyon sunması, elektronik ortamda radyografinin iletimi ve hızlı görüntü oluşumu gibi birçok avantajı bulunmaktadır (Naoum vd., 2003; Wenzel ve Gröndahl, 1995).

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

Radyovizyografide ağız içine yerleştirilen sensörlerle röntgen dijital olarak çekilir ve görüntü saniyeler içerisinde bilgisayar ekranına yansıtılır. Görüntünün kaydedilip saklanabilmesi, görüntü kontrastı ve büyüklüğünün ayarlanabilmesi, ölçüm yapabilen cetvel fonksiyonunun bulunması, netliğin bir dereceye kadar artırılabilmesi gibi özelliklerinin yanısıra, azaltılmış radyasyon dozu ve zaman tasarrufu sağlaması sebebiyle geleneksel radyografiye kıyasla avantajlı görülmektedir (Goaz, 1994; Leddy vd., 1994).

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).

Geleneksel radyografi ile dijital radyografinin kıyaslandığı, çalışma boyu belirleme konusunda yapılan pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların sonucunda, yapılan ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farka rastlanmadığı belirtilmiştir (Lamus vd., 2001; Lozano vd., 2002; Montes ve Gencoglu, 2002).

1.2.4. Elektronik Apeks Bulucular

Elektronik apeks bulucular, apikal daralımın yerini tespit edip çalışma boyunu belirlemek için, geleneksel yöntemlere alternatif olarak geliştirilmiş cihazlardır (Khadse vd., 2017).

Elektronik apeks bulucular, radyografik yöntemdeki teknik sorunları, radyasyonun zararlı etkilerini, radyografiler ile elde edilen iki boyutlu görüntünün getirdiği sınırlamaları ekarte etmesi nedeniyle günümüzde sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. 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 vd., 2017).

Esasında tüm elektronik apeks bulucular, bir elektrik devresini tamamlamak için insan vücudunu kullanarak çalışmaktadır. Kök kanal sistemini çevreleyen dentin ve sement, elektrik akımının yalıtımını sağlar. Apeks bulucunun devresinin bir tarafı endodontik alete bağlanırken diğer tarafı hastanın ağız mukozası ile temas ettirilir. Kanal aleti periodonsiyuma temas ettiğinde devre tamamlanır ve ölçüm yapılır.

İlk kez 1918'de Custer tarafından kök kanal çalışma boyu tespitinde elektrik akımından faydalanılabileceği fikri ortaya konmuştur. Custer (1918), apeksi çevreleyen dokuların elektrik iletkenliğinin, kanal içi iletkenliğinden daha fazla olduğu gerçeğine dayanarak, elektrik iletimi yoluyla kök kanal boyunun belirlenebileceğini bildirmiştir. 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 (Custer, 1918; Gutmann, 2016).

Suzuki 1942 yılında, köpek dişleri üzerinde elektriksel yöntemle ilgili deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada kanal içerisine yerleştirilen kanal aleti ile oral mukozaya yerleştirilen bir elektrot arasında elektriksel olarak 6,5 k Ω 'luk bir direncin varlığını keşfetmiştir. Aynı zamanda bu direncin ağız içinde her yerde sabit olduğunu tespit etmiştir (Suzuki, 1942).

Sunada 1962 yılında, daha önce yapılan çalışmalar ışığında, doğru akım kullanarak kanal boyunu ölçen basit bir cihaz tasarlamıştır. Hastanın yaşına ve diş tipine bağlı olmaksızın, periodontal ligament ve oral mukoza arasındaki elektrik direncinin sabit bir değere sahip olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda eğer apikalden çıktığı anda oral mukoza ile apikal dokular arasındaki 6,5 k Ω 'luk direncin oluşumu ile apeksin belirlenebileceğini; eğenin, perforasyon varlığında perfore alandan periodontal membrana ulaştığındaki elektriksel direncin de, eğenin apekse ulaştığı zamanki değere eşit olduğunu iddia etmiştir (Sunada, 1962).

Rezistans (direnç) ölçme fikri zamanla yerini elektriksel olarak empedans ölçme fikrine bırakmıştır. Çok kısa bir süre sonra da gelişen teknolojiyle birlikte frekans tip ve orantı tip elektronik apeks bulucular piyasaya sürülmüştür (Gordon ve Chandler, 2004).

1.2.4.1. Elektronik Apeks Bulucuların Sınıflandırılması

1.2.4.1.1. Birinci Nesil Apeks Bulucular (Rezistans Tip)

Birinci nesil elektronik apeks bulucular çalışma prensibi dikkate alınarak rezistans tip olarak adlandırılır. Rezistans (direnç), elektrik akımının ilerlediği sırada elektronların enerjilerinin bir kısmını kaybederek hareketin kısıtlanmasıdır.

1969 yılında Root Canal Meter (Onuki Medical Co., Tokyo, Japonya) geliştirilmiştir (Şekil 1.5) (Budak, 2017). Rezistans tip apeks bulucular, periodontal ligamentle oral mukoza arasında mevcut olan 6,5 k Ω 'luk elektriksel direnci, hastanın dudağına yerleştirilen negatif uç ile kök kanalındaki pozitif uç olan kanal aleti arasında ölçmektedir. Kanal aleti kanalda ilerletilir ve periapikal alana ulaştığı anda devre tamamlanır.

Pek çok çalışmada aşırı kanama, cerahat ya da pulpa dokusu varlığında rezistans tip apeks bulucuların yanlış sonuçlar verebildikleri; bu nedenle cihazın doğru çalışması için kanalın kuru olması gerektiği bildirilmiştir (Pommer vd., 2002; Suchde ve Talim, 1977; Tınaz vd., 2002). Kanal içindeki kanal aleti periodontal ligamente temas etmekte olan sıvıya dokununca devre tamamlandığı için kanal boyundan daha kısa ölçümler elde edilmektedir (Tınaz, 2001).



Şekil 1.5. Tanıtılan ilk 1. Nesil Elektronik Apeks Bulucu (Root Canal Meter)

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).

Rezistans tip cihazların temel prensibi doğru akım olduğu için kalp pili taşıyan hastalarda kullanımı ciddi problemlere sebep olabilir. Ayrıca, 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 Electromedicine, Denmark), Endo Radar (Electronica Liarre, Italy) birinci nesil apeks buluculara örnektir.

1.2.4.1.2. İkinci Nesil Apeks Bulucular (Empedans Tip)

İkinci nesil apeks bulucuların çalışma prensibi dişin apikal bölgesinde, koronal bölgeye göre giderek artan bir elektriksel empedans sergilemesine dayanmaktadır. Kök kanal duvarında, dentin dokusundan sement dokusuna geçiş sırasında veya kanalın en dar yeri olan apikal daralımdan geçerken empedans değerinde ani bir düşüş görülür. Bu empedans değerinin ani düşüş gösterdiği nokta belirlenerek çalışma boyu tespit edilir (Tınaz, 2001).

Empedans tip cihazlarda diğer apeks buluculardan farklı olarak dudak klipsi yerine elde tutulan bir parça vardır. Bu sayede hem enfeksiyon kontrolü sağlanır hem de dudak klipsi kullanılırken tam temas etmemesinden kaynaklanan problemler de ortadan kaldırılmış olur. İkinci neslin diğer bir farkı ise, ege yerine kanal içerisine yerleştirilen bir probun bulunmasıdır. Bu prob sadece uç kısmı açık kalacak şekilde plastik kaplamayla izole edilmiştir (Nekoofar vd., 2006; Tınaz, 2001). Böylelikle kanalın tamamen kuru olma zorunluluğu da ortadan kalkmıştır. Fakat probun kalın oluşu sebebiyle dar kanallarda ölçüm yapılamamaktadır.

Inoue tarafından 1971'de, her dişin periodontal cebinde kalibre edilen Sono-Explorer (Hayashi Dental Supply, Tokyo, Japonya) geliştirilmiştir (şekil 1.6) (Inoue, 1972). Bu cihaz kullanıcıcıyı dūřuk frekanslı bir sesle uyaran ve alternatif akımla çalışan bir elektronik apeks bulucudur. Bu cihazın temel çalışma prensibi diř eti oluğu ve periodontal ligament arasındaki frekansın aynı değer olduğu varsayımına dayanmaktadır (Kim ve Lee, 2004).



şekil 1.6. 1971 yılında Inoue tarafından kullanıma sunulan Sono-Explorer

Hasegawa vd. (1979) Endocater (Yamamura Seishokusku, Tokyo, Japonya) adlı cihazı geliştirmiştir. Bu cihazlar yūřek frekansta (400 kHz) elektrik akımı kullandığı için hastalarda ağrı benzeri rahatsızlık hissi uyandırır. Ayrıca her kullanım öncesi kalibrasyon gerektirmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır (Christie vd., 1993). Kanalda elektro-iletken solūsyonların varlığı yanlış ölçümlere neden olmaktadır (Garg ve Garg, 2010).

İkinci nesil elektronik apeks buluculara Endocater (Yamamura Seishokusku, Tokio, Japan), Apex Finder (Analytic Tecnology, Redmond, WA), Digipex I II III (Mada Equipment Co, Carlstadt, NJ, ABD), Endo Analyser (Analytic / Endo, Orange, CA, ABD), Formation IV (Parkell Dental, Parmigdale, NY, USA) rnek olarak verilebilir.

1.2.4.1.3. Üçüncü Nesil Apeks Bulucular (Frekans Tip)

Frekans tip apeks bulucular olarak da adlandırılırlar. Frekans, 1 saniyede belli bir noktadan geçen dalgaların sayısıdır. Kanaldaki empedansı ölçmek için aynı anda iki farklı frekans kullanılırlar. Bu apeks bulucuların empedans farkına göre ve empedans oranına göre çalışan 2 tipi mevcuttur (Kobayashi vd., 1997; Saito ve Yamashita, 1990).

Piyasaya sürülen ilk üçüncü nesil apeks bulucu Apit/Endex'tir (Osada Electric Co, Tokyo, Japonya) (Frank ve Torabinejad, 1993). Apit/Endex'i eski nesil apeks buluculardan ayıran en büyük özellik iki farklı frekans kullanarak apikal daralmayı belirlemesidir. Ayrıca, kanal içi sıvıların varlığında tutarlı sonuçlar vermiştir. Dezavantajı her kullanım öncesi kalibrasyon gerektirmesidir (Pratten ve McDonald, 1996).

1991 yılında Kobayashi vd., kanal içi koşullardan etkilenmeyen ve otomatik kalibrasyon sağlayan ilk modern elektronik apeks bulucu olan Root ZX'i (J. Morita, Tokyo, Japonya) piyasaya sürmüştür (Kobayashi vd., 1991) (Şekil 1.7). Bu cihaz 0,4 ve 8 kHz' lik frekanslarda empedans değerlerini ölçerek birbirlerine oranlar ve apikal daralım bölgesini tespit eder. Güçlü mikro işlemcilerle sahiptir. Matematiksel oranlama ve algoritma hesabı yapabilmesi sebebiyle daha doğru sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Gordon ve Chandler, 2004; Lucena-Martin vd., 2004). Bolbolian vd. (2018), kanal içinde NaOCl ve CHX varlığında Root ZX'in doğruluğunu değerlendirdikleri çalışmada Root ZX'in %96,7 oranında doğru sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir (Bolbolian vd., 2018). Dunlap vd.(1998), Root ZX ile vital ve devital/ nekroze pulpalı dişlerde yaptıkları ölçümlerde başarı oranını %82,3 olarak bildirmişlerdir (Dunlap vd., 1998). Root ZX, kanal içi elektro-iletken sıvıların varlığında tutarlı ölçümler vermesi sebebiyle dikkatleri üzerine çekmiştir. Geçmişten günümüze pek çok çalışmada yüksek doğruluk oranları vermesi dolayısıyla, elektronik apeks bulucu cihazların karşılaştırıldığı çalışmalarda Root ZX altın standart olarak kabul edilmiştir (Gordon ve Chandler, 2004).



Şekil 1.7. Root ZX (J. Morita, Kyoto, Japan)

Üçüncü nesil (frekans tip) elektronik apeks bulucularda kullanılan prob kanalda koronalden apikale doğru ilerletildikçe empedanstaki fark artar ve sement-dentin bileşkesinde en yüksek değerine ulaşır (Garg ve Garg, 2010). Cihaz bu değeri çalışma boyu olarak verir. 2 μ A gibi çok küçük voltajda çalıştığı için hastada bir rahatsızlık meydana getirmez. En büyük avantajı ise, doku artıkları ve NaOCl gibi elektro-iletken özelliği olan sıvıların varlığında bile tutarlı ölçümler vermesidir (Gordon ve Chandler, 2004; Tınaz, 2001).

Üçüncü nesil apeks buluculara örnek olarak şu cihazlar gösterilebilir (Khadse vd., 2017): Root ZX (J. Morita Japan), Endex/Apit (Osada, Japan), Apex Finder AFA Model 7005 (EIE Analytic Endodontics, USA), Neosono-D (Amadent Medical and Dental, Co, USA) Justy II (Yoshida Co., Tokyo, Japonya).

1.2.4.1.4. Dördüncü Nesil Apeks Bulucular (Orantı Tip)

Empedans ölçümünü, iki veya daha çok frekansı farklı zamanlarda kullanarak yaparlar (Welk vd., 2003). Dördüncü nesil apeks bulucuların kuru veya kuruya yakın kanallarda daha doğru sonuç verdiği; nem, kan, eksuda veya elektrolitlerin varlığında ise hatalı ölçümler yapabildiği bildirilmiştir (Gordon ve Chandler, 2004; Vera ve Gutierrez, 2008).

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 (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Switzerland), Bingo 1020 (Forum Engineering Technologies, Rishon Lezion, Israel), Ray-Pex 4 (VDW, Munich, Germany) dördüncü nesil apeks buluculara örnektir.

1999 yılında; 0,4 kHz ve 8 kHz olmak üzere iki farklı frekans kullanan, fakat her seferinde yalnızca tek bir frekanstan gelen sinyali değerlendiren, Bingo 1020 (Forum Engineering Technologies, Rishon Lezion, Israel) adı verilen elektronik apeks bulucu piyasaya tanıtılmıştır (Nekoofar vd., 2006). Bingo 1020, in vitro bir çalışmada Root ZX kadar başarılı bulunmuştur (Kaufman vd., 2002; Tinaz vd., 2002). Daha sonradan bu cihaz geliştirilerek Dentsply tarafından Ray-Pex 4 (VDW, Munich, Germany) olarak piyasaya sürülmüştür (Gordon ve Chandler, 2004).

2003 yılında Elements Diagnostic Unit and Apex Locator (Sybron Endo, Sybron Dental, Anaheim, CA, USA) piyasaya tanıtılmıştır (Şekil 1.8). Bu cihaz matematiksel algoritma ile empedans ölçümü yapmaz. Bunun yerine, ayrı ayrı rezistans ve kapasitansı ölçerek iki farklı frekansta (0,5 ve 4 kHz) gelen sinyali, bileşik bir sinyale çevirir ve kendi arama tablosundaki değerlerle karşılaştırarak eğin kanal içindeki konumunu tespit eder (Serota vd., 2004).



Şekil 1.8. Elements Diagnostic Unit and Apex Locator (Sybron Endo, Sybron Dental, Anaheim, CA, USA)

Endo Analyzer 8005 (Analytic Endodontics, Sybron Dental, Orange, CA, ABD) ve AFA Apex Finder (Analytic Endodontics, Sybron Dental, Orange, CA, ABD) diğer dördüncü nesillerden farklı olarak 5 farklı frekansta elektrik akımı kullanmaktadır (Kaval ve Dönmez, 2013).

ProPex, ikiden çok frekans kullanarak çalışma uzunluğunu tespit eder. En önemli özelliği, hesaplamayı sinyalin enerjisini kullanarak yapmasıdır. Diğer multifrekanslı elektronik apeks bulucular ise hesaplamayı sinyalin amplitüdünü kullanarak yaparlar. Üretici firma, enerji kullanarak yapılan ölçümün daha doğru olduğunu iddia etmektedir (Plotino vd., 2006).



Şekil 1.9. Root ZX II (J Morita, Tokyo, Japonya)

1.2.4.1.5. Beşinci Nesil Apeks Bulucular (Multifrekans Tip)

Bu cihazların çalışma prensibi çoklu frekans kullanımına dayanmaktadır. Elektrik devresinin kapasitans (elektrik enerjisini depolayabilme özelliği) ve rezistansını ayrı ayrı ölçerler. Dördüncü nesil apeks bulucuların aksine kanaldaki sıvılardan etkilenmezler ancak kuru kanallarda yanlış ölçümler verebilirler (Dimitrov ve Roshkev, 2009).

Root ZX mini (J Morita, Tokyo, Japan), Propex Pixi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), 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) beşinci nesil elektronik apeks buluculara örnektir.

1.2.4.1.6. Altıncı Nesil Apeks Bulucular (Adaptif tip)

Altıncı nesil apeks bulucular adaptif özelliğe sahiptirler. Dördüncü ve beşinci nesil apeks bulucuların dezavantajları ortadan kaldırılmıştır. Hem kuru kanallarda hem de nem, eksuda, kan varlığında doğru ölçümler verebilmektedirler (Dimitrov ve Roshkev, 2009). Kanalin nemini sürekli olarak tanımlarlar, kuru veya ıslak kanala anında uyum sağlarlar (Kalhan vd., 2010).

Gelişmiş teknoloji sayesinde, altıncı nesil adaptif apeks bulucular, küçük boyutlu cihazlardır. Ayrıca bu cihazlar renkli multimedya ekranlarında grafiksel bilgiler sunmaktadırlar (Dimitrov ve Roshkev, 2009).

Raypex 6 (VDW, Munich, Almanya) ve Apex ID (SybronEndo, Glendora, CA) altıncı nesil apeks buluculara örnektir. Raypex 6, kalibrasyon gerektirmeyen multifrekans bir cihazdır. Taşınabilir bir mikroçip ile kontrolü sağlanır (Soi vd., 2013).

1.2.4.2. Elektronik Apeks Bulucuların Avantaj ve Dezavantajları

1.2.4.2.1. Elektronik Apeks Bulucuların Avantajları

- Çalışma boyunun tespit edilmesi daha hızlı ve kolaydır.
- İhtiyaç duyulan film sayısı azalarak maruz kalınan radyasyon dozu düşmektedir.
- Bulantı refleksi olan hastalarda kullanımı avantaj sağlar.
- Radyasyona duyarlı ve hamile bireylerde güvenle kullanılabilir.
- Radyografi alınması güç mental retarde hastalarda, fiziksel engelli hastalarda, çocuk hastalarda, sedasyon almış hastalarda kullanımı yararlıdır.
- Radyografik filmlerde anatomik farklılıklar (aşırı kemik yoğunluğu, üst üste gelmiş kökler, zigomatik ark, tuber maksilla, çapraşık dişler) ve üst üste binen görüntüler varsa elektronik apeks bulucu kullanılması avantajlıdır.
- Yeni nesil elektronik apeks bulucuların doğruluk oranları oldukça yüksektir.
- Tedaviler daha hızlı tamamlanır (Kim ve Lee, 2004).

Kök perforasyonları ve fraktürlerin tespitinde de elektronik apeks bulucuların başarıyla kullanılabileceğini bildiren çok sayıda çalışma vardır (Aggarwal vd., 2010; Alves vd., 2005; Goldberg vd., 2008; Topuz vd., 2008). Yapılan bir çalışmada Justy II kullanılarak yapay horizontal ve vertikal kırıkların varlığının tespiti araştırılmıştır (Azabal vd., 2004). Horizontal kırıkların apeks bulucu ile tespit edilebildiğini, fakat vertikal kırıkların tespitinde başarısız olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışma boyunun belirlenmesinde radyografik yöntem ve elektronik apeks bulucuların karşılaştırıldığı bazı çalışmalarda, elektronik apeks bulucuların radyografik yöntemle göre daha doğru sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Cianconi vd., 2010; Pratten ve McDonald, 1996).

1.2.4.2.2. Elektronik Apeks Bulucuların Dezavantajları

Her bir nesil apeks bulucunun kendi içinde avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte, genel olarak apeks bulucuların kısıtlamaları şu şekilde özetlenebilir:

- Metal restorasyonlar ile temas ettiğinde akım oluşturabilir, çalışma boyu hatalı tespit edilebilir veya tutarsız değerler oluşabilir.
- Elektrodun tükürükle teması, irrigasyonun ardından kavitenin kurutulmaması gibi nedenler elektronik apeks bulucularda yanlış pozitif cevaplara neden olabilir.
- Rezorbe olmuş veya immatür apeksli dişlerde apeks bulucular çoğunlukla devre tamamlanmadan apekse ulaşmadan yanlış pozitif cevap vermektedir ve bu da kısa ölçümlere neden olabilir.
- Diğer yöntemlere göre daha pahalıdır (Custer, 1918; Suzuki, 1942).

1.2.4.3. Elektronik Apeks Bulucuların Doğruluğunu Etkileyen Faktörler

1.2.4.3.1. Pulpa Vitalitesi

Çalışmaların çoğu vital pulpanın, kök kanal tedavisi esnasında elektronik apeks bulucuların doğruluğu üzerinde etkisi olmadığını gösterse de, bu konuda hala bazı fikir ayrılıkları mevcuttur (Dunlap vd., 1998; Hoer ve Attin, 2004).

Elements Diagnostic Unit ve Apex Locator kullanılarak vital ve nekrotik pulpalı dişlerin çalışma boyunun belirlendiği bir in vivo çalışmada, her iki durumda da anlamlı bir fark bulunmamıştır (Akisue vd., 2007). Yapılan bir diğer çalışmada vital ve devital dişlerde Root ZX ile ölçülen kanal boylarının doğruluklarını karşılaştırmışlar ve bulgular arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulamamışlardır (Dunlap vd., 1998). NovApex ile yapılan bir çalışmada da vital ve devital kanallarda yapılan ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Renner vd., 2012).

Vital ve nekrotik pulpalı dişler arasındaki elektronik uzunluk ölçümlerindeki farkları incelemek için çeşitli ilgili çalışmaların analiz edildiği sistematik bir derlemede, değerlendirilen elektronik apeks belirleyicilerin herhangi biri için her iki durumda da anlamlı bir farka rastlanılmadığı sonucuna varılmıştır (Tsesis vd., 2015).

Vital ve nekrotik pulpalı dişlerle ilişkili olarak 4 farklı elektronik apeks bulucuyu karşılaştıran bir çalışmada Justy II ve Endox için anlamlı bir fark bulunamadı ancak Root ZX ve Endy için anlamlı fark bulunmuştur (Haffner vd., 2005).

Apex Finder AFA Model 7005 ile yapılan ölçümlerin pulpanın canlılığından 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 vd., 2002). Buna benzer olarak, yapılan bir çalışmada da apeks bulucu ile apikal daralım belirlerken vital dişlerde devital dişlere göre daha doğru sonuçlar elde edilebileceği bildirilmiştir (Manhas vd., 2020).

Periapikal radyölüsenziye sahip nekrotik pulpalı 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 vd., 2020).

1.2.4.3.2. Apikal Kök Rezorpsiyonu

Süt dişlerinde sıklıkla fizyolojik olarak ya da daimi ve süt dişlerinde patolojik olarak apikal kök rezorpsiyonlarıyla karşılaşılabilir. Kökü çevreleyen periodontal dokuların

ve apikal daralımın yıkıma uğradığı inflamatuvar kök rezorpsiyonu olgularında, elektronik apeks bulucuların kullanımı tartışmalı bir konudur (Mente vd., 2002).

Odabas vd. (2011)'ın süt dişlerinde Root ZX kullanarak yaptıkları bir çalışmada, rezorpsiyonun olmadığı kök kanalları için Root ZX'in doğruluğu $\pm 0,5$ ve ± 1 mm dahilinde sırasıyla %79,16 ve %95,82 idi. Rezorpsiyonlu kök kanalları için Root ZX'in doğruluğu $\pm 0,5$ ve ± 1 mm dahilinde sırasıyla %63,63 ve %86,35 idi. Rezorpsiyon olup olmadığına bakılmaksızın, elektronik olarak belirlenen uzunluklar ile gerçek uzunluklar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmedi (Enes Odabaş vd., 2011).

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 değiştiyse veya yok olduysa çalışma boyu belirlemek zor olmaktadır. İnflamatuvar kök rezorpsiyonu bulunan nekrotik dişlerde apikal konstrüksiyon kaybolabilir veya yeri değişebilir bunun sonucunda da hatalı ölçümler elde edilebilir (Kim ve Lee, 2004).

1.2.4.3.3. Elektrik İleten Solüsyonlar

Üretilen eski nesil elektronik apeks bulucular irrigasyon solüsyonu, eksuda, kan gibi kanal içi sıvılardan etkilenecek yanlış sonuçlar vermiştir (McDonald ve Hovland, 1990). Üreticiler; yeni nesil elektronik apeks bulucuların, çalışma boyunun tespitinde iki ya da daha fazla frekansta akım kullanarak daha doğru ölçümler yapabildiğini ve bu sıvılardan etkilendiğini savunmaktadır (Jenkins vd., 2001). Ancak halen kan, anestezi solüsyon, NaOCl gibi iletkenlik özelliği yüksek sıvıların, elektronik apeks bulucuların doğruluğunu etkileyip etkilemediğine dair bazı şüpheler bulunmaktadır.

İn vitro ortamda %5,25 NaOCl, RC Prep, EDTA ve %3 H₂O₂ irrigasyon solüsyonlarının Root ZX'in ölçüm doğruluğu üzerine etkisi olup olmadığı konusunda yapılan bir çalışmada; irrigasyon solüsyonlarının ölçüm doğruluğu üzerine bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır (Jenkins vd., 2001). Kök kanallarında farklı irrigasyon solüsyonları (%2,5 NaOCl, %2 CHX, %17 EDTA) varlığında Raypex 5'in doğruluğunun araştırıldığı bir çalışmada ise anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir (Gomes vd., 2012). 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 ölçümlemlerini etkilemediği belirtilmiştir (Çınar ve Üstün, 2020). Bir başka çalışmada değişik konsantrasyonlardaki (%5,25, %2,65, %1 ve %0,5) NaOCl'in Root ZX'in ölçüm hassasiyetini etkilemediği bildirilmiştir (Tınaz vd., 2002).

Yapılan in vivo bir çalışmada CHX, salin solüsyonu ve NaOCl bulunan kanallarda Propex apeks bulucunun doğruluğu değerlendirilmiştir. En doğru sonuçlar CHX grubundan alınırken, en hatalı sonuçlar salin grubundan alınmıştır (Özsezer vd., 2007). 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 apeks bulucuda en yüksek doğruluk oranı kuru kanallarda gözlenmiştir. Dentaport ZX grubundaki irrigasyon solüsyonları arasında en doğru sonucu EDTA , en az doğru sonucu ise NaOCl solüsyonunun verdiği belirtilmiştir. Rotor grubunda ise salin solüsyonunda elde edilen ölçümlerin EDTA'ya ait ölçümlere göre daha doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Altunbaş vd., 2017).

1.2.4.3.4. Kanal İçi Medikamanlar

Yapılan pek çok çalışma sonucunda Ca(OH)₂'in kök kanal sisteminden tam olarak uzaklaştırılamadığı görülmüştür (Rödig vd., 2010; Sağsen vd., 2012). Bu konuda yapılan bir çalışmada, kanalda rezidüel Ca(OH)₂ varlığında Mini Root ZX'in doğruluğu değerlendirilmiş ve çalışma sonucunda Ca(OH)₂'in elektronik apeks bulucunun doğruluğunu olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır (Ustun vd., 2015). Başka bir çalışmada ise farklı uzaklaştırma teknikleri kullanılarak Ca(OH)₂ uzaklaştırılmaya çalışılmış, ancak hiçbir teknikle tamamen ortadan kaldırılamadığı rapor edilmiştir ve rezidüel Ca(OH)₂'in elektronik kanal boyu ölçümünde (Root ZX) olumsuz etki yaptığını bildirmişlerdir (Uzunoglu vd., 2015).

1.2.4.3.5. Apikal Foramen ve Ölçümde Kullanılan Kanal Aletinin Çapı

Eğenin çapının ya da apikal foramenin çapının elektronik apeks bulucuların ölçüm doğruluğu üzerine etkisi konusundaki genel görüş, cihazların doğruluğunu etkilemediği yönündeydi (Kim ve Lee, 2004; Nguyen vd., 1996). Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda

kanal boyu tespitinde kullanılan eğenin çapının elektronik apeks bulucunun ölçüm doğruluğunu etkilediği bildirilmiştir (Ebrahim vd., 2007; Herrera vd., 2007).

Anatomik özellikler, kök rezorpsiyonları, taşkın preparasyon ve apikal gelişimi tamamlanmamış kök formasyonu sonucunda apikal foramen genişleyebilir ve bu durum kök kanal tedavisi sırasında çalışma boyu belirlenirken elektronik apeks bulucunun doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilir (Akisue vd., 2014).

Geniş apikal çaplara sahip dişlerde, apikal çapa uygun olmayan küçük eğelerin kullanılması nedeniyle ölçüm esnasında aşırı elektrik akımı oluştuğundan hatalı çalışma boyu ölçümleri elde edilebilir (Ebrahim vd., 2007). Kanalin apikal çapına uygun eğe seçiminin ölçümlerde doğruluğu arttırdığı gösterilmiştir (Renner vd., 2012).

Bazı çalışmalar kanal çapından küçük eğelerin kullanılmasını önerirken (Briseño-Marroquín vd., 2008; Sadeghi ve Abolghasemi, 2008); bazı çalışmalar ise ölçümde apikal daralıma kadar ilerleyebilen en küçük eğenin kullanılması ile daha doğru sonuçlar elde edildiğini belirtmiştir (Ebrahim vd., 2006).

Çalışma uzunluğunun belirlenmesinde, Propex pixi apeks bulucu kullanılarak, apikal foramen çapının ve eğe boyutunun etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada; 0,6 mm'lik apikal çapı olan dişlerde eğe boyutu ne olursa olsun gerçek çalışma boyuna yakın sonuçlar elde edildiği, ancak artan çapla birlikte elektronik apeks bulucu doğruluğunda azalma olduğu bildirilmiştir (Kolanu vd., 2014).

1.2.4.3.6. 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 vd., 2016).

Perforasyon özellikle bukko-lingual alanda ise, perforasyon bölgesini lokalize etme konusunda genellikle radyografiler yetersiz kalır (Fuss vd., 1996). Birçok araştırmacı; kök

perforasyonlarının ve lateral kanalların, apeks bulucular ile tespit edilebileceğini ifade etmektedirler (Nahmias vd., 1983).

Temel çalışma prensibi göz önüne alındığında; elektronik apeks bulucuların kök perforasyonlarını, horizontal ya da vertikal kök kırıklarını saptaması 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 vd., 2004).

Yapay kök rezorpsiyonu oluşturulan dişlerde IPex, Root ZX ve Raypex 6'nın etkinliklerinin değerlendirildiği bir çalışmada; Root ZX ve Raypex 6'nın, IPex'e oranla daha doğru sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Jadhav vd., 2018).

1.2.4.3.7. Kök Kanal Dolgusunun Yenilenmesi Esnasında Kullanımı

Kök kanal tedavisinde çalışma boyunun doğru tespit edilmesi endodontik tedavinin başarısı açısından oldukça önem arz etmektedir. Kök kanal tedavilerinde 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 tıkamayı sağlamaktır. Kök kanal tedavisi başarısızlığı durumunda ortograd olarak yapılan cerrahi olmayan yeniden tedavi ilk tercih olmalıdır (Gorni ve Gagliani, 2004).

Yeniden kök kanal tedavisi işlemi sırasında, TCM Endo V ve Tri Auto ZX elektronik apeks bulucular ile birleştirilmiş endodontik motorların kök kanal uzunluğu belirlemedeki doğruluğunun ex vivo olarak değerlendirildiği bir çalışmada; Tri Auto ZX'in TCM Endo V'e göre istatistiksel olarak anlamlı derecede çalışma uzunluğunu daha doğru tespit ettiğini bulmuşlardır (Uzun vd., 2008).

40 adet tek köklü dişte, kök kanal tedavisi yenilenmesinde kullanılan çözücü solüsyonların (kloroform, portakal yağı ve okaliptol) dört farklı elektronik apeks bulucunun (Root ZX Mini, Mini Apeks Locator, Root ZX, Elements Diagnostic Unit) doğruluklarına etkisini in vitro olarak değerlendiren bir çalışma yapılmıştır. Araştırmacı, elektronik apeks bulucuların doğruluğunun bu çözücülerin varlığından etkilenmediğini rapor etmiştir (Al-Hadlaq, 2013).

Bir başka çalışmada araştırmacılar, kök kanal tedavisinin yenilenmesinde kullanılan 3 farklı çözücü solüsyonun (Endosolv, Resosolv, Guttasolv) Tri Auto ZX'in çalışma uzunluğunu belirlemedeki doğruluğuna etkisini 56 adet üst çene kesici dişte değerlendirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda Tri Auto ZX ile ölçülen elektronik kök kanal boyunun, gerçek çalışma uzunluğundan kısa ölçümler verdiğini rapor etmişlerdir (Ustun vd., 2013).

Dentaport ZX, Propex Pixi, ve iPex II ile yapılan kök kanal dolgusunun yenilenmesi esnasında elektronik 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).

1.2.4.3.8. Koronal Genişletmenin Etkisi

Birçok çalışmada, önceden dişe koronal genişletme yapılmasının elektronik apeks bulucuların doğruluğunu arttırdığı tespit edilmiştir (Brito-Júnior vd., 2012; de Camargo vd., 2009; Morgental vd., 2011). Ön genişletme yapılmış kanallara yerleştirilen eğeler apikal konstrüksiyona kolaylıkla ulaşabilir ve ön genişletme yapılmayan kanallara kıyasla daha düşük oranda taşkınlık gözlenir (Pecora vd., 2005). Ancak başka bir çalışmada ön şekillendirme yapmanın sonuçları etkilemediği bildirilmiştir (Tinaz vd., 2002).

1.2.4.3.9. Süt Dişleri

Fizyolojik dökülme işlemi tamamlanana kadar süt dişlerinin ağızda korunması oldukça önemlidir. Süt dişlerine endodontik tedavi uygulanırken, devam eden fizyolojik kök rezorbsiyonu nedeniyle apikal daralımı tespit etmek hekim açısından oldukça zordur. Süt

dişlerinde apikal alanda belli zaman aralıklarıyla düzensiz rezorbsiyon olması dolayısıyla her zaman konvansiyonel yöntemler uygulanamayabilir (Barasuol vd., 2021).

Süt dişlerinin endodontik tedavisinde çalışma uzunluğunun belirlenmesinde intraoral dijital radyografi ve elektronik apeks bulucuların geleneksel yöntemle doğruluk açısından karşılaştırıldığı bir çalışma yapılmıştır (Oznurhan vd., 2015). Bu çalışmada dijital radyografi ve apeks bulucu kullanılarak süt azı dişlerinde belirlenen çalışma uzunluğunun, geleneksel radyografik yöntemle karşılaştırıldığında ortalama çalışma uzunluğu ölçümlerinde anlamlı bir fark göstermediği sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla her iki teknik de radyasyon maruziyetini önemli ölçüde azalttığı, hızlı ve konforlu olduğu için süt dişlerinde çalışma uzunluğunun belirlenmesinde geleneksel radyografik yöntemlere alternatif olarak güvenle kullanılabilir (Oznurhan vd., 2015).

1.2.4.3.10. Endodontik Motor ile Birlikte Kullanılan Apeks Bulucular

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

1.3. Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyon Solüsyonları

Kök kanalları çok karmaşık anatomik ve morfolojik yapıya sahip olabilmektedir. Bundan dolayı endodontik tedavinin başarısında etkili irrigasyon ve kök kanallarının dezenfeksiyonu oldukça önemlidir (Mohammadi ve Abbott, 2009; Radcliffe vd., 2004).

Kök kanal tedavisindeki esas amaç etkili irrigasyon, dezenfeksiyon ve sızdırmaz bir kanal dolumu sağlamaktır. İrrigasyon mikroorganizmaların, sert ve yumuşak doku artıklarının fiziksel ve kimyasal olarak kanaldan uzaklaştırılması işlemidir. Bilgisayarlı mikro tomografi kullanılarak yapılan bir çalışmada, uygulanan kanal şekillendirme tekniklerinde, kanal yüzeylerinin %35'ine ya da daha fazlasına dokunulmadığı belirlenmiştir.

Bu durum kimyasal irrigasyonun kök kanal sistemindeki temizleme ve dezenfeksiyon etkisinin önemine vurgu yapmaktadır (Peters vd., 2001).

Kök Kanal Tedavisi İçin İdeal Yıkama Solüsyonunun Özellikleri

İdeal bir irrigasyon solüsyonu şu özelliklere sahip olmalıdır (Berman ve Hargreaves, 2023) :

- Germisid ve fungusit etkinlik göstermelidir.
- Periapikal dokuları tahriş etmemelidir.
- Çözelti içinde stabil kalmalıdır.
- Uzun süreli antimikrobiyal etkiye sahip olmalıdır.
- Kan, serum, protein gibi vital doku bileşenlerinin varlığında etkinliğini sürdürebilmelidir.
- Düşük yüzey gerilimine sahip olmalıdır.
- Periapikal dokuların onarımını engellememelidir.
- Diş yapılarını boyamamalıdır.
- Kültür ortamında inaktivasyon yeteneğine sahip olmalıdır.
- Hücrel immün yanıtı indüklememelidir.
- Smear tabakasını uzaklaştırabilmelidir; altındaki dentin ve tübüllerini dezenfekte edebilmelidir.
- Dişi çevreleyen doku hücreleri için antijenik, toksik veya karsinojenik olmamalıdır.
- Ekspoze dentinin fiziksel özelliklerini olumsuz etkilememelidir.
- Dolgu materyallerinin sızdırmazlığını ve kanala bağlanmasını olumsuz etkilememelidir.
- Kayganlaştırıcı (lubrikant) olmalıdır.
- Uygulaması kolay olmalıdır.
- Ucuz ve raf ömrü uzun olmalıdır.

1.3.1. Sodyum Hipoklorit (NaOCl)

NaOCl, ideal irrigasyon solüsyonu özelliklerinin büyük çoğunluğunu üzerinde taşıması, özellikle pulpa dokusu üzerindeki çözücü etkisi ve geniş antimikrobiyal spektrumu nedeniyle günümüzde endodontik tedavinin vazgeçilmezi olmaya devam etmektedir.

NaOCl doku proteinlerine temas ettiğinde kısa süre içinde nitrojen formaldehit ve asetaldehit formuna dönüşür. Proteinlerin çözülmesi ile peptit bağları kırılır. Bu süreç boyunca amino gruplarındaki hidrojen ile klorin yer değiştirerek antimikrobiyal etkinlikte önemli rol oynayan kloramine dönüşür. Böylece antimikrobiyal ajan nekrotik doku ve irinleri çözerek daha fazla alana ulaşarak enfekte alanların temizlenmesini sağlar. Buna ek olarak NaOCl kök kanal irrigasyon ajanı olarak uygulandığında sert dokuları deproteinize eder (Berman ve Hargreaves, 2023; Estrela vd., 2002).

NaOCl güçlü bir bazdır (pH>11). Antimikrobiyal etkinlik açısından yüksek pH'a bağlı kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂) metabolizmasına benzerdir. Yüksek pH'lı NaOCl, irreversible enzimatik inhibisyon, hücrel metabolizmadaki biyosentetik değişimler ve lipidik peroksidasyonda gözlenen fosfolipid degradasyonu sayesinde sitoplazmik membran bütünlüğünü bozar (Estrela vd., 2002).

NaOCl, kök kanallarının irrigasyonunda %0,5 ile %6 arasındaki konsantrasyonlarda kullanılmaktadır. İdeal konsantrasyonu konusunda ise bir fikir birliği mevcut değildir (Berman ve Hargreaves, 2023).

Bazı in vitro çalışmalarda, NaOCl'nin yüksek konsantrasyonlarda *Enterococcus faecalis* ve *Candida albicans*'a karşı daha etkili olduğu bildirilmiştir (Gomes vd., 2001; Radcliffe vd., 2004; Waltimo vd., 1999). Fakat yapılan bazı klinik çalışmalar, NaOCl'nin hem düşük hem de yüksek konsantrasyonda kök kanallarında bakteri miktarını azaltma açısından eşit derecede etkili olduğunu bildirmişlerdir (Byström ve Sunqvist, 1985; Cvek vd., 1976).

NaOCl, yüksek konsantrasyonlarda daha fazla doku çözme etkinliğine sahiptir (Hand vd., 1978). Buna karşılık düşük konsantrasyonlarda NaOCl kullanılıyorsa, bu solüsyonun hacminin artırılması da eşit derecede etkili olabilmektedir (Moorer ve Wesselink, 1982;

Siqueira Jr vd., 2000). Yüksek konsantrasyonlar düşük konsantrasyonlara göre daha toksiktir (Spangberg vd., 1973); daha fazla sitotoksositeye, dentinin erozyonuna, kolajen degradasyonuna (bozunmasına), dekalsifikasyona, dentin deproteinizasyonuna ve diş yüzey gerilimine neden olurken; dentinin mikrosertliğini, elastisite modülünü ve bükülme direncini azaltır (Verma vd., 2019). Kök kanal sisteminde yüksek konsantrasyonlarda NaOCl kullanımının tedavi başarısını mutlak surette etkileyeceği sonucuna varılamaz; çünkü yüksek hacimde irrigasyon ve sık değişim ile konsantrasyonun etkileri dengelenebilir (Gazzaneo vd., 2019).

Belirli konsantrasyondaki bir NaOCl solüsyonunun kanal sistemi içerisinde kalması gereken optimal süre henüz netlik kazanmamış bir konudur (Zehnder, 2006). Yapılan bir çalışmaya göre, enstrümantasyon boyunca ve enstrümantasyon tamamlandıktan sonra 1 ile 2 dakika süresinde NaOCl ile yıkama yapılması önerilmektedir (Haapasalo vd., 2014).

Düşük konsantrasyonlu NaOCl çözeltilerinin sıcaklığının artırılması, solüsyonun doku çözme etkinliğine katkı sağlar (Zehnder, 2006). Ayrıca ısıtılan solüsyon organik debris dentin yüzeyinden daha etkili bir şekilde uzaklaştırır. NaOCl enjektörlerini işlem öncesi ısıtmak için çeşitli cihazlar mevcuttur. Ancak solüsyonun kök kanallarına uygulandığı anda sıcaklığının vücut sıcaklığına düştüğü bildirilmiştir (Zeltner vd., 2009). Bazı araştırmacılar NaOCl'nin kanal içerisinde (in-situ) ısıtılmasını önermektedir; bu da solüsyonun kök kanalı içinde ultrasonik veya sonik uçlarla birkaç dakika süreyle aktive edilmesiyle mümkündür (Berman ve Hargreaves, 2023). Bu konuda yapılan bir çalışmada; NaOCl'nin dentin üzerindeki etkinliğinin tazeleme, ultrasonik aktivasyon ve temas süresi ile artış gösterdiği bildirilmiştir (Macedo vd., 2014).

1.3.2. Klorheksidin (CHX)

CHX, katyonik yapısı sayesinde bakterilerin negatif yüklü yüzeylerine elektrostatik olarak bağlanır (Davies, 1973) ve hücre duvarının dış katmanlarına zarar vererek hücre duvarını geçirgen hale getirir (Hugo ve Longworth, 1964). CHX, gram pozitif ve gram negatif bakterilere, mayalara karşı etkili geniş spektrumlu bir antimikrobiyal ajandır (Denton, 1991). CHX, kullanıldığı konsantrasyona bağlı olarak hem bakteriyostatik hem de bakterisidal etki gösterebilir. Yüksek konsantrasyonda bir deterjan gibi davranır; bakterinin hücre zarına zarar vererek sitoplazmasının presipitasyonu ile bakterisidal etki gösterir. Düşük

konsantrasyonlarda ise küçük moleküler ağırlıklı maddelerin (örneğin potasyum ve fosfor) hücreden sızmasına sebep olur ve hücreye kalıcı olarak hasar vermeden bakteriyostatik etkinlik sağlar (Basrani, 2005).

CHX, NaOCl'den farklı olarak, katyonik doğası sayesinde dentinde varlığını sürdürebilmektedir. Dentin sert dokularına tutunan (adsorbsiyon) CHX solüsyonunun terapötik seviyelerde kademeli ve uzun süreli salınımı rezidüel etki olarak adlandırılır. Bu etki kullanılmış olan CHX'in konsantrasyonuna ve dentin ile temas süresine bağlıdır; 120 güne kadar kök kanal dentininde gözlenebilmektedir (Souza vd., 2018).

Endodontik yıkama solüsyonu olarak CHX'in antibakteriyel etkinliği konsantrasyona bağlıdır. %2'lik CHX'in %0,12 CHX ile karşılaştırıldığında daha yüksek antibakteriyel etkinliğe sahip olduğu in vitro olarak gözlemlenmiştir (Basrani vd., 2003).

CHX'in tek başına ve kitosanla karıştırılarak kullanımının *C.albicans* ve *E.faecalis*'e karşı etkisinin ve geri salımının incelendiği bir çalışmada, CHX'in kitosanla birlikte uygulandığında daha fazla salım yaparak, CHX'in antimikrobiyal aktivitesini artırdığı ve her iki mikroorganizma için en geniş inhibitör zonunu oluşturduğu gözlemlenmiştir (Ballal vd., 2009).

NaOCl ile yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda antibakteriyel özelliklerinin CHX ile benzer olduğu görülmüştür. Ancak CHX doku çözme özelliği bakımından yoksun olduğu için NaOCl'nin temel irrigasyon ajanı olarak kullanımı devam etmektedir (de Almeida Gomes vd., 2005; Sen ve Turk, 2009; Sundqvist, 1994).

1.3.3. Etilen Diamin Tetra Asetik Asit (EDTA)

Saf EDTA bir poliaminokarboksilik asit yapısındadır. Renksiz ve suda çözünür katı bir yapıdadır. EDTA dentindeki kalsiyum iyonlarıyla reaksiyona girerek çözünebilir kalsiyum şelatları oluşturur (Violich ve Chandler, 2010). Şelatlar, organik maddelerle metal iyonlarının halka şeklinde bağlanması sonucunda meydana gelen stabil komplekslerdir (Hülsmann vd., 2003). En sık kullanılan şelat solüsyonu EDTA'dır.

Araştırmacılar diş hekimliğinde kullanımı açısından, pH'sı 7,3 olan %17'lik EDTA solüsyonunun kullanımını önermiştir (Ostby, 1957).

EDTA, uzun süre temas etmesi sonucunda hücre zarındaki metal iyonları ile birleşerek, bakteri yüzey proteinlerinin hücre dışına çıkmasına ve bunun neticesinde de bakteri ölümüne yol açabilir (Hülsmann vd., 2003). EDTA gibi şelasyon ajanları, kalsiyum ile stabil bir kompleks oluşturur. Mevcut tüm iyonlar bağlandığında bir denge oluşur ve daha fazla çözünme gerçekleşmez; böylece EDTA kendi kendini sınırlar (*self limiting*) (Hülsmann vd., 2003). EDTA'nın demineralizasyon etkinliğini kısıtlayan bu durumun dentin demineralizasyonu sonucu oluşan pH değişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir (Seidberg ve Schilder, 1974). Dentindeki kalsiyum iyonlarının yer değiştirmesi sonucu hidrojen iyonlarının açığa çıkması pH'yı düşürür. Asit salımı EDTA'nın etkinliğini zaman içinde azaltırken diğer taraftan asitle reaksiyona giren hidroksiapatitler, dentin çözünürlüğünü etkilemektedir (Hülsmann vd., 2003).

EDTA'nın tek başına kullanımı smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırmak için yeterli değildir; smear tabakasındaki organik materyali ortadan kaldırmak için NaOCl gibi bir proteolitik bileşene de ihtiyaç duyulur (Goldman vd., 1976). Smear tabakasının inorganik ve organik komponentlerinin etkin bir şekilde uzaklaştırılması için EDTA ve NaOCl'nin kombine kullanımı tavsiye edilmiştir (Şen vd., 1995). EDTA'nın smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğini değerlendiren birçok çalışma yapılmıştır. Spano vd. (2009) EDTA'nın smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğini sitrik asit, sodyum sitrat, elma sirkesi, asetik asit ve maleik asitle karşılaştırdıkları çalışmalarında smear tabakasını uzaklaştıran en etkin ajanın EDTA olduğu sonucuna varmışlardır (Spano vd., 2009). Çehreli vd. (2013) EDTA, MTAD ve NaOCl'nin etkinliğini in vivo ve in vitro koşullarda değerlendirdikleri çalışmalarında EDTA'nın MTAD ve NaOCl'ye göre smear tabakasını kaldırma konusunda daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir (Cehreli vd., 2013).

Sıklıkla kullanılan %17'lik konsantrasyonda EDTA solüsyonunun, kök kanal duvarlarına 1 dakikadan daha az bir süre direkt teması ile smear tabakasını uzaklaştırabildiği bildirilmiştir. Ayrıca EDTA'nın kendi kendini sınırlayan bir etkisi olmasına rağmen, kök kanallarında uzun süre veya hemen ardından NaOCl kullanılması durumunda dentinde erozyona sebep olduğu bulunmuştur (Berman ve Hargreaves, 2023).

Sitrik asit, benzer konsantrasyonlarda EDTA'ya kıyasla daha etkili gibi görünse de her iki ajan da smear tabakasının uzaklaştırılmasında yüksek verimlilik gösterir. Şelatörler, temizleme etkinliklerine ek olarak kök kanal duvarlarına tutunan biyofilmleri de uzaklaştırabilir (Berman ve Hargreaves, 2023).

Kuaterner amonyum bileşikleri (EDTAC) veya tetrasiklin (MTAD) gibi antiseptikler antimikrobiyal kapasitelerini artırmak için sırasıyla EDTA ve sitrik asit solüsyonlarına eklenmiştir. Ancak bu modifikasyonların klinik sonuçları henüz netlik kazanmamıştır. EDTAC, smear tabakasını uzaklaştırmada EDTA ile benzer etkinlik göstermektedir; ancak daha kostik bir solüsyondur (Berman ve Hargreaves, 2023).

Dar, eğimli ve kalsifiye kanallarda rehber yol oluşturulurken şelatör kullanımının etkisi hem kanal genişliğine hem de mevcut aktif madde miktarına bağlıdır; demineralizasyon işlemi, tüm şelatörler kalsiyum ile kompleks oluşturana dek devam eder (Hülsmann vd., 2003; Zehnder vd., 2005).

Bakteriyel büyüme inhibisyonları açısından karşılaştırıldığında; EDTA'nın antibakteriyel etkinliğinin sitrik asit ve %0,5'lik NaOCl'den daha yüksek; ancak %2,5'lik NaOCl ve %0,2'lik CHX'ten daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır (Siqueira Jr vd., 1998).

CHX, NaOCl ve EDTA Arasındaki Etkileşim

Kök kanallarının irrigasyonu için önerilen protokol organik komponentleri çözmek için NaOCl, smear tabakasının uzaklaştırmak için EDTA ve antimikrobiyal aktiviteyi artırmak için ise CHX kullanımı şeklindedir (Zehnder, 2006).

Yapılan bazı çalışmalarda NaOCl ve CHX'in birlikte kullanıldığı durumlarda turuncu-kahverengi renkli bir çökelti oluşumu rapor edilmiştir. Bu çökelti kanal dolgusunun bağlanmasını olumsuz yönde etkileyebilir (Basrani vd., 2007; Zehnder, 2006).

Basrani vd. (2007) çökelti oluşumunun, NaOCl ve CHX karıştırıldığında oluşan asit-baz reaksiyonuna bağlı olduğunu bildirmişlerdir. CHX dikatyonik asittir ve protonları

indirgeme kabiliyetindedir, NaOCl ise alkalidir ve dikatyonik asitlerden proton alabilir, bu proton değişiminin sonucunda nötral çözünmeyen, kahverengi parakloranilin (PCA) olarak adlandırılan, toksik ve kanserojen olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konulan, bir çökelti oluşur. NaOCl'nin konsantrasyonu arttıkça PCA miktarının da arttığı bildirilmiştir (Basrani vd., 2007; Chhabra vd., 1991).

CHX, EDTA veya $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile temas ettiğinde de beyaz bir çökelti oluşur, bu çökeltide PCA oluşmaz (Barbin vd., 2008; Rasimick vd., 2008). Barbin vd. (2008) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve CHX'i karıştırarak, kütle spektrofotometresi ve yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ile incelendiklerinde de yine PCA oluşmadığını bildirmişlerdir. Rasimick vd. (2008) EDTA ve CHX solüsyonlarını karıştırıp, bu karışım sonucu oluşan beyaz çökeltiyi HPLC ile incelemişlerdir. Karışım sonucunda oluşan beyaz çökeltide %90 oranında EDTA ve CHX tuzu bulunurken PCA görülmemiştir (Rasimick vd., 2008).

Bu nedenle NaOCl irrigasyonundan sonra CHX'in kullanılması gereken durumlarda kök kanalları distile su veya alkol ile yıkanmalı ve kurutma kağıtları ile iyi bir şekilde kurutulduktan sonra CHX kullanılmalıdır (Bui vd., 2008).

EDTA'nın NaOCl ile karıştırıldığında kalsiyum kompleksi oluşturma özelliğini koruduğu; ancak NaOCl'nin klor serbestlemesini engelleyerek doku çözme etkisini kaybetmesine neden olduğu bildirilmiştir (Grawehr vd., 2003).

1.3.4. Etidronik Asit (HEBP)

HEBP (1-hidroksietidilen-1, 1-bifosfonat etidronik asit olarak adlandırılır) proteolitik ve antimikrobiyal özellikleri sağlayan etkilerinin dışında NaOCl ile bileşik olarak kullanılabilen bir şelatördür (Zehnder, 2006). NaOCl'in antimikrobiyal etkinliğini ve doku çözücü özelliğini olumsuz etkilemeden NaOCl ile birlikte kullanılabilen tek şelatör olduğu düşünülmektedir (Tartari vd., 2015; Zehnder vd., 2005). Zayıf bir şelatördür, %2,5 NaOCl ve %9 Etidronik asit (HEBP) kombinasyonu anatomik düzensizliklerdeki debrisleri uzaklaştırmak için önerilmiştir (Zehnder vd., 2005). Bu kombinasyon, çözelti hidroklorik asitten daha iyi bir doku erime kapasitesine sahiptir (Christensen vd., 2008), daha az sitotoksiktir (Aubut vd., 2010) ve NaOCl ile hipokloröz asidi dengede tutar.

1.3.5. Tetrasiklin İzomer Karışımı, Asit ve Deterjan (MTAD) ve Tetraclean

MTAD (Dentsply, Tulsa Dental, Tulsa, OK), Torabinejad ve arkadaşları tarafından smear tabakasını uzaklaştırmak amacıyla EDTA'ya alternatif olarak geliştirilmiştir (Torabinejad vd., 2003). İçeriğinde %3 doksisisiklin, %4,25 sitrik asit, %0,5 tween-80 deterjan bulunmaktadır. pH'sı 7'dir. Biyouyumlu bir solüsyondur. Sitrik asit smear tabakasını ortadan kaldırarak doksisisiklinin dentin tübüllerine penetrasyonuna yardım eder (Shabahang ve Torabinejad, 2003). Tween-80 (Polyoxyethylene sorbitan monooleate) ise noniyonik sürfaktandır. MTAD'nin yüzey gerilimini azaltarak dentin tübüllerinin daha derinine akmasını ve penetre olmasını sağlar. Böylelikle kanal yüzeylerinin daha kapsamlı bir dezenfeksiyonu mümkün olmaktadır. Doksisisiklin, tetrasiklin grubu geniş spektrumlu bakteriyostatik bir antibiyotiktir (Srikumar vd., 2013).

Yapılan bir çalışmada MTAD'nin *E.faecalis*'e karşı, EDTA, %2.5 ve %5'lik NaOCl'den daha üstün bir antibakteriyel aktivite gösterdiği bulunmuştur (Torabinejad vd., 2003).

Tetraclean (Ogna Laboratori Farmaceutici, Muggio, İtalya), MTAD gibi antibiyotik, asit ve deterjan karışımı bir irrigasyon solüsyonudur. Fakat antibiyotiğin konsantrasyonu (Doksisisiklin 50 mg/5 ml) ve deterjanın tipi (polipropilen glikol) MTAD'den farklıdır (Basrani ve Haapasalo, 2012).

Yapılan iki ayrı çalışmada MTAD ve EDTA'nın smear tabakasını uzaklaştırmadaki etkinliği doğrulanmış; ancak bu iki solüsyon arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tay vd., 2006a; Tay vd., 2006b).

1.3.6. Hidrojen Peroksit (H₂O₂)

Hidrojen Peroksit (H₂O₂) uzun zamandan beri endodontide %3 ile 5 arasında değişen konsantrasyonlarda kullanılmaktadır. Bakteri, virüs ve mantarlara karşı antimikrobiyal etkiye sahiptir. NaOCl ve H₂O₂ irrigasyonda art arda kullanıldığında bir reaksiyon meydana gelir; oksijen ve klorür açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan oksijenin anaerob mikroorganizmalara karşı etkili olduğu savunulmuştur (Shiozawa, 2000). Serbest hidroksil radikalleri protein ve DNA

hasarına yol açmaktadır. Hidrojen peroksitin doku çözücü ve antibakteriyel özelliği NaOCl'den çok daha düşüktür (Basrani ve Haapasalo, 2012; Grossman, 1943).

1.3.7. İyodin Potasyum İyodid (IKI)

İyodin Potasyum İyodid (IKI), %2 ile %5 arasındaki konsantrasyonlarda kullanılan bir kök kanal dezenfektanıdır. Bu maddenin oksitleyici maddesi olan iyot, bakteriyel enzimlerin serbest sülfidril grupları ile reaksiyona girerek disülfür bağlarını kırmaktadır (Abbaszadegan vd., 2010). IKI, kök kanallarında bulunan geniş bir antibakteriyel etkinliğe sahiptir; doku kültürü ile yapılmış deneylerde görece düşük toksisite göstermiştir (Spangberg vd., 1973). Yapılan bir çalışmada, enfekte sıgır dentin bloklarında IKI veya CHX ile kombine edilmiş Ca(OH)_2 'nin antibakteriyel aktivitesi değerlendirilmiştir. Ca(OH)_2 tek başına dentin tübülleri içerisindeki *E.faecalis*'i yok edemezken IKI veya CHX ile karıştırılmış Ca(OH)_2 , dentinde etkili bir dezenfeksiyon sağlamıştır (Sirén vd., 2004).

IKI, diş sert dokularında renklenmeye neden olduğu için daha az tercih edilmektedir (Molander vd., 1999). Bir diğer dezavantajı da, bazı hastalarda randevular arası ağrıya neden olabilen olası bir alerjik reaksiyondur (Sirén vd., 2004).

1.3.8. QMİX

QMİX 2011 yılında ortaya çıkmıştır. Hem smear tabakasını kaldırmak hem de antimikrobiyal etkinlik sağlamak için geliştirilmiş yeni bir irrigasyon solüsyonudur. EDTA, CHX ve deterjandan oluşan, berrak ve kullanıma hazır bir solüsyondur. *E.faecalis* ve *C.albicans*'a karşı QMix, %5.25'lik NaOCl ve %2'lik CHX'den daha üstün antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu bildirilmiştir (Elakanti vd., 2015). Smear tabakasını uzaklaştırma konusunda, QMix solüsyonunun %17'lik EDTA'ya göre daha üstün olduğu görülmüştür (Eliot vd., 2014).

Stojicic vd. (2012) QMİX'in *E.faecalis* ve karışık plak bakterilerinden oluşan bir biyofilm üzerinde ve planktonik fazda etkinliğini değerlendirmişlerdir. QMİX ve %1'lik NaOCl'in 5 sn uygulanmasıyla bütün planktonik *E.faecalis* ve plak bakterilerini öldürdüğünü gözlemlemişlerdir. QMİX ve %2'lik NaOCl'nin biyofilmdeki bakteriler üzerine

etkisinin %1'lik NaOCI veya %2'lik CHX den 12 kattan fazla olduğunu saptamışlardır (Stojicic vd., 2012).

1.4. Nanoteknoloji ve Antibakteriyel Nanopartiküller

Nanoteknoloji kavramı ilk olarak 1959'da Richard Feynman tarafından tartışılmıştır, yakın zamanda ise Shrestha ve Kishen tarafından ele alınmıştır (Shrestha ve Kishen, 2016). 'Nano' öneki, Yunan kökenli bir önektir. 'Cüce' veya çok küçük bir şey anlamına gelmektedir. Metrenin milyarda birini (10^{-9} m) ifade eder. 'Nanobilim' 1 ile 100 nm arasında değişen nanometre ölçeklerindeki yapı ve moleküllerin incelenmesidir. Bunu cihazlar vb. pratik uygulamalarda kullanan teknolojiye 'nanoteknoloji' denir. Ayrıca nanoteknoloji, maddeyi nanometre ölçeğinde gözlemleyerek, ölçerek, işleyerek, birleştirerek, kontrol ederek ve üreterek nanobilim teorisini faydalı uygulamalara dönüştürme yeteneğidir (Bayda vd., 2019).

Diş hekimliğinde nanoteknoloji güncel olarak şu alanlarda araştırılmaktadır: Lokal nanoanestezi, hipersensitivite tedavisi, dişin yeniden konumlandırılması, nanorobotik diş macunu, diş dayanıklılığı, kozmetik, nanodiagnostik ve gen tedavisi (Bhardwaj vd., 2014). Daha spesifik olarak, nanomalzemeler üzerine araştırmalar nanokompozitler, nanosolüsyonlar, nanoadezivler ve ölçü malzemelerine yoğunlaşmaktadır.

Endodontide nanopartiküller geniş spektrumlu antibakteriyel etkinlikleri nedeniyle kök kanallarında etkili dezenfeksiyon için araştırılmaktadır (Markan vd., 2017).

Nanopartiküller küçük boyutları, geniş yüzey alanı, yüzey yükü ve şekli gibi dikkat çekici fiziksel özelliklerinden dolayı diş hekimliği alanında pek çok yeni uygulama kazanmıştır (Oncu vd., 2021). Nanopartiküllerin yüksek yük yoğunluğu ve geniş yüzey alanları, bakteri hücrelerinin negatif yüklü yüzeyle daha fazla etkileşime girmesine olanak tanır (Khezerlou vd., 2018). Bakır, altın, titanyum, seryum, magnezyum, demir ve çinko gibi metalik nanopartiküller bakteri hücreleriyle temas ettiğinde antimikrobiyal aktivite sergiler. Hücre zarına bağlanıp hücreye girdikten sonra nanopartiküller, DNA ve RNA gibi hayati hücre bileşenleriyle etkileşime girer ve hücre zarı geçirgenliğini, genetik materyali, ribozomları ve proteinleri değiştirir. Bu etkiler temel olarak metalik nanopartiküllerin bakterilerin metabolik aktivitesini değiştirebilen reaktif oksijen türleri üretme kapasitesine

bağlıdır (Stohs ve Bagchi, 1995). Oksidatif hücresel hasara neden olabilen başlıca reaktif oksijen türleri arasında süperoksit, hidrojen peroksit ve hidroksil radikalleri bulunur. Ek olarak, metal iyonları metal oksitlerden salınıp hücre zarına bağlandıktan sonra, fonksiyonel protein gruplarına bağlanarak normal hücresel fonksiyonları olumsuz yönde etkileyebilirler (Oncu vd., 2021).

1.4.1. Gümüş Nanopartiküller (AgNP)

Gümüş nanopartikülleri 20 ile 15.000 arasında gümüş atomu içerir ve çapları genellikle 100 nm'den küçüktür. Büyük yüzey/hacim oranı nedeniyle gümüş nanopartiküller, düşük konsantrasyonda bile dikkate değer antimikrobiyal aktivite sergiler (Saravanan vd., 2018). Düşük sitotoksikite ve immünolojik yanıt gösterirler (Oves vd., 2018).

Diş hekimliğinde gümüş nanopartiküller; protetik tedavide hareketli protezlerin yapımı için akrilik rezinlere, restoratif tedavide kompozit rezinlere, endodontik tedavide irrigasyon solüsyonu ve kanal dolgu materyaline, ortodontik tedavide adeziv materyallere, periodontal tedavide yönlendirilmiş doku rejenerasyonu için membrana ve dental implant tedavisinde titanyum kaplamalara antibakteriyel malzemeler geliştirmek amacıyla eklenmektedir (Bapat vd., 2018).

1.4.1.1. Gümüş Nanopartiküllerin Etki Mekanizmaları

Gümüş nanopartiküllerin antibakteriyel etkilerinin mekanizması tam olarak netlik kazanamamış olsa da yapılan bazı çalışmalarla çeşitli antibakteriyel etkileri olduğu ortaya konulmuştur. Gümüş nanopartikülleri, mikropları öldürme mekanizması olarak değerlendirilebilecek gümüş iyonlarını sürekli olarak serbest bırakabilmektedir (Bapat vd., 2018). Gümüş iyonları, elektrostatik çekim ve kükürt proteinlerine olan ilgileri nedeniyle hücre duvarına ve sitoplazmik membrana yapışır. Yapışan iyonlar sitoplazmik membranın geçirgenliğini artırarak bakteri zarfının bozulmasına neden olabilir (Khorrami vd., 2018). Serbest gümüş iyonlarının hücrelere alınmasından sonra solunum, solunum enzimleri devre dışı bırakılarak reaktif oksijen türleri oluşturulabilir ancak adenosin trifosfat üretimi kesintiye uğrayabilir (Ramkumar vd., 2017). Reaktif oksijen türleri, hücre zarı bozulmasının ve deoksiribonükleik asit (DNA) modifikasyonunun provokasyonunda temel ajan olabilir. Kükürt ve fosfor DNA'nın önemli bileşenleri olduğundan, gümüş iyonlarının DNA'nın

kükürt ve fosforu ile etkileşimi DNA replikasyonunda, hücre çoğalmasında sorunlara neden olabilir ve hatta mikroorganizmaların yok olmasına neden olabilir. Üstelik gümüş iyonları sitoplazmadaki ribozomları denatüre ederek protein sentezini engelleyebilir (Durán vd., 2016).

Gümüş iyonlarını serbest bırakabilmelerinin yanı sıra, gümüş nanopartikülleri bakterileri de öldürebilir. Gümüş nanopartiküller, hücre yüzeyine bağlandıktan sonra hücre duvarında oluşan çukurlarda birikebilir (Liao vd., 2019). Biriken gümüş nanopartiküller, hücre zarının denatürasyonuna neden olabilir. Gümüş nanopartikülleri ayrıca nano ölçekli boyutlarından dolayı bakteri hücre duvarlarına nüfuz etme ve ardından hücre zarının yapısını değiştirme yeteneğine de sahiptir (Liao vd., 2019). Sitoplazmik membran denatürasyonu organelleri parçalayabilir ve hatta hücre lizisine neden olabilir. Ayrıca gümüş nanopartikülleri bakteriyel sinyal iletiminde rol oynayabilir. Bakteriyel sinyal iletimi, protein substratlarının fosforilasyonundan etkilenir ve nanopartiküller, peptit substratları üzerindeki tirozin kalıntıları fosforilasyondan arındırabilir. Sinyal iletiminin bozulması hücre apoptozuna ve hücre çoğalmasının sona ermesine yol açabilir (Li vd., 2019).

1.4.1.2. Gümüş Nanopartiküllerin Endodontik Uygulamaları

Gümüş nanopartikülleri endodontik tedavide kanal içi irrigasyonda NaOCl yerine kullanılabilir. Gümüş nanopartiküllerle kaplanmış gutaperka, kök kanalının doldurulması için antimikrobiyal bir obturatör olarak geliştirilmiştir. Gümüş nanopartiküller ayrıca dişlerdeki pulpa kaplama, apeksifikasyon ve perforasyonların kapatılması başarısını arttırmak için mineral trioksit agregatına antibakteriyel malzeme olarak dahil edilir (Yin vd., 2020).

NaOCl, endodontik tedavide kök kanallarının kimyasal dezenfeksiyonunda altın standart olarak kabul edilmektedir (Ioannidis vd., 2019). Ancak NaOCl dentinin elastisite modülünü ve dentinin bükülme mukavemetini azaltır. Periapikal dokularda toksik hasara neden olur. Bir çalışma, gümüş nanopartikül solüsyonu ile kök kanalı irrigasyonunun, dentinin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemediğini buldu (Suzuki vd., 2019). Başka bir çalışmada, düşük konsantrasyonlu gümüş nanopartiküllerinin, NaOCl'e göre üstün biyoyumluluğa sahip olduğu bulundu. Ayrıca gümüş nanopartikül irrigasyon solüsyonu hem *E. faecalis* hem de *S. aureus*'un ortadan kaldırılmasında NaOCl kadar etkiliydi. Bu nedenle

bazıları endodontik tedavi sırasında kök kanal irrigasyonu için gümüş nanopartikül solüsyonunun kullanılmasını önermektedir (Yin vd., 2020).

Sekonder enfeksiyonların ana nedeni olan biyofilm katmanlarını ortadan kaldırmak için AgNP'lerin kullanımını içeren pek çok çalışma yapılmıştır (Kaur ve Luthra, 2016; Kuang vd., 2018; Salata, 2004). Lotfi vd. (2011) AgNP'lerin *E.Faecalis*'e karşı etkinliğini karşılaştırdı. %5,25 NaOCl irrigasyon solüsyonu ve düşük konsantrasyonlu AgNP irrigasyon solüsyonu ile benzer bakterisidal etkiler gösterdi (Lotfi vd., 2011). Başka bir çalışma, AgNP solüsyonunun CHX solüsyonuna göre daha az bakteriyi yok ettiğini ancak daha fazla biyofilmi çözdüğünü buldu (Rodrigues vd., 2018). Wu vd. (2014) antimikrobiyal etkinliğin uygulama tekniğine göre değiştiğini öne sürdü (Wu vd., 2014). %0,02 AgNP jeli, biyofilm yapısını bozmada %0,01 AgNP jel, %0,01 AgNP irrigasyon solüsyonu ve Ca(OH)₂ ile tedaviye kıyasla önemli ölçüde daha başarılıydı. AgNP'ler jel formunda kullanıldığında, pozitif yüklü AgNP'ler ile negatif yüklü biyofilm bakterileri arasında uzun süreli bir etkileşim meydana gelir. Başka bir in vitro çalışmada, araştırmacılar AgNP'lerin *E.faecalis*'e, *Klebsiella pneumoniae* ve *C. albicans* 'a karşı etkinliğini araştırdılar. En büyük antimikrobiyal etkinin 15 µg/mL AgNP ve %2 CHX çözeltisi kombinasyonu ile elde edildiğini bulmuşlardır (Charannya vd., 2018). De Almeida vd. (2018) %0,85 salin (kontrol), %2 CHX, %5 NaOCl, %1 NaOCl, %1 AgNP ve %26 ZnONP solüsyonlarının antimikrobiyal etkileri karşılaştırdı. %1 AgNP ve %26 ZnONP solüsyonlarının *E.faecalis*'e karşı benzer şekilde etkiliydi ve biyofilme etkileri bakımından geleneksel endodontik irrigasyon maddelerine göre daha iyi olduğu görüldü (De Almeida vd., 2018). Charannya vd. (2018) yaptıkları bir çalışmada eşit miktarlarda %2 CHX ve 15 µg/mL AgNP'ler homojen bir şekilde karıştırarak ayrı ayrı kullanılan solüsyonlarla karşılaştırıldı. CHX-AgNP kombine solüsyonunun, ayrı ayrı kullanılan solüsyon gruplarına göre daha yüksek etkinlik sergilediği görüldü (Charannya vd., 2018).

Gütaperka kök kanal dolumunda yaygın olarak kullanılır. Endodontik obturatörlerin antibakteriyel özelliklere sahip olması arzu edilse de gütaperkanın antibakteriyel özellikleri sınırlıdır. Yapılan bir çalışmada, gümüş nanopartiküllerle kaplanmış gütaperkanın antibakteriyel ve antifungal özelliklere sahip olduğu ve bakteri sızıntısını önlemede geleneksel gütaperka kadar etkili olduğu ortaya çıktı (Mishra ve Tyagi, 2018). Ayrıca, gütaperka kaplı gümüş nanopartiküller ile geleneksel gütaperka arasında fibroblastların sitotoksitesi ve deri altı doku reaksiyonu veya inflamasyonu açısından hiçbir fark yoktur (Mozayeni vd., 2017).

Mineral trioksit agregatının diş hekimliğinde pulpa kaplama, apeksifikasyon ve perforasyonların kapatılması gibi geniş uygulamaları vardır. Antimikrobiyal özelliklerini arttırmak için mineral trioksit agregatına antimikrobiyal ajanların eklenmesi önemlidir. Gümüş nanopartiküllerle birleştirilmiş mineral trioksit agregatı, anaerobik endodontik patojenlere karşı antibakteriyel aktiviteyi artırabilir. Ayrıca araştırmalar, gümüş nanopartiküllerle birleştirilmiş mineral trioksit agregatının, uygun radyoopasite ve daha kısa sertleşme süresiyle pH değerini ve basınç dayanımını artırdığını bildirmiştir (Vazquez-Garcia vd., 2016). Ayrıca araştırmacılar, gümüş nanopartiküller içeren mineral trioksit agregatının, inflamatuvar reaksiyona neden olmadan iyi bir biyouyumluluğa sahip olduğunu ortaya çıkardı (Samiei vd., 2017).

1.4.2. Kitosan

Kitosan (poli (1, 4), β -d glikopiranozamin), ikinci en bol doğal biyopolimer olan kitinin deasetillenmiş türevidir (Machida vd., 1986; Muzzarelli vd., 1974). Kitin doğal bir madde olduğu için, kullanımı hem ekolojik hem de ekonomik açıdan tercih edilen bir materyaldir (Ozlek vd., 2020). Kitosan asidik pH'a sahip olmasından dolayı metal iyonlarına anlamlı derecede şelasyon kapasitesi gösterir (Kurita, 1998). Geniş yelpazede mükemmel bir antimikrobiyal aktiviteye, antifungal ve antiviral özelliklere sahiptir (Chávez-Andrade vd., 2017; No vd., 2002; Rabea vd., 2003; Silva vd., 2013). Bu özellikleri sebebiyle, diğer nanomateriyallere göre daha sık biyomedikal alanda kullanımı tercih edilmektedir (Duan vd., 2019). Kitosan, yüksek biyouyumluluk, biyoaktivite, seçici geçirgenlik, adsorpsiyon kapasitesi ve şelasyon özelliği gösterir (del Carpio-Perochena vd., 2015). Ayrıca antioksidan, antitümoral ve antiinflamatuvar özelliklere de sahiptir (Espinosa-Cristóbal vd., 2016).

Kitosan, AgNP'lere benzer bir antibakteriyel mekanizmaya sahiptir. Etki mekanizması, hücre zarının bozulmasına yol açan elektrostatik etkileşim prensibine dayanmaktadır. Bu, hücre duvarının geçirgenliğinin artmasına neden olur ve sonuçta hücre ölümüne ve hücre içi bileşenlerinin mikro sızıntısına neden olur (Shrestha vd., 2010).

Endodonti alanında antimikrobiyal etkinliği nedeniyle, kanal içi medikaman olarak sıklıkla kullanılan Ca(OH)_2 ile karşılaştırıldığında, kitosan nanopartiküllerinin enfekte kök kanal sisteminde bulunan dirençli bir mikroorganizma olan *E. faecalis*'i elimine etmede etkili olduğu gösterilmiştir (Upadya vd., 2011).

Barreras US vd. (2016)'nın yaptıkları in vitro bir çalışmada kök kanallarından *E. faecalis*'i uzaklaştırmak için CHX ile kitosan nanopartikülleri kullanılmıştır. Bu kombinasyon ayrıca periradiküler alanda membran bariyerlerinin oluşmasıyla sonuçlanmıştır (Barreras vd., 2016).

Kitosan nanopartiküllerinin dentin üzerinde şelatlayıcı ve antibakteriyel özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, kitosan nanopartiküllerinin smear tabakasını ortadan kaldırdığını ve kök dentininde bakteri kolonizasyonunu engellediği sonucuna varılmıştır ve kök kanal tedavisi sırasında son irrigasyon solüsyonu olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (del Carpio-Perochena vd., 2015).

Yapılan bir başka çalışmada, %3 NaOCl irrigasyonu sonrası %17 EDTA veya %0,2 kitosan ile kanallar yıkanmış ve taramalı elektron mikroskobu altında yapılan incelemelerde kitosanın smear tabakasını kaldırmada etkili bir solüsyon olduğu bulunmuştur (Kamble vd., 2017).

1.5. Çalışma Uzunluğunun Doğruluğu için Yapılan Araştırmalarda Kullanılan Yöntemler

Geçmişten günümüze kadar yapılan çalışmalarda çalışma boyunun doğruluğunun belirlenmesinde; kanal aletinin foramen apikaleden çıkışının izlenmesi, şeffaflaştırma yöntemleri, aşındırma yöntemlerinin ardından mikroskop altında yapılan ölçümler, apikal bölümün ölçüsünün alınması gibi yöntemler ve bilgisayarlı mikro-tomografi görüntüleri kullanılmıştır.

1.5.1. Foramen Apikaleden Kanal Aletinin Çıkışının İzlenmesi

Bu yöntemde kanala uygun bir K tipi eğe kanalda ilerletilir, gözle veya büyütme altında kanal aletinin foramenden çıkışının görüldüğü 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 yapısı zarar görmeden standart bir ölçüm yapılsa da gerçek kök kanal uzunluğunu kesin olarak göstermemektedir. Çünkü minör foramen

(apikal daralım) lokalizasyonu dişten dişe değişebilmektedir ve dzensiz bir yapıda olabilir (Herrera vd., 2007). Yapılan pek çok çalışmada apikal daralımın anatomik apekten ortalama 0,5 mm kısa olduğu bildirilse de (ElAyouti vd., 2002; Kuttler, 1955; Lucena-Martin vd., 2004); bu noktanın anatomik apekten 2 mm kadar mesafede yer alabileceği de gsterilmiştir (Morfis vd., 1994).

1.5.2. Dişlerin şeffaşlaştırılmasının Ardından Mikroskop Altında Yapılan Ölçüm

Bu yöntemde çalışma boyu uzunluğu herhangi bir yöntem ile belirlendikten sonra kanal aleti kanal içine sabitlenir. şeffaşlaştırma işlemi için öncelikle dişler %5,25'lik NaOCl solüsyonu içerisinde konulur ve organik artıklar uzaklaştırılır. Daha sonra %5'lik nitrik asit solüsyonunda, dekalsifiye etmek için 3 gün bekletilir. Akan su altında yıkandıktan sonra %80'lik etil alkolde 24 saat ve %90, %100'lük etil alkol solüsyonlarında 1'er saat süreyle tutularak dehidrate olmaları sağlanır. Son olarak metil salisilat içerisinde 4 saat bekletildikten sonra şeffaşlaştırılma işlemi tamamlanır (Shabahang vd., 1996). Dişlere şeffaşlaştırma işlemi uygulandıktan sonra mikroskop altında eğe ile apikal daralım ilişkisi incelenerek ölçüm yapılır. Bu yöntem endodontide çok az sayıda çalışmada kullanılmıştır (Shabahang vd., 1996; Vertucci, 1984; Weiger vd., 1999). Çünkü uygulama açısından pratik bir yöntem değildir ve her zaman yeterli derecede şeffaflık elde edilememektedir (Genç şen, 2007).

1.5.3. Apikal Bölümün Aşındırılmasının Ardından Mikroskop Altında Yapılan Ölçüm

Bu yöntemde de çalışma boyu uzunluğu herhangi bir yöntem ile belirlendikten sonra kanal aleti kanal içine sabitlenir. Kökün apikal bölümü, apikal daralımla kanal aletinin ilişkisinin gözlenebileceği bir taraftan dişin uzun aksına paralel olarak aşındırılır. Mikroskop büyütmesi altında apikal daralım ile eğe ucu arasındaki mesafe incelenir. İncelemeler için stereomikroskop, ışık mikroskobu, taramalı elektron mikroskobu, dental operasyon mikroskobu gibi çeşitli mikroskoplar kullanılabilir (Plotino vd., 2006; Vasconcelos vd., 2014; Wrbas vd., 2007). Kökün apikal bölümünün doğrudan gözlenebildiği bir yöntem olması sebebiyle güvenilirliği yüksek bir teknik olarak kabul edilir ve bu yüzden pek çok çalışmada da tercih edilmiştir (Tselnik vd., 2005; Wrbas vd., 2007). Ancak aşındırma sırasında apikal daralımın doğal anatomisinin bozulma ihtimali vardır. Ayrıca zaman alıcı bir tekniktir (Genç şen, 2007).

1.5.4. Apikal Bölümün Ölçüsünün Alınması

Yapılan bir çalışmada radyografik yöntem ve Root ZX apeks bulucu kullanılarak tespit edilen çalışma boylarının doğruluğu, ege ucunun majör foramenden taşkın olduğu örneklerde, apikal yapının ölçüsü alınarak değerlendirilmeye çalışılmıştır (Kim vd., 2008). Araştırmacılar, polivinil siloksan ölçü maddesi kullanarak kök apeksinin majör 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 taşınmış olan örneklerde kullanılması dezavantajdır ve hassasiyeti tartışmalıdır (Genç Şen, 2007).

1.5.5. Mikro Bilgisayarlı Tomografi Yöntemi

Mikro-BT görüntülemesi, kök kanal sisteminde üç boyutlu olarak inceleme ve ölçüm yapılmasına imkân sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem ile apikal daralımın lokalizasyonu net bir şekilde gözlenebilmektedir. Özellikle apikal uçludaki anatomik detayların izlenmesi ve ölçülmesi mümkün olmaktadır (ElAyouti vd., 2014). Son zamanlarda in vitro çalışmalarda gerçek çalışma boyunun belirlenmesinde bu yöntem tercih edilmeye başlanmıştır (Ergeldi, 2021; Piasecki vd., 2016). Diş örneklerinin anatomisine zarar vermeden incelenebilmesi ve güvenilir bir yöntem olması gibi avantajları olsa da yüksek radyasyon dozu, kullanımının pratik olmaması ve yüksek maliyetli olması gibi dezavantajları nedeniyle kök kanal boyu belirlemede kullanımı yaygınlaşmamıştır (Genç Şen, 2007).

1.6. Çalışmanın Amacı

Klinik endodontide çeşitli irrigasyon solüsyonlarının, kök kanal tedavisinde çalışma boyunu tespit etmek için kullanılan elektronik apeks bulucuların doğruluğuna etkisi pek çok çalışmada değerlendirilmiştir. Ancak literatürde son yıllarda popülerite kazanan nanopartikül içerikli solüsyonların elektronik apeks bulucuların doğruluğuna etkisi ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmanın amacı NaOCl, CHX, EDTA, serum fizyolojik, AgNP ve kitosan çözeltisinin kök kanal çalışma boyu tespitinde elektronik apeks bulucunun doğruluğuna etkisini incelemektir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Çalışma için dişlerin seçimi ve hazırlanması

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Etik Kurulu'nun 19.06.2023 tarihli 10/03 sayılı onayı ile yapıldı. Çalışmamızda protetik ve periodontal nedenlerden dolayı çekilmiş 66 adet benzer apiko-koronal özelliklere sahip, çürüksüz, üzerinde herhangi bir restoratif işlem olmayan, kökte kurvatür bulunmayan, apeksleri kapanmış tek köklü ve tek kanallı üst orta ve yan kesici dişler kullanıldı. İnternal rezorpsiyon ve kalsifikasyon bulunan dişleri elimine etmek amacıyla periapikal radyografiler alındı. Çekilen dişler 24 saat %5'lik NaOCl (Werax, İzmir, Türkiye) solüsyonunda bekletildikten sonra kök yüzeylerindeki sert ve yumuşak doku artıkları periodontal küret kullanılarak temizlendi. Dişler, kullanılana kadar %0,1 timol kristali içeren distile su içerisinde bekletildi.

Her bir diş önce giriş kavitesi açıldı. Ardından kök boyu standardizasyonunu sağlamak ve düz bir referans düzlemi oluşturmak amacıyla, apekten 16 mm olacak şekilde kronlar aşındırıldı. Aşındırma işlemi su soğutması altında hassas kesim cihazı (Micracut 201, Metkon; Bursa, Türkiye) kullanılarak yapıldı (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Micracut cihazı

Kanalların koronal bölümünde ProTaper Universal SX nikel titanyum döner eğesi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) kullanılarak ön genişletme yapıldı ve kanallar distile su ile yıkandı. #10 numaralı K tipi eğeler (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) ile kanal açıklığı kontrol edildi.

2.2. Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları ve Gruplar

Çalışmada kullanılacak dişler, her bir grupta 11 diş olacak şekilde rastgele 6 gruba ayrıldı.

1. Grup: %5 Sodyum hipoklorit (NaOCl) irrigasyon solüsyonu kullanılan diş grubu
2. Grup: %17 Etilen diamin tetra asidik asit (EDTA) irrigasyon solüsyonu kullanılan diş grubu
3. Grup: %2 Klorheksidin diglukonat (CHX) irrigasyon solüsyonu kullanılan diş grubu
4. Grup: Gümüş nanopartikül (AgNP) içerikli irrigasyon solüsyonu kullanılan diş grubu
5. Grup: %0,2 Kitosan çözeltisi kullanılan diş grubu
6. Grup: %0,9 Serum fizyolojik kullanılan diş grubu

2.3. Çalışma Boyu Ölçümleri

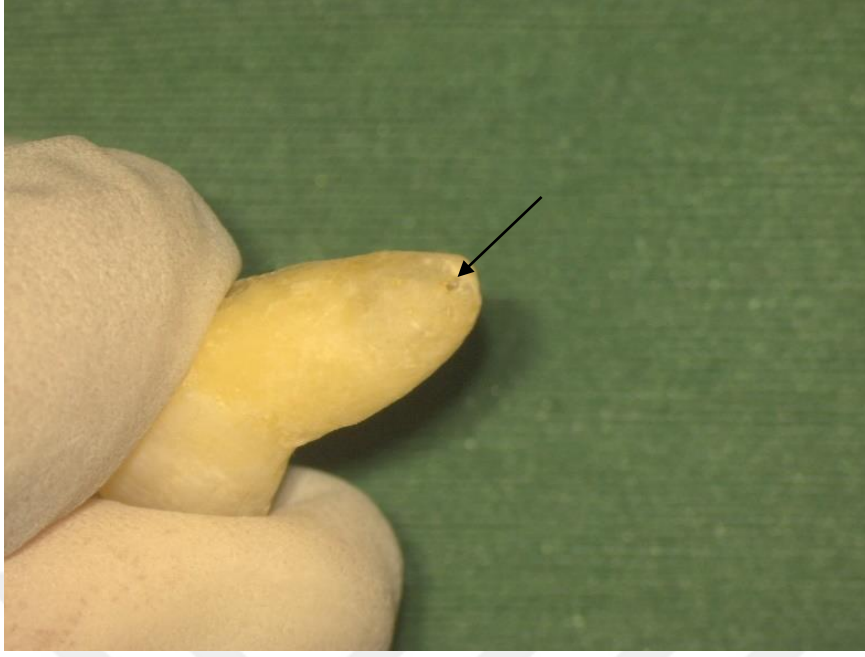
2.3.1. Gerçek Kök Kanal Çalışma Boyunun Belirlenmesi

Kök kanalına operasyon mikroskobu (Leica M320 F12, Heerbrugg, İsviçre) (Şekil 2.2) altında x10 büyütmede #15 nolu K tipi eğe (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) yerleştirilerek kök ucundan görülünceye kadar ilerletildi (Şekil 2.3). Eğe apikalde görüldükten sonra, eğenin stoperi referans noktasına ayarlandı. Referans noktası belirlenirken çift stoper kullanıldı. Eğe kanaldan çıkarılarak ± 0.01 mm hassasiyet gösteren dijital kumpas (MarCal 16 ER, Mahr GmbH, Almanya) yardımıyla eğe ucu ile stoper arası mesafe ölçüldü (Şekil 2.6). Her bir diş için ölçümler 3 kez tekrarlanarak ölçümlerin ortalaması kaydedildi. Elde edilen ortalama değer ile gerçek kök kanal uzunluğu belirlendi ve 'Gerçek Majör Foramen (GMF)' olarak kaydedildi. Kaydedilen gerçek kök kanal

uzunluğundan 0,5 mm çıkarılarak gerçek kök kanal çalışma boyu belirlendi ve ‘Gerçek Fizyolojik Foramen (GFF)’ olarak kaydedildi.



şekil 2.2. Operasyon mikroskobu (Leica M320 F12, Heerbrugg, İsviçre)



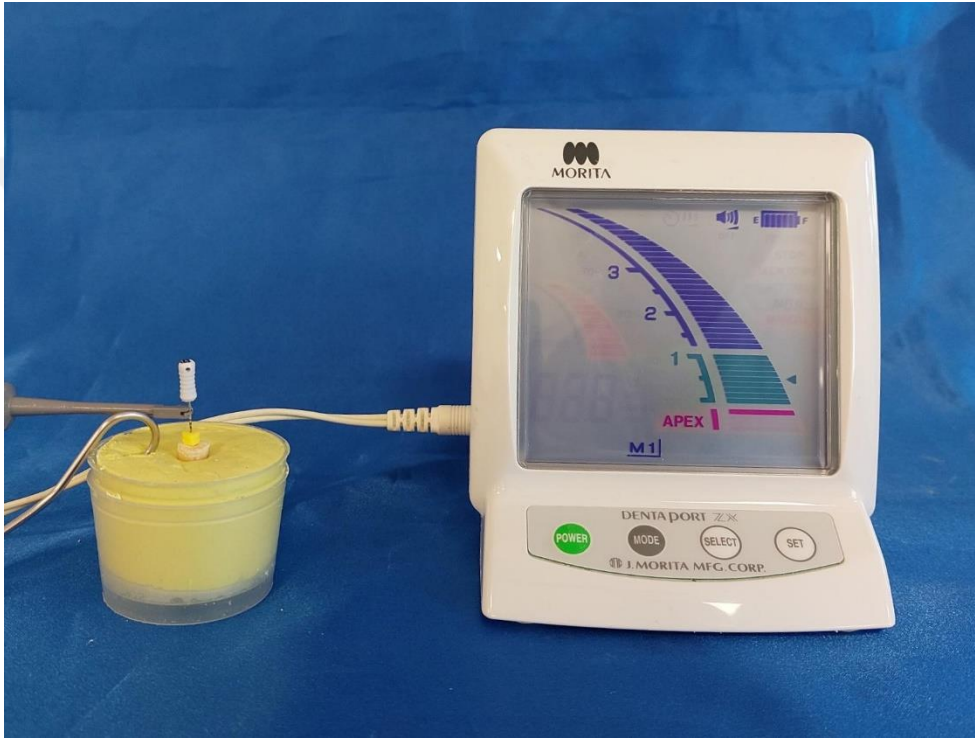
Şekil 2.3. Operasyon mikroskobunda x10 büyütme altında majör foramenden eğe ucunun görülmesi

2.3.2. Elektronik Olarak Kök Kanal Çalışma Boyunun Belirlenmesi

Kökler, in vitro ortamda periodontal ligamentin taklit edilebilmesi amacıyla aljinat modele gömüldü. Ayrıca aljinat modelin içine kullanılacak elektronik apeks bulucunun dudak klipsi yerleştirildi. Elektronik ölçümleri gerçekleştirmek amacıyla cihazın iki elektrotlu kablusunda bulunan tutucu uca #15 nolu K tipi eğe tutturuldu. Diğer elektrota aljinat içindeki dudak klipsi bağlandı. Düzenek tamamlandıktan sonra dişin dahil olduğu gruba uygun seçilen 2 mL irrigasyon solüsyonu endodontik enjektör yardımıyla ve 27 gauge irrigasyon iğnesi (Endo-eze irrigator tip, Ultradent Products Inc., South Jordan, UT) kullanılarak kanal içi irrigasyon yapıldı. Pulpa odasında biriken irrigasyon solüsyonunun fazlası aspiratör ve pamuk peletler yardımıyla uzaklaştırıldı. Kök kanallarına herhangi bir işlem uygulanmayarak kanallar nemli bırakıldı ve elektronik ölçümler yapılarak kaydedildi.

Elektronik ölçümler Dentaport ZX (J Morita, Tokyo, Japan) elektronik apeks bulucu kullanılarak yapıldı. Üretici firmaya göre; elektronik apeks bulucunun kadranında yazan ‘0,5’ çizgisinin minör forameni gösterdiği kabul edilmektedir ve kök kanal boyu ölçüleceği zaman eğe, ‘APEX’ çizgisi görülene kadar ilerletilip ‘0,5’ değeri tekrar okunana kadar geri çekilmelidir. Bu nedenle üretici talimatlarına uygun olarak 15 numaralı K tipi eğe kök içerisinde Dentaport ZX ekranında ‘APEX’ yazana kadar ilerletildi, bu noktada ölçülen değer

‘Elektronik Majör Foramen’ olarak kaydedildi (Şekil 2.4). Daha sonra eğe ‘0,5’ çizgisine geri çekildi ve bu noktadaki ölçüm de ‘Elektronik Fizyolojik Foramen’ olarak kaydedildi (Şekil 2.5). Ölçümler ± 0.01 mm hassasiyet gösteren dijital kumpas (MarCal 16 ER, Mahr GmbH, Almanya) yardımıyla eğe ucu ile stoper arası mesafe ölçülerek yapıldı (Şekil 2.6). Her bir diş için ölçümler 3’er kez tekrarlandı ve ölçümlerin ortalaması alınarak kaydedildi. Referans noktası belirlenirken çift stoper kullanıldı. Tüm ölçümler aljinat modelin nemini kaybetmemesi için 2 saatlik süre içerisinde tamamlandı.



Şekil 2.4. Dentaport ZX elektronik apeks bulucunun ekranında yazan ‘APEX’ çizgisinin elektronik majör forameni göstermesi



Şekil 2.5. Dentaport ZX elektronik apeks bulucunun ekranında yazan '0,5' çizgisinin elektronik fizyolojik forameni göstermesi



Şekil 2.6. Stoperin alt kısmı ile eğre ucu arası mesafenin ± 0.01 mm hassasiyet gösteren dijital kumpas yardımıyla ölçülmesi

2.4. Kitosan Çözeltisinin Hazırlanması

%0,2 kitosan solüsyonu hazırlamak için öncelikle %1 laktik asit çözeltisi hazırlandı. Bu amaçla 1 mL laktik asit ultra saf su içine ilave edilerek hacmi 100 mL'ye tamamlandı. Ardından tartılan orta molekül ağırlıklı kitosan (Sigma-Aldrich, St Louis, MO, ABD) üzerine laktik asit çözeltisi ilave edilerek manyetik karıştırıcı üzerinde kitosanın tamamının çözünmesi sağlandı. Laktik asit çözeltisi ile gerekli tamamlamalar yapıldıktan sonra çözünmeyen safsızlıkların uzaklaştırılması için 0,45 mm'lik filtreden süzülerek, kullanılacağı ana kadar buzdolabında +4 °C'de saklandı.

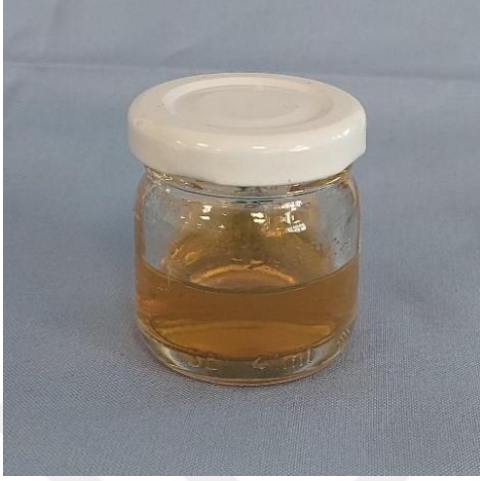


Şekil 2.7. Sentezlenen kitosan çözeltisi

2.5. Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi

Kararlı, kolloidal boyutta gümüş nanopartiküllerin sentezi Flores vd. (2010)'ın çalışması örnek alınarak küçük bir değişiklikle kimyasal indirgeme yöntemiyle gerçekleştirildi (Flores vd., 2010). Başlangıçta Bölüm 2.4.'te anlatıldığı şekilde kitosan çözeltisi hazırlandı. Hazırlanan kitosan çözeltisi içinde gümüş nanopartiküllerin sentezi için 1 mL gümüş nitrat (AgNO_3) (Sigma-Aldrich, Almanya) sulu çözeltisi ilave edildi. Final çözelti 50 °C'de 1 saat boyunca manyetik karıştırıcı üzerinde karıştırıldı. İndirgeyici ajan olarak 0,5 mL sodyum borohidrit (NaBH_4) (Sigma-Aldrich, Almanya) sulu çözeltisi saniyede 1 damla olacak şekilde sürekli karışan çözeltiye eklendi. Sistemin renginin anında sarımsı-kahverengiye dönmesi ile kitosan çözeltisi içerisinde gümüş nanopartiküllerin oluşumu gerçekleşti. Nihai ürün reaksiyonun tamamlanması için 1 saat süre ile manyetik karıştırıcı

üzerinde karıştırıldı. Bu çalışmada, partikül boyutu yaklaşık 10 nm olan AgNP'ler kitosan çözeltisi içerisinde kimyasal indirgeme yöntemiyle sentezlendi.



Şekil 2.7. Sentezlenen AgNP

2.6. İstatiksel Analiz

Verilerin analizinde SPSS 11.5 programından faydalanıldı. Tanımlayıcı olarak nicel değişkenler için ortalama $\pm$ standart sapma ve ortanca (minimum-maksimum), nitel değişkenler için ise dış sayısı (yüzde) kullanıldı. Nicel değişken bakımından ikiden fazla kategoriye sahip nitel değişkenin kategorileri arasında fark olup olmadığına, normal dağılım varsayımları sağlanmadığı için Kruskal Wallis H testi ile bakıldı. İki nitel değişken arasındaki ilişki incelenmek istendiğinde ise Fisher-exact testi kullanıldı. İki bağımlı nicel değişken arasındaki fark için ise normal dağılım varsayımları sağlanmadığı için Wilcoxon İşaret testi kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi 0,05 olarak alındı.

3. BULGULAR

NaOCl grubunda yapılan ölçümlerde elektronik fizyolojik foramen (EFF) değerleri ile gerçek fizyolojik foramen (GFF) değerleri arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0,534$). EFF ortalaması $15,15\pm0,49$ iken GFF ortalaması $15,19\pm0,62$ olarak bulunmuştur. NaOCl grubunda elektronik majör foramen (EMF) değerleri ile gerçek majör foramen (GMF) değerleri arasında da anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0,790$). GMF ortalaması EMF ortalamasından daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. NaOCl grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması

NaOCl grubu	Ort. $\pm$ SS	Ortanca	p değeri
EFF	$15,15\pm0,49$	15,21	0,534 ^a
GFF	$15,19\pm0,62$	15,18	
EMF	$15,67\pm0,62$	15,81	0,790 ^a
GMF	$15,69\pm0,53$	15,68	

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, a: Wilcoxon İşaret testi

CHX grubunda yapılan ölçümlerde EFF değerleri ile GFF değerleri arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p=0,029$). EFF ortalaması $15,56\pm0,63$ iken GFF ortalaması $15,34\pm0,39$ olarak bulunmuştur. CHX grubunda EMF değerleri ile GMF değerleri arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0,373$). EMF ortalaması GMF ortalamasından daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. CHX grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması

CHX grubu	Ort. $\pm$ SS	Ortanca	p değeri
EFF	$15,56\pm0,63$	15,54	0,029 ^a
GFF	$15,34\pm0,39$	15,30	
EMF	$15,90\pm0,49$	15,85	0,373 ^a
GMF	$15,84\pm0,39$	15,80	

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, a: Wilcoxon İşaret testi

EDTA grubunda yapılan ölçümlerde EFF değerleri ile GFF değerleri arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0,075$). EFF ortalaması $15,69\pm0,56$ iken GFF ortalaması $15,50\pm0,54$

olarak bulunmuştur. EDTA grubunda EMF değerleri ile GMF değerleri arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0,424$). EMF ortalaması GMF ortalamasından daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. EDTA grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması

EDTA grubu	Ort.±SS	Ortanca	p değeri
EFF	15,69±0,56	15,65	0,075 ^a
GFF	15,50±0,54	15,57	
EMF	16,10±0,53	16,09	0,424 ^a
GMF	16,00±0,54	16,07	

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, a: Wilcoxon İşaret testi

AgNP grubunda ölçülen EFF değerleri ile GFF değerleri arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0,052$). EFF ortalaması 15,68±0,52 iken GFF ortalaması 15,50±0,54 olarak bulunmuştur. AgNP grubunda ölçülen EMF değerleri ile GMF değerleri arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0,477$). GMF ortalaması EMF ortalamasından daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. AgNP grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması

AgNP grubu	Ort.±SS	Ortanca	p değeri
EFF	15,68±0,52	15,64	0,052 ^a
GFF	15,50±0,54	15,57	
EMF	15,96±0,53	15,83	0,477 ^a
GMF	16,00±0,54	16,07	

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, a: Wilcoxon İşaret testi

Kitosan grubunda yapılan ölçümlerde EFF değerleri ile GFF değerleri arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0,575$). EFF ortalaması 15,10±0,57 iken GFF ortalaması 15,02±0,40 olarak bulunmuştur. Kitosan grubunda ölçülen EMF değerleri ile GMF değerleri arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0,182$). GMF ortalaması EMF ortalamasından daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Kitosan grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması

Kitosan grubu	Ort.±SS	Ortanca	p değeri
EFF	15,10±0,57	15,21	0,575 ^a
GFF	15,02±0,40	15,00	
EMF	15,39±0,53	15,59	0,182 ^a
GMF	15,52±0,40	15,50	

Ort; Ortalama, SS: Standart Sapma, a: Wilcoxon İşaret testi

Serum fizyolojik grubunda ölçülen EFF değerleri ile GFF değerleri arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0,790$). EFF ortalaması $14,99\pm0,66$ iken GFF ortalaması $15,02\pm0,40$ olarak bulunmuştur. Serum fizyolojik grubunda ölçülen EMF değerleri ile GMF değerleri arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0,657$). GMF ortalaması EMF ortalamasından daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Serum fizyolojik grubunda elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin karşılaştırılması

Serum fizyolojik grubu	Ort.±SS	Ortanca	p değeri
EFF	14,99±0,66	15,22	0,790 ^a
GFF	15,02±0,40	15,00	
EMF	15,46±0,65	15,62	0,657 ^a
GMF	15,52±0,40	15,50	

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, a: Wilcoxon İşaret testi

Çizelge 3.7’de elektronik apeks bulucuyla ölçülen kök kanal boyu değerlerinin ve gerçek kök kanal boyu değerlerinin farkı alınmıştır ve bu farklar bakımından solüsyon grupları arası karşılaştırmalara bakılmıştır. Ancak fizyolojik foramen ve majör foramen için altı grup arası anlamlı fark bulunamamıştır (sırasıyla $p=0,295$ ve $p=0,559$). Fizyolojik foramen için en büyük fark (EFF-GFF) CHX kullanılan grupta bulunurken en düşük fark ise serum fizyolojik kullanılan grupta bulunmuştur. Majör foramen için ise en büyük fark (EMF-GMF) kitosan çözeltisi kullanılan grupta bulunurken en düşük fark ise NaOCl kullanılan grupta bulunmuştur.

Çizelge 3.7. Elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerlerinin farkının gruplar arası karşılaştırılması

Gruplar	EFF-GFF		P değeri	EMF-GMF		P değeri
	Ort.±SS	Ortanca (Min-Maks)		Ort.±SS	Ortanca (Min-Maks)	
NaOCl	-0,04±0,33	0,01 (-0,51-0,69)	0,295 ^a	-0,02±0,29	-0,02 (-0,61-0,37)	0,559 ^a
CHX	0,22±0,26	0,24 (-0,18-0,54)		0,05±0,19	0,03 (-0,18-0,31)	
EDTA	0,19±0,32	0,24 (-0,29-0,53)		0,09±0,33	0,07 (-0,49-0,70)	
AgNP	0,17±0,26	0,19 (-0,31-0,49)		-0,04±0,18	0,01 (-0,37-0,25)	
Kitosan	0,08±0,37	0,00 (-0,55-0,69)		-0,13±0,28	-0,12 (-0,52-0,25)	
Serum Fizyolojik	-0,03±0,46	-0,08 (-0,80-0,69)		-0,06±0,39	0,07 (-0,70-0,54)	

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum a: Kruskal Wallis H testi

Fizyolojik foramen için elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal çalışma boyu değerleri arasındaki fark değerlerinin sınır durumları açısından kullanılan solüsyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır ($p=0,563$). İstatistiksel olarak anlamlı olmamakla beraber -0,50 ve 0,5 değerleri arasında ölçüm oranı; NaOCl grubunda %81,8 iken bu oran CHX grubunda %81,8, EDTA grubunda %72,7, AgNP grubunda %100,0, kitosan grubunda %72,7 ve serum fizyolojik grubunda %72,8 olarak bulunmuştur. -1 ve -0,5 ile 0,5 ve 1 değerleri arasında ise; NaOCl grubunda ölçüm oranı %18,2 iken bu oran CHX grubunda %18,2, EDTA grubunda %27,3, AgNP grubunda %0,0, kitosan grubunda %27,3 ve serum fizyolojik grubunda %27,2 olarak bulunmuştur (Çizelge 3.8). Hiçbir grupta $\pm 1,0$ sınırları dışında ölçüm alınmamıştır.

Çizelge 3.8. Fizyolojik foramen için elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal çalışma boyu değerleri arasındaki farkın sınır durumlarına göre gruplar arası karşılaştırılması

Gruplar	-1 ve -0,51	-0,50 ve 0,00	0,01 ve 0,50	0,51 ve 1,00	Toplam	p değeri
NaOCl, n (%)	1 (9,1)	4 (36,3)	5 (45,5)	1 (9,1)	11 (100,0)	0,563 ^a
CHX, n (%)	0 (0,0)	3 (27,3)	6 (54,5)	2 (18,2)	11 (100,0)	
EDTA, n (%)	0 (0,0)	3 (27,3)	5 (45,4)	3 (27,3)	11 (100,0)	
AgNP, n (%)	0 (0,0)	2 (18,2)	9 (81,8)	0 (0,0)	11 (100,0)	
Kitosan, n (%)	1 (9,1)	5 (45,4)	3 (27,3)	2 (18,2)	11 (100,0)	
Serum Fizyolojik, n (%)	2 (18,1)	4 (36,4)	4 (36,4)	1 (9,1)	11 (100,0)	
Toplam	4 (6,1)	21 (31,8)	32 (48,5)	9 (13,6)	66 (100,0)	

a: Fisher-exact testi

Majör foramen için elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerleri arasındaki fark değerlerinin sınır durumları açısından kullanılan solüsyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır ($p=0,775$). İstatistiksel olarak anlamlı olmamakla beraber -0,50 ve 0,5 değerleri arasında ölçüm oranı; NaOCl grubunda %91,0 iken bu oran CHX grubunda %91,0, EDTA grubunda %91,0, AgNP grubunda %100,0, kitosan grubunda %91,0 ve serum fizyolojik grubunda %72,8 olarak bulunmuştur. -1 ve -0,5 ile 0,5 ve 1 değerleri arasında ölçüm oranları ise; NaOCl grubunda %9,0 iken CHX grubunda %9,0, EDTA grubunda %9,0, AgNP grubunda %0,0, kitosan grubunda %9,0 ve serum fizyolojik grubunda %27,2 olarak bulunmuştur (Çizelge 3.9). Hiçbir grupta $\pm 1,0$ sınırları dışında ölçüm alınmamıştır.

Çizelge 3.9. Majör foramen için elektronik apeks bulucuyla ölçülen değerler ile gerçek kök kanal boyu değerleri arasındaki farkın sınır durumlarına göre gruplar arası karşılaştırılması

Gruplar	-1 ve -0,51	-0,50 ve 0,00	0,01 ve 0,50	0,51 ve 1,00	Toplam	P değeri
NaOCl, n (%)	1 (9,0)	5 (45,5)	5 (45,5)	0 (0,0)	11 (100,0)	0,775 ^a
CHX, n (%)	0 (0,0)	5 (45,5)	6 (54,5)	0 (0,0)	11 (100,0)	
EDTA, n (%)	0 (0,0)	5 (45,5)	5 (45,5)	1 (9,0)	11 (100,0)	
AgNP, n (%)	0 (0,0)	5 (45,5)	6 (54,5)	0 (0,0)	11 (100,0)	
Kitosan, n (%)	1 (9,0)	7 (63,7)	3 (27,3)	0 (0,0)	11 (100,0)	
Serum Fizyolojik, n(%)	2 (18,2)	3 (27,3)	5 (45,5)	1 (9,0)	11 (100,0)	
Toplam	4 (6,0)	30 (45,5)	30 (45,5)	2 (3,0)	66 (100,0)	

a: Fisher-exact testi

4. TARTIŞMA

Endodontik tedavinin başarısında yeterli bir kemomekanik preparasyon ve sızdırmaz bir kök kanal dolgusunun yapılabilmesi için çalışma boyunun doğru tespit edilmesi oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

Çalışma boyu, dişin koronalinde belirlenen bir referans düzlemi ile kök kanal tedavisinin sonlandırılacağı yer arasındaki mesafe olarak tanımlanır (Moscoso vd., 2014). Çalışma boyunun doğru tespit edilememesi taşkın veya yetersiz preparasyona yol açabilmektedir. Taşkın preparasyon sonucu apikal daralım noktası harabiyete uğramaktadır ve periapikal dokular zarar görmektedir. Yetersiz preparasyon sonucu ise kök kanallarında şekillendirilemeyen ve temizlenemeyen alanlar kalmaktadır. Böylece mikroorganizmaların, debrisin ve enfekte doku artıklarının uzaklaştırılması güçleşmektedir. Tüm bunların sonucunda da endodontik tedavinin başarı şansı azalmaktadır (Moscoso vd., 2014; Ng vd., 2011; Seltzer vd., 2004). Endodontik tedavi görmüş dişlerle ilgili yapılan histolojik çalışmalarda, şekillendirme ve kök kanal dolgusunun apikal daralım bölgesinde sınırlı kaldığı vakalarda iyileşmenin daha iyi olduğu belirtilmiştir (Dunlap vd., 1998).

Klinik olarak çalışma boyu tespiti yapılırken parmak hassasiyeti, kâğıt konların nemliliğinin değerlendirilmesi, radyografik yöntem ve elektronik apeks bulucular gibi çeşitli yöntemlere başvurulmaktadır. Güncel olarak radyografik yöntem ve elektronik apeks bulucular kullanılmaktadır (Heo vd., 2008). Radyografik yöntemle apikal daralım noktası belirleneceği zaman çoğunlukla radyografik apekten 0,5 mm kısa olacak şekilde çalışma boyu belirlenmektedir (Dummer vd., 1984). Ancak radyografiler bilindiği üzere iki boyutlu görüntü sağlamaktadır (Stöber vd., 2011). Bundan dolayı belirlenen bu nokta tahmini hesaplanmış olup, gerçeği tam yansıtmayabilir. Majör foramenin kökün lateralinde bulunması olasılığı da radyografik yöntemin başka bir kısıtlamasıdır (Mancini vd., 2011). Nazal fossa, zigomatik ark ve maksiller sinüs gibi anatomik bölgeler radyografilerde çalışma uzunluğunu belirlerken süperpoze olup görüntüyü olumsuz yönde etkileyebilmektedir (ElAyouti vd., 2001). Yapılan klinik çalışmalar ve laboratuvar çalışmaları, çalışma boyu hesaplanırken elektronik apeks bulucuların kullanımının, geleneksel radyografik yöntemle kıyasla daha güvenilir ve doğru sonuçlar verdiğini göstermektedir (ElAyouti vd., 2009; Piasecki vd., 2016; Pratten ve McDonald, 1996). Ayrıca, çalışma uzunluğunun elektronik olarak belirlenmesi daha hızlı ve pratik olup, hasta-hekim için radyasyon gerektirmez.

Endodontik işlem sırasında veya sonrasında tekrar edilebilirliği ise diğer bir avantajdır (Vasconcelos vd., 2016).

Elektronik apeks bulucuların doğruluğu konusunda günümüze kadar hem in vivo hem in vitro koşullarda pek çok çalışma yapılmıştır. Duran-Sindreu vd.(2012)'nin yaptıkları bir çalışmada Root ZX'in doğruluğu hem in vivo hem de in vitro ortamda karşılaştırılmış ve gruplar arasında anlamlı bir farka rastlanılmamıştır (Duran-Sindreu vd., 2012). Bir başka çalışmada elektronik apeks bulucuların değerlendirilmesinde kısa sürede daha çok sayıda örnek test edilebileceği için in vitro modellerin kullanılması tavsiye edilmiştir (Huang, 1987). İn vitro çalışmaların, istatistiksel olarak daha güvenilir analizlere imkan sağladığı, tekrarlı ölçümlere izin verdiği ve farklı değişkenlerin objektif değerlendirilmesine olanak sağladığı bildirilmiştir (Briseño-Marroquín vd., 2008; Ebrahim vd., 2006). Ayrıca in vitro modeller ile yapılan çalışmalarda test edilen deney koşullarının araştırmacının elinde olması gibi avantajlar bulunmaktadır (Meares ve Steiman, 2002). Tüm bu bilgiler göz önüne alınarak bizim çalışmamız da in vitro koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarda, standardizasyonun sağlanabilmesi için, çürüksüz ve restorasyonu olmayan dişlerin kullanılmasının gerektiği bildirilmiştir (Retief, 1991). Ayrıca çalışmalarda farklılığı en aza indirmek için aynı grup dişlerin kullanılması ve diş boyutları, kanal çapları, kanal anatomileri açısından birbirine benzer dişler tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir (Wu vd., 1993). Buna benzer çalışmalarda diğer bir sorun ise özellikle döner eğeler ile enstrümantasyondan sonra eğri kök kanallarında çalışma boyunun değişmesidir (Kumar vd., 2013). Bu nedenle çalışmamızda anatomik değişiklikleri ekarte etmek ve standardizasyon sağlamak için tek köklü, düz kanallı, çürüksüz ve restorasyonu bulunmayan, benzer apiko-koronal özelliklere sahip üst orta ve yan kesici dişler kullanılmıştır.

Elektronik apeks bulucular ile yapılan laboratuvar çalışmalarında çalışma boyunun belirlenmesinde operatöre bağlı bazı hatalar meydana gelebilmektedir. Bunlar lastik durdurucunun ayarlanması, eğenin uzunluk ölçümü ve referans noktasının tekrarlanabilirliği ile ilgili olabilmektedir (ElAyouti ve Löst, 2006). Bu hataların en aza indirilmesi ve çalışma sonuçlarını etkilememesi için lastik stoperlerin mutlaka düz bir yüzey üzerinde sabitlenmesi gerektiği belirtilmiştir (D'assunção vd., 2010; Jakobson vd., 2008). Bu sebeple bizim çalışmamızda da dişler su soğutması altında hassas kesim cihazı (Micracut 201, Metkon; Bursa, Türkiye) kullanılarak apekten 16 mm olacak şekilde kesilerek düz bir referans hattı

oluşturuldu. Ölçümler esnasında lastik stoperin sabit kalması ve hatalı ölçüm yapılmaması için çift stoper kullanıldı. Çalışma boyu değeri ise lastik stoperin alt hizası ile eğe ucu arası mesafe ± 0.01 mm hassasiyet gösteren dijital bir kumpas yardımıyla ölçülerek belirlendi.

Elektronik apeks bulucuların çevre dokuların biyolojik özelliklerinden ziyade elektriksel prensiplere göre çalıştığı bilinmektedir (Huang, 1987). Daha önceki çalışmalarda insan dokularının elektriksel özelliklerini taklit etmek, in vivo koşulları in vitro koşullarda gerçekleştirmek ve apikal elektro iletkenliği sağlamak için aljinat, salin, agar agar, jelatin ve diğer kimyasallar kullanılarak bazı deney modelleri oluşturulmuştur (Aurelio vd., 1983; Ebrahim vd., 2007; Goldberg vd., 2002; Guise vd., 2010; Tınaz, 2001). Serum veya jelatin solüsyonlarının kullanıldığı modellerde solüsyonlar kanal içerisine kaçarak erken elektronik okumalara sebep olurken, aljinatın diğer maddelere göre daha sert bir kıvamda ve akışkanlıkta olması nedeniyle apikal foramen içine madde kaçışı önlenerek hatalı ölçümleri de engellediği düşünülmektedir (Czerw vd., 1994; Kumar vd., 2004). Aljinatın periodontal ligamenti koloidal kıvamıyla simüle edebilmesi, elektro iletken olması, kullanımının kolay ve ucuz olması dolayısıyla in vitro çalışmalarda tercih edilmiştir (Baldi vd., 2007; Czerw vd., 1994; Herrera vd., 2007; Lipski vd., 2013; Meares ve Steiman, 2002). Biz de çalışmamızda ağız ortamını taklit etmek amacıyla aljinat modelleri kullandık.

Yapılan bir araştırmada aljinatın sertleştikten sonra ilk 30 dk içerisinde elektronik ölçümlerin en doğru değerleri gösterdiği tespit edilmiştir (Lipski vd., 2013). Bir başka çalışmada ise, nem kaybının en aza indirilmesi için aljinatın sertleşmesini takiben 2 saatlik süre içerisinde elektronik ölçümlerin yapılması gerektiği bildirilmiştir (Lucena-Martin vd., 2004). Bizim çalışmamızda da tüm elektronik ölçümler 2 saatlik sürede tamamlanmıştır.

Elektronik apeks bulucuların doğruluğunu gerçek kök kanal çalışma uzunluğu ile test eden pek çok in vitro çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda apikal daralımın yerini ve gerçek kök kanal uzunluğunun tespit edilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bunlardan biri apikal bölümün aşındırılarak mikroskop altında incelenmesi yöntemidir. Fakat bu yöntem dişte tahribat oluşturarak anatomik yapının orijinalliğinin bozulmasına sebep olur (Schell vd., 2017). Dişlerin şeffaflaştırılarak mikroskop altında incelenmesi yönteminde ise her zaman yeterli derecede şeffaflık sağlanamamaktadır ve uygulanması açısından pratik bir yöntem değildir (Genç Şen, 2007). Birçok çalışmada, gerçek kök kanal çalışma boyunun tespit edilmesinde çıplak göz kök ucundaki eğeyi görmede yetersiz kalacağı için, eğenin

yerinin daha net gözlenebileceği büyütme sistemleri veya dental operasyon mikroskobunun kullanılması gerektiği bildirilmiştir (Bernardes vd., 2007; Guise vd., 2010; Hör vd., 2005; Uzun vd., 2008). Bu nedenle biz de çalışmamızda gerçek kök kanal boyunu belirlemek amacıyla x10 büyütmede dental operasyon mikroskobu kullandık.

Endodontik tedavi yapılırken kök kanalının ön şekillendirilmesi servikal dentinin uzaklaştırılması açısından önemlidir. Böylece ege koronalde sıkışmadan apikal daralığa kolaylıkla erişebilmektedir. Koronal genişletmenin elektronik apeks bulucuların etkinliği üzerine yapılan çalışmalarda ön genişletmeden sonra yapılan ölçümlerin daha yüksek doğruluk oranı gösterdiği bildirilmiştir (Brito-Júnior vd., 2012; de Camargo vd., 2009; Ibarrola vd., 1999; Morgental vd., 2011). Biz de çalışmamızda elektronik ölçümleri gerçekleştirmeden önce kök kanallarına ön genişletme işlemi uyguladık.

Literatürde farklı elektronik apeks bulucuların doğruluklarının karşılaştırıldığı pek çok çalışma mevcuttur. Kök kanal tedavisinde apikal sınır olarak major foramenin referans alındığı bir çalışmada, Dentaport ZX, Raypex 5 ve ProPex II apeks bulucuların in vivo ortamda elektronik olarak elde edilen çalışma boyu ölçüm değerleri, dişler çekildikten sonra gerçek çalışma boyu değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu üç apeks bulucu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farka rastlanmamıştır (Somma vd., 2012). Dentaport ZX ve iPex elektronik apeks bulucuların in vitro ortamda doğruluğunun karşılaştırıldığı bir çalışmada, apikal foramenden 0,5 mm kısa konum referans alınarak, kök kanal uzunluğunun $\pm 0,5$ mm tolerans düzeyiyle belirlenmesinde Dentaport ZX'in doğruluk oranı daha yüksek olmakla birlikte, iki cihaz arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Puri vd., 2013). Dentaport ZX ve Raypex 4'ün doğruluğunun karşılaştırıldığı bir çalışmada ise, Dentaport ZX'in klinik koşullar altında $\pm 0,5$ mm dahilinde apikal foramenin yerini %95 oranında tespit edebildiği bildirilmiştir (Stavrianos vd., 2007).

Root ZX 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 vd., 2010; Swapna vd., 2015). Bu yüzden apeks bulucuların doğruluğunun değerlendirildiği çalışmalarda altın standart olarak kabul edilmektedir (Duran-Sindreu vd., 2012; Goldberg vd., 2005; Lucena-Martin vd., 2004; Moscoso vd., 2014; Vasconcelos vd., 2016; Vasconcelos vd., 2014; Wrbas vd., 2007). Dentaport ZX de Root ZX

ile aynı üretici firma tarafından üretilmektedir. Her ikisi de aynı çalışma prensibine sahiptir ve yüksek düzeyde hassasiyete sahiptirler (D'Assunção vd., 2007; Nekoofar vd., 2006; Saraf vd., 2017). Tüm bunları göz önüne alarak biz de çalışmamızda elektronik ölçümleri yaparken Dentaport ZX elektronik apeks bulucuyu kullandık.

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 (de Vasconcelos vd., 2015; Herrera vd., 2011; Piasecki vd., 2016; Piasecki vd., 2011; Pommer vd., 2002; Real vd., 2011). Bazı çalışmalarda, apikal anatominin benzersiz değişikliği nedeniyle bu tolerans aralığı biraz daha genişletilerek foramene $\pm 1,0$ mm uzaklık da doğru kabul edilmiştir (Bernardes vd., 2007; De Vasconcelos vd., 2010; ElAyouti vd., 2005; Keller vd., 1991; Shabahang vd., 1996; Swapna vd., 2015). Bizim çalışmamızda ölçümler her iki tolerans aralığında da değerlendirilmiştir. Elde edilen değerlerden apikal daralıma $\pm 0,5$ mm aralığında bulunanlar kesin, $\pm 0,5$ mm/ ± 1 mm aralığındaki bulunanlar kabul edilebilir olarak belirlenmiştir (Pagavino vd., 1998; Swapna vd., 2015; Tufenkci ve Kalaycı, 2020; Vajrabhaya ve Tepmongkol, 1997).

Kök kanalının şekillendirilmesi ve doldurulması aşamalarında bitirilmesi gereken apikal sınır, endodontinin tartışma konularından biridir. Yapılan histolojik çalışmalarda, kanal şekillendirme ve doldurma aşamalarının apikal daralımın gerisinde sonlandırılmasının en iyi sonucu verdiğini; güta-perka ve kanal patının apikal dokulara taşması sonucunda ise şiddetli enflamatuvar reaksiyonların gözlemlendiğini bildirmişlerdir (Ricucci ve Langeland, 1998). Bu nedenle de kök kanalını şekillendirme ve doldurma aşamalarının, tam apikal daralımda veya bir miktar gerisinde sonlandırılması gerektiği bildirilmiştir (Ricucci ve Langeland, 1998).

Gerçek kök kanal boyu ile elektronik apeks bulucular ile yapılan ölçümlerin karşılaştırıldığı çalışmalarda gerçek kök kanal boyunun apikal sınırı, bazı çalışmalarda apikal foramen (majör foramen), bazılarında ise apikal daralım (minör foramen) olarak belirtilmiştir (Bernardes vd., 2007; Hoer ve Attin, 2004; Lucena-Martin vd., 2004; Ounsi ve Naaman, 1999; Plotino vd., 2006; Tselnik vd., 2005).

Gerçek kök kanal boyunun apikal sınırının apikal foramen olarak kabul edildiği çalışmalarda, bir büyüteç ya da ışık mikroskobu yardımıyla apikal foramen tespit edilmiş ve kanal aleti foramenden görülene kadar ilerletilmiştir. Dişin kurunda alınan referans noktası ile apikal foramen arası mesafe gerçek kök kanal boyu olarak belirlenmiştir (Bernardes vd., 2007; Kaufman vd., 2002; Lucena-Martin vd., 2004; Ounsi ve Naaman, 1999).

Gerçek kök kanal boyunun apikal sınırının apikal daralım olarak kabul edildiği çalışmalarda ise apikal daralım iki farklı yöntemle tespit edilmiştir. Bunlardan birincisinde; apikal foramen tespit edildikten sonra apikal foramen ve koronal bölgede belirlenen referans düzlemi arasındaki mesafe ölçülmüştür. Apikal daralımın apikal foramen'in 0,5-1 mm gerisinde olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle ölçülen değerden 0,5 ya da 1 mm çıkartılarak elde edilen uzunluk, gerçek kök kanal boyu olarak kabul edilmiştir (DAssunção vd., 2006; Huang, 1987; Plotino vd., 2006). İkinci yöntemde ise; dişlerin kök ucundaki 3-4 mm'lik bölümünde, kanal aleti görülene kadar kökün apikal bölgesinde aşındırma yapılarak ışık mikroskobu yardımıyla farklı büyütme oranlarında apikal daralım görsel olarak tespit edilmiştir. Gerçek kök kanal boyu, apikal daralım ile koronal bölgede belirlenen referans düzlemi arasındaki mesafe ölçülerek bulunmuştur (Hoer ve Attin, 2004; Tselnik vd., 2005; Welk vd., 2003).

Literatürde, kök kanal tedavisinin sonlandırılması istenen ideal apikal seviyenin, apikal daralım olması gerektiğini ileri süren çalışmalar doğrultusunda, çalışmamızda gerçek kök kanal çalışma boyunun apikal sınırını apikal daralım (fizyolojik foramen) olarak belirledik. Apikal foramen ve koronal bölgede belirlenen referans noktası arasındaki mesafeyi ölçerek elde edilen değeri gerçek kök kanal boyu olarak kaydettik. Apikal daralımın apikal foramen'in 0,5-1 mm gerisinde olduğu bilgisine dayanarak da gerçek kök kanal boyu olarak kaydettiğimiz değerden 0,5 mm çıkararak elde ettiğimiz sonucu gerçek kök kanal çalışma boyu olarak kabul ettik.

Root ZX ve Elements Diagnostic elektronik apeks bulucularının %2,6 NaOCl irrigasyon solüsyonu varlığında fizyolojik foramenin yerini tespit etmedeki doğruluklarının karşılaştırıldığı bir çalışmada, Root ZX'in $\pm 0,5$ mm marjın aralığında %75, ± 1 mm marjın aralığında ise %88,9 oranında doğru sonuç verdiği rapor edilmiştir (Tselnik vd., 2005). Root ZX ve Novapex elektronik apeks bulucularının %2,5 NaOCl irrigasyon solüsyonu varlığında apikal foramenin yerini belirlemedeki doğruluğunu karşılaştıran bir çalışmada, Root ZX'in

$\pm 0,5$ mm tolerans aralığında %89,7 oranında doğruluk gösterdiği bildirilmiştir (DAssunção vd., 2006). Dentaport ZX ve Raypex 6'nın majör foramenleri tespit etmedeki doğruluğunun karşılaştırıldığı bir çalışmada ise Dentaport ZX'in $\pm 0,5$ mm'ye kadar %82,35 ve ± 1 mm'ye kadar %97,05 oranında doğruluk gösterdiği bildirilmiştir (Moscoso vd., 2014). İn vivo yapılan bir çalışmada Root ZX ve iPex elektronik apeks bulucuların apikal daralımı belirlemede doğruluğu karşılaştırılmış ve Root ZX'in $\pm 0,5$ mm tolerans aralığında %72, ± 1 mm tolerans aralığında ise %100 oranında doğruluk sergilediği bildirilmiştir (Stöber vd., 2011). Root ZX ve SybronEndo Mini'nin çeşitli irrigasyon maddelerinin varlığında doğruluğunu karşılaştıran in vitro bir çalışmada Root ZX'in doğruluğu $\pm 0,5$ mm tolerans aralığında %88,3 oranında bulunmuştur (Mull vd., 2012). Bir başka çalışmada in vivo koşullarda Root ZX'in apikal daralmayı belirlemede $\pm 0,5$ mm tolerans aralığında %82,3 oranında doğru olduğu belirtilmiştir (Dunlap vd., 1998).

Bizim çalışmamızın sonuçlarına göre; fizyolojik foramen (apikal daralım) tespitinde elektronik apeks bulucuların belirlediği değerler (EFF) ile gerçek kök kanal çalışma boyu değerleri (GFF) arasındaki fark $\pm 0,5$ mm tolerans aralığında %80,3, ± 1 mm tolerans aralığında ise %100 oranında doğruluk göstermiştir ve istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır. Majör foramen (apikal foramen) tespitinde ise, elektronik apeks bulucuların belirlediği değerler (EMF) ile gerçek kök kanal boyu değerleri (GMF) arasındaki fark $\pm 0,5$ mm tolerans aralığında %91, ± 1 mm tolerans aralığında ise %100 oranında doğruluk göstermiştir ve istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır.

Günümüze kadar yapılan birçok çalışmada elektronik apeks bulucuların ölçüm doğruluklarının irrigasyon solüsyonları ve elektro iletken sıvılardan etkilenip etkilenmediği araştırılmıştır. Bazı araştırmacılar farklı solüsyonların elektronik apeks bulucuların doğruluğunu etkilediğini desteklerken (Chen vd., 2011; Fan vd., 2006; McDonald ve Hovland, 1990); bazıları ise sonuçları etkilemediğini iddia etmiştir (Jenkins vd., 2001; Tchorz vd., 2013). Kanal içinde yıkama solüsyonu varlığı ve yokluğunda elektronik apeks bulucuların doğruluğunun incelendiği bir çalışmada Root ZX'in kanal içi solüsyon varlığında daha iyi ölçümler yaptığı saptanmıştır (Venturi ve Breschi, 2007).

Çeşitli kanal koşullarının elektronik çalışma uzunluğu belirleme doğruluğu üzerindeki etkileriyle ilgili olarak yapılan çalışmalarda birbiriyle örtüşmeyen sonuçlara rastlanmıştır. ProPex elektronik apeks bulucunun %2,5 NaOCl, %0,9 salin ve %0,2 CHX glukonat

solüsyonları varlığında doğruluğunun karşılaştırıldığı bir çalışmada, CHX glukonat grubunun gerçek çalışma boyuna uzaklığı en küçük, salin grubunun ise en büyük mesafeye sahip olduğu belirtilmiştir (Özsezer vd., 2007). Bizim çalışmamızda ise gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı fark olmamakla birlikte gerçek çalışma boyuna uzaklığı en küçük olan grubun serum fizyolojik grubu, en büyük mesafeye sahip olan grubun ise CHX grubunun olduğu saptanmıştır. Bu farklılık kullanılan elektronik apeks bulucunun farklı olmasından ve CHX solüsyonunun derişiminin farklılığından kaynaklanabilir.

Yapılan bir çalışmada, kanal içinde NaOCl ve serum fizyolojik gibi elektro iletkenliği yüksek solüsyonlar varlığında, CHX ve EDTA varlığına göre, kullanılan elektronik apeks bulucunun daha yüksek doğruluk sergilediği bildirilmiştir (Mull vd., 2012). Elektro iletkenliği düşük olan solüsyonlarla yapılan çalışmalarda, gerçek ölçüm değerlerinden daha uzun ölçümler kaydedilmiştir (Mull vd., 2012; Pilot ve Pitts, 1997). Bunu destekleyen bir başka çalışmada ise araştırmacılar, kanal içindeki solüsyonun elektro iletkenliği düşük olduğunda elektronik apeks bulucuların yaptığı ölçümlerin tutarsız veya hatalı olabileceğini belirtmiştir (Venturi ve Breschi, 2007). Çalışmamızın bulguları bu çalışmalarla paralellik göstermektedir. Bizim çalışmamızda da NaOCl, AgNP ve serum fizyolojik grubunda GMF ortalaması EMF ortalamasından daha yüksek bulunmuştur. Yani elektronik ölçümler, gerçek değerlere göre daha kısa ölçüm değerleri göstermiştir. Kullanılan irrigasyon solüsyonlarının elektro iletkenliğindeki farklılık, cihazın doğru ölçüm başarısını etkileyebilir.

IPex ve Root ZX elektronik apeks bulucuların doğruluklarının %2,5 NaOCl ve %2 CHX kullanılarak in vivo ortamda değerlendirildiği bir çalışmada, ne iPex'in ne de Root ZX'in doğruluğunun kullanılan irrigasyon solüsyonundan etkilenmediği bildirilmiştir (Duran-Sindreu vd., 2013).

Root ZX ve i-Root apeks bulucuların %0,9 salin, %3 NaOCl, %2 CHX diglukonat ve %17 EDTA irrigasyon solüsyonları varlığında doğruluklarının değerlendirildiği bir çalışmanın sonucunda, her iki elektronik apeks bulucunun da güvenle kullanılabileceği ve kök kanal içeriğinin Root ZX ve i-Root'un doğruluğunu etkilemediği bildirilmiştir (Prasad vd., 2016).

Root ZX ve SybronEndo Mini'nin kullanıldığı bir çalışmada, %0,9 salin, %1 NaOCl, %2 CHX ve %17 EDTA irrigasyon solüsyonları varlığının apeks bulucuların doğruluğuna

etkisi incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada Root ZX'in $\pm 0,5$ mm tolerans aralığında %2 CHX varlığında elde edilen elektronik ölçümlerde anlamlı fark bulunmuştur (Mull vd., 2012).

Root ZX'in %0,9 serum fizyolojik, %0,2 CHX ve %2,5 NaOCl varlığında çalışma uzunluğunu belirlemedeki doğruluğunun değerlendirildiği bir çalışmada, kanalda %2,5 NaOCl varlığında ölçüm yapıldığında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur. Ancak elektronik ölçümlerin klinik olarak kabul edilebilir 0,5 mm aralığında olması sebebiyle klinik öneminin olmadığı belirtilmiştir. Araştırmacılar, çalışmadaki bu istatistiksel farkın NaOCl'nin daha yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olması dolayısıyla olabileceği şeklinde yorumlamışlardır. Root ZX'in apikal foramene 0,5 mm mesafede %100 doğru olduğu ve bahsedilen irrigasyon solüsyonları varlığında güvenle kullanılabileceği bildirilmiştir (Khattak vd., 2014).

Yaptığımız çalışmada kök kanal tedavisinde uygulanan klinik prosedür in vitro modellere yansıtılmaya çalışılmış ve önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar ile farklı sonuçların ortaya çıkması diş seçimine, kök kanal tedavisinde kullanılan materyallere (eğnin çapına, kullanılan irrigasyon solüsyonlarının elektro iletkenliğinin farklı olmasına ve irrigasyon solüsyonlarının derişimlerinin farklılığına), elektronik apeks bulucuların farklılığına, in vitro simülasyon modellerine ve çalışmayı gerçekleştiren operatöre bağlı değişkenliklerden kaynaklandığını düşünmekteyiz.

Nanopartiküller, diş enfeksiyonlarını tedavi etmek ve önlemek için yeni bir strateji sağlayabilir (Estrela vd., 2016). Nanopartiküllerin geniş yüzey alanı ve yüksek yük yoğunluğu, bunların bakteriyel hücrelerin negatif yüklü yüzeyi ile daha büyük ölçüde etkileşime girmesini sağlar ve bu da antimikrobiyal aktivitenin artmasına neden olur (Cao vd., 2018).

Metal ve organik nanopartiküller, geniş spektrumlu bakterisidal özelliklerinden dolayı diş hekimliğinin çeşitli alanlarında uygulanmaktadır (Estrela vd., 2016). Nanopartiküllerin antibakteriyel özellikleriyle ilgili ve nanopartiküllerin ilaca dirençli bakterilerde üstün antibakteriyel aktiviteye sahip olduğunu gösteren pek çok çalışma mevcuttur (Cao vd., 2017; Fernandes vd., 2018; Kasraei vd., 2014). Bu nedenle nanopartiküllerin diş hekimliğinde uygulanması özellikle avantajlı olabilir.

PubMed üzerinden yapılan literatür taramasında elektronik apeks bulucuların doğruluğunun araştırıldığı çalışmalarda henüz nanopartikül içerikli solüsyonların etkileriyle ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu sebeple biz de çalışmamızda AgNP ve %0,2 derişimli kitosan çözeltisini, endodontik tedavide sıklıkla kullanılan NaOCl, EDTA, CHX ve serum fizyolojik solüsyonlarıyla karşılaştırarak, nanopartikül içerikli irrigasyon solüsyonlarının elektronik apeks bulucunun doğruluğuna etkisini incelemeyi amaçladık.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışmamızda AgNP ve kitosan çözeltisinin Dentaport ZX elektronik apeks bulucunun doğruluğuna etkisi değerlendirilerek; NaOCl, EDTA, CHX ve serum fizyolojik solüsyonlarıyla karşılaştırılmıştır.

- 1- Gerçek kök kanal boyu tespitinde gerçek değerler ile elektronik ölçüm değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$).
- 2- Gerçek kök kanal çalışma boyu tespitinde CHX grubunda elektronik ölçüm değerleri ile gerçek değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar görülse de ölçümlerin çoğunun $\pm 0,5$ mm marjin aralığında olması ve ± 1 mm marjin aralığı dışında herhangi bir ölçüm değeri olmaması dolayısıyla klinik açıdan önemli olmadığı öngörülmektedir.
- 3- Gerçek kök kanal boyu tespitinde Dentaport ZX ile elde edilen ölçümlerin, %91'i $\pm 0,5$ mm tolerans aralığında bulunurken, %100'ü ± 1 mm tolerans aralığında yer almaktadır.
- 4- Gerçek kök kanal çalışma boyu tespitinde Dentaport ZX ile elde edilen ölçümlerin %80,3'ü $\pm 0,5$ mm tolerans aralığında bulunurken, %100'ü ± 1 mm tolerans aralığında yer almaktadır.
- 5- Çalışmamızda kullanılan irrigasyon solüsyonlarının Dentaport ZX elektronik apeks bulucunun doğruluğunu etkilemediği tespit edilmiştir. AgNP ve kitosan çözeltisi endodontik tedavilerde, kök kanal tedavisi irrigasyonunda ve çalışma boyu belirlenirken güvenle kullanılabilir.

Nanopartikül içerikli irrigasyon solüsyonlarının kök kanal tedavisinde alternatif bir irrigasyon solüsyonu olarak kullanılabilmesi geliştirilmeye açık bir araştırma konusudur. Nanopartiküllerin uygulanabilirliğini ve uzun vadeli prognozunu değerlendiren klinik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abbaszadegan, A., Khayat, A., & Motamedifar, M. (2010). Comparison of antimicrobial efficacy of IKI and NaOCl irrigants in infected root canals: An in vivo study. *Iran Endod J*, 5(3), 101.
- Aggarwal, V., Singla, M., & Kabi, D. (2010). An in vitro evaluation of performance of two electronic root canal length measurement devices during retreatment of different obturating materials. *J Endod*, 36(9), 1526-1530. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.04.016>
- 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 J Dent*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5893790>
- 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), 129-132. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.04.018>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.09.032>
- Alhadainy, H. A. (1994). Root perforations: A review of literature. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 78(3), 368-374. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(94\)90070-1](https://doi.org/10.1016/0030-4220(94)90070-1)
- Al-Hadlaq, S. M. (2013). Effect of chloroform, orange solvent and eucalyptol on the accuracy of four electronic apex locators. *Aust Endod J*, 39(3), 112-115. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2011.00323.x>
- Altunbaş, D., Kuştarıcı, 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.10.031>
- Alves, A. M. H., Felipe, M. C. S., Felipe, W. T., & Rocha, M. J. C. (2005). Ex vivo evaluation of the capacity of the Tri Auto ZX to locate the apical foramen during root canal retreatment. *Int Endod J*, 38(10), 718-724. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.01007.x>
- Aubut, V., Pommel, L., Verhille, B., Orsière, T., Garcia, S., About, I., & Camps, J. (2010). Biological properties of a neutralized 2.5% sodium hypochlorite solution. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 109(2), 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.09.022>
- Aurelio, J. A., Nahmias, Y., & Gerstein, H. (1983). A model for demonstrating an electronic canal length measuring device. *J endod*, 9(12), 568-569. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(83\)80063-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(83)80063-6)
- Azabal, M., Garcia-Otero, D., & De la Macorra, J. C. (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. <https://doi.org/10.1111/j.0143-2885.2004.00776.x>
- Baldi, J. V., Victorino, F. R., Bernardes, R. A., de Moraes, I. G., Bramante, C. M., Garcia, R. B., & Bernardineli, N. (2007). Influence of embedding media on the assessment of electronic apex locators. *J Endod*, 33(4), 476-479. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.12.024>

- Ballal, N. V., Kundabala, M., Bhat, K. S., Acharya, S., Ballal, M., Kumar, R., & Prakash, P. Y. (2009). Susceptibility of *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis* to Chitosan, Chlorhexidine gluconate and their combination in vitro. *Aust Endod J*, 35(1), 29-33. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2008.00126.x>
- Bapat, R. A., Chaubal, T. V., Joshi, C. P., Bapat, P. R., Choudhury, H., Pandey, M., Gorain, B., & Kesharwani, P. (2018). An overview of application of silver nanoparticles for biomaterials in dentistry. *Mater Sci Eng: C*, 91, 881-898. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.05.069>
- 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 Paedia Dent*, 31(1), 143-151. <https://doi.org/10.1111/ipd.12682>
- Barbin, L. E., Saquy, P. C., Guedes, D. F. C., Sousa-Neto, M. D., Estrela, C., & Pécora, J. D. (2008). Determination of para-chloroaniline and reactive oxygen species in chlorhexidine and chlorhexidine associated with calcium hydroxide. *J Endod*, 34(12), 1508-1514. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.08.032>
- Barreras, U. S., Méndez, F. T., Martínez, R. E. M., Valencia, C. S., Rodríguez, P. R. M., & Rodríguez, J. P. L. (2016). Chitosan nanoparticles enhance the antibacterial activity of chlorhexidine in collagen membranes used for periapical guided tissue regeneration. *Mater Sci Eng: C*, 58, 1182-1187. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.09.085>
- Barthelemy, J., Gregor, L., Krejci, I., Wataha, J., & Bouillaguet, S. (2009). Accuracy of electronic apex locater-controlled handpieces. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 107(3), 437-441. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2008.11.010>
- Basmadjian-Charles, C. L., Farge, P., Bourgeois, D. M., & Lebrun, T. (2002). Factors influencing the long-term results of endodontic treatment: a review of the literature. *Int Dent J*, 52(2), 81-86. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595X.2002.tb00605.x>
- Basrani, B. (2005). Chlorhexidine gluconate. *Aust Endod J*, 31(2), 48-52. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2005.tb00221.x>
- Basrani, B. R., Manek, S., Sodhi, R. N., Fillery, E., & Manzur, A. (2007). Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J endod*, 33(8), 966-969. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.04.001>
- Basrani, B., and Haapasalo, M. (2012). Update on endodontic irrigating solutions. *Endodontic Topics*, 27(1), 74-102. <https://doi.org/10.1111/etp.12031>
- Basrani, B., Tjäderhane, L., Santos, J. M., Pascon, E., Grad, H., Lawrence, H. P., & Friedman, S. (2003). Efficacy of chlorhexidine-and calcium hydroxide-containing medicaments against *Enterococcus faecalis* in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 96(5), 618-624. [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(03\)00166-5](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(03)00166-5)
- Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. (2019). The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical–physical applications to nanomedicine. *Molecules*, 25(1), 112. <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>
- Berman, L. H., Hargreaves, K. M. (2015). *Cohen's pathways of the pulp expert consult*. Missouri: Elsevier Health Sciences.
- Berman, L. H., Hargreaves, K. M. (2023). *Cohen's pathways of the pulp*. Ankara: Ankara Nobel Tıp Kitabevi.

- Bernardes, R. A., Duarte, M. A., Vasconcelos, B. C., Moraes, I. G., Bernardineli, N., Garcia, R. B., Baldi, J. V., Victorino, F. R., & Bramante, C. M. (2007). Evaluation of precision of length determination with 3 electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator, and RomiAPEX D-30. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 104(4), 91-94. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.05.016>
- Bhardwaj, A., Bhardwaj, A., Misuriya, A., Maroli, S., Manjula, S., & Singh, A. K. (2014). Nanotechnology in dentistry: Present and future. *J Int Oral Health*, 6(1), 121.
- Bolbolian, M., Golchin, S., & Faegh, S. (2018). In vitro Evaluation of the Accuracy of the Root Zx in the Presence of Naocl 2.5% and Chlorhexidine 0.2%. *J Clin Exp Dent*, 10(11), e1054. <https://doi.org/10.4317/jced.54193>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.02.019>
- Brito-Júnior, M., Camilo, C. 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, 538-543.
- Budak, N. (2017). Elektronik kök kanal uzunluğu ölçüm cihazları. *Aydin Dent J*, 3(2), 49-60.
- Bui, T. B., Baumgartner, J. C., & Mitchell, J. C. (2008). Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate and its effect on root dentin. *J Endod*, 34(2), 181-185. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.11.006>
- Byström, A., and Sunqvist, G. (1985). The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J*, 18(1), 35-40. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1985.tb00416.x>
- Cao, W., Zhang, Y., Wang, X., Chen, Y., Li, Q., Xing, X., Xiao, Y., Peng, X., & Ye, Z. (2017). Development of a novel resin-based dental material with dual biocidal modes and sustained release of Ag⁺ ions based on photocurable core-shell AgBr/cationic polymer nanocomposites. *J Mater Sci., Mater Med*, 28, 1-11.
- Cao, W., Zhang, Y., Wang, X., Li, Q., Xiao, Y., Li, P., Wang, L., Ye, Z., & Xing, X. (2018). Novel resin-based dental material with anti-biofilm activity and improved mechanical property by incorporating hydrophilic cationic copolymer functionalized nanodiamond. *J Mater Sci., Mater Med*, 29, 1-13.
- Cehreli, Z. C., Uyanik, M. O., Nagas, E., Tuncel, B., Er, N., & Comert, F. D. (2013). A comparison of residual smear layer and erosion following different endodontic irrigation protocols tested under clinical and laboratory conditions. *Acta Odontol Scand*, 71(5), 1261-1266. <https://doi.org/10.3109/00016357.2012.757647>
- Chandler, N., and 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. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(07\)80218-4](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(07)80218-4)
- Charannya, S., Duraivel, D., Padminee, K., Poorni, S., Nishanthine, C., & Srinivasan, M. R. (2018). Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of silver nanoparticles and 2% chlorhexidine gluconate when used alone and in combination assessed using agar diffusion method: An: In vitro: Study. *Contemp Clin Dent*, 9(2), 204-209. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_869_17

- Chávez-Andrade, G. M., Tanomaru-Filho, M., Rodrigues, E. M., Gomes-Cornélio, A. L., Faria, G., Bernardi, M. I. B., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2017). Cytotoxicity, genotoxicity and antibacterial activity of poly (vinyl alcohol)-coated silver nanoparticles and farnesol as irrigating solutions. *Arch Oral Biol*, 84, 89-93. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.09.028>
- Chen, E., Kaing, S., Mohan, H., Ting, S. Y., Wu, J., & Parashos, P. (2011). An ex vivo comparison of electronic apex locator teaching models. *J Endod*, 37(8), 1147-1151. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.03.032>
- Chhabra, R. S., Huff, J. E., Haseman, J. K., Elwell, M. R., & Peters, A. C. (1991). Carcinogenicity of p-chloroaniline in rats and mice. *Food Chem Toxicol*, 29(2), 119-124. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(91\)90166-5](https://doi.org/10.1016/0278-6915(91)90166-5)
- Christensen, C. E., McNeal, S. F., & Eleazer, P. (2008). Effect of lowering the pH of sodium hypochlorite on dissolving tissue in vitro. *J Endod*, 34(4), 449-452. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.01.001>
- Christopher, U., and Emmanuel, A. (2010). Flare-up incidence and related factors in adults. *J Dent Oral Hyg*, 2(2), 19-22.
- Chugal, N. M., Clive, J. M., & Spångberg, L. S. (2003). Endodontic infection: some biologic and treatment factors associated with outcome. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 96(1), 81-90. [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(02\)91703-8](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(02)91703-8)
- Cianconi, L., Angotti, V., Felici, R., Conte, G., & Mancini, M. (2010). Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography: an ex vivo study. *J Endod*, 36(12), 2003-2007. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.08.036>
- Custer, L. E. (1918). Exact method of locating the apical foramen. *The Dental Register*, 72(9), 420.
- Cvek, M., Nord, C. E., & Hollender, L. (1976). Antimicrobial effect of root canal débridement in teeth with immature root. A clinical and microbiologic study. *Odontol Revy*, 27(1), 1-10.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80086-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80086-5)
- Çalışkan, M. K. (2006). *Endodontide tanı ve tedaviler*. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri.
- Çınar, F., and 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. <https://doi.org/10.14744/eej.2020.30633>
- D'assunção, F. L. C., Albuquerque, D. S., Salazar-Silva, J. R., Dos Santos, V. C., & Sousa, J. C. N. (2010). Ex vivo evaluation of the accuracy and coefficient of repeatability of three electronic apex locators using a simple mounting model: a preliminary report. *Int Endod J*, 43(4), 269-274. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01674.x>
- 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), 50-53. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.03.025>
- DAssunção, F. L. C., de Albuquerque, D. S., & de Queiroz Ferreira, L. C. (2006). The ability of two apex locators to locate the apical foramen: an in vitro study. *J Endod*, 32(6), 560-562. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.11.011>

- Davies, A. (1973). The mode of action of chlorhexidine. *J Period Res*, 8, 68-75. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.1973.tb02167.x>
- de Almeida Gomes, B. P. F., Vianna, M. E., Matsumoto, C. U., Zaia, A. A., Ferraz, C. C. R., & de Souza Filho, F. J. (2005). Disinfection of gutta-percha cones with chlorhexidine and sodium hypochlorite. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 100(4), 512-517. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2004.10.002>
- De Almeida, J., Cechella, B. C., Bernardi, A. V., de Lima Pimenta, A., & Felipe, W. T. (2018). Effectiveness of nanoparticles solutions and conventional endodontic irrigants against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Indian J Dent Res*, 29(3), 347-351.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.05.030>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.06.009>
- De Vasconcelos, B. C., Do Vale, T. M., De Menezes, A. S. T., Pinheiro-Junior, E. C., Vivacqua-Gomes, N., Bernardes, R. A., & Duarte, M. A. H. (2010). An ex vivo comparison of root canal length determination by three electronic apex locators at positions short of the apical foramen. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 110(2), 57-61. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2010.03.005>
- del Carpio-Perochena, A., Bramante, C. M., Duarte, M. A. H., de Moura, M. R., Aouada, F. A., & Kishen, A. (2015). Chelating and antibacterial properties of chitosan nanoparticles on dentin. *Restor Dent Endod*, 40(3), 195. <https://doi.org/10.5395/rde.2015.40.3.195>
- Denton, G. W. (1991). *Dis-infection, sterilization and preservative*. Chlorhexidine.
- 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. <https://doi.org/10.1097/00004770-200103000-00015>
- Dimitrov, S., and Roshkev, D. (2009). Sixth generation adaptive apex locator. *Journal of IMAB-Annual Proceeding (Scientific Papers)*, 15(2009), 75-78.
- Duan, C., Meng, X., Meng, J., Khan, M. I. H., Dai, L., Khan, A., An, X., Zhang, J., Huq, T., & Ni, Y. (2019). Chitosan as a preservative for fruits and vegetables: a review on chemistry and antimicrobial properties. *J. Biores. Biopr.* 4(1), 11-21. <https://doi.org/10.21967/jbb.v4i1.189>
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1984.tb00404.x>
- 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.
- Durán, N., Nakazato, G., & Seabra, A. B. (2016). Antimicrobial activity of biogenic silver nanoparticles, and silver chloride nanoparticles: an overview and comments. *Appl Microbiol Biotechnol*, 100, 6555-6570.

- Duran-Sindreu, F., Gomes, S., Stöber, 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. <https://doi.org/10.1111/iej.12057>
- Duran-Sindreu, F., Stöber, 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.10.008>
- Ebrahim, A. K., Wadachi, R., & Suda, H. (2006). Ex vivo evaluation of the ability of four different electronic apex locators to determine the working length in teeth with various foramen diameters. *Aust Endod J*, 51(3), 258-262. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2006.tb00439.x>
- Ebrahim, A. K., Wadachi, R., & Suda, H. (2007). An in vitro evaluation of the accuracy of Dentaport ZX apex locator in enlarged root canals. *Aust Endod J*, 52(3), 193-197. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2007.tb00488.x>
- Ebrahim, A. K., 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. *Aust Endod J*, 51(2), 153-157. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2006.tb00419.x>
- Elakanti, S., Cherukuri, G., Rao, V. G., Chandrasekhar, V., Rao, A. S., & Tummala, M. (2015). Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of QMix™ 2 in 1, sodium hypochlorite, and chlorhexidine against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. *J Conserv Dent Endod*, 18(2), 128-131.
- ElAyouti, A., and Löst, C. (2006). A simple mounting model for consistent determination of the accuracy and repeatability of apex locators. *Int Endod J*, 39(2), 108-112. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01052.x>
- ElAyouti, A., Dima, E., Ohmer, J., Sperl, K., von Ohle, C., & Löst, C. (2009). Consistency of apex locator function: a clinical study. *J Endod*, 35(2), 179-181. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.10.017>
- ElAyouti, A., Hülber-J, M., Judenhofer, M. S., Connert, T., Mannheim, J. G., Löst, C., Ichler, B. J., & von Ohle, C. (2014). Apical constriction: location and dimensions in molars—a micro-computed tomography study. *J Endod*, 40(8), 1095-1099. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.12.002>
- ElAyouti, A., Kimionis, I., Chu, A. L., & Löst, C. (2005). Determining the apical terminus of root-end resected teeth using three modern apex locators: a comparative ex vivo study. *Int Endod J*, 38(11), 827-833. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.01024.x>
- ElAyouti, A., Weiger, R., & Löst, C. (2001). Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. *J Endod*, 27(1), 49-52. <https://doi.org/10.1097/00004770-200101000-00018>
- ElAyouti, A., Weiger, R., & Löst, C. (2002). The ability of root ZX apex locator to reduce the frequency of overestimated radiographic working length. *J Endod*, 28(2), 116-119. <https://doi.org/10.1097/00004770-200202000-00017>
- Eliot, C., Hatton, J. F., Stewart, G. P., Hildebolt, C. F., Jane Gillespie, M., & Gutmann, J. L. (2014). The effect of the irrigant QMix on removal of canal wall smear layer: an ex vivo study. *Odontology*, 102, 232-240.
- Enes Odabaş, M., Bodur, H., Tulunoğlu, Ö., & Alaçam, A. (2011). Accuracy of an electronic apex locator: a clinical evaluation in primary molars with and without resorption. *J Clin Pediatr Dent*, 35(3), 255-258.

- Ergeldi, A. (2021). Farklı apeks bulucuların doğruluğunun mikro bilgisayarlı tomografi kullanılarak değerlendirilmesi. [Uzmanlık Tezi]. Ankara Üniversitesi.
- Espinosa-Cristóbal, L. F., Martínez-Castañón, G. A., Loyola-Rodríguez, J. P., Niño-Martínez, N., Ruiz, F., Zavala-Alonso, N. V., Lara, R. H., & Reyes-López, S. Y. (2016). Bovine serum albumin and chitosan coated silver nanoparticles and its antimicrobial activity against oral and nonoral bacteria. *Journal of Nanomaterials*, 16(1), 366-366.
- Estrela, C., Carrião, M. S., Bakuzis, A. F., & Lopes, L. G. (2016). Silver nanoparticles in resin luting cements: Antibacterial and physiochemical properties. *J Clin Exp Dent*, 8(4), e415. <https://doi.org/10.4317/jced.52983>
- Estrela, C., Estrela, C. R., Barbin, E. L., Spanó, J. C. E., Marchesan, M. A., & Pécora, J. D. (2002). Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian Dental Journal*, 13, 113-117.
- Estrela, C., Holland, R., Estrela, C. R. D. A., Alencar, A. H. G., Sousa-Neto, M. D., & Pécora, J. D. (2014). Characterization of successful root canal treatment. *Brazilian Dental Journal*, 25, 3-11. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201302356>
- Fan, W., Fan, B., Gutmann, J. L., Bian, Z., & Fan, M. W. (2006). Evaluation of the accuracy of three electronic apex locators using glass tubules. *Int Endod J*, 39(2), 127-135. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01056.x>
- Fernandes, G. L., Delbem, A. C. B., Do Amaral, J. G., Gorup, L. F., Fernandes, R. A., de Souza Neto, F. N., Souza, J. A. S., Monteiro, D. R., Hunt, A. M. A., Camargo, E. R., & Barbosa, D. B. (2018). Nanosynthesis of silver-calcium glycerophosphate: promising association against oral pathogens. *Antibiotics*, 7(3), 52. <https://doi.org/10.3390/antibiotics7030052>
- Flores, C. Y., Díaz, C., Rubert, A., Benitez, G. A., Moreno, M. S., de Mele, M. F. L., Salvarezza, R. C., Schilardi, P. L., & Vericat, C. (2010). Spontaneous adsorption of silver nanoparticles on Ti/TiO₂ surfaces. Antibacterial effect on *Pseudomonas aeruginosa*. *J Colloid Interface Sci*, 350(2), 402-408. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.06.052>
- Frank, A. L., & Torabinejad, M. (1993). An in vivo evaluation of Endex electronic apex locator. *J Endod*, 19(4), 177-179. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80683-7](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80683-7)
- 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. [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(96\)80361-1](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(96)80361-1)
- Garg, N., and Garg, A. (2010). *Textbook of endodontics*. Boydell & Brewer Ltd.
- Gazzaneo, I., Vieira, G. C., Pérez, A. R., Alves, F. R., Gonçalves, L. S., Mdala, I., SIQUEIRA, J. R. J. F., & Rôças, I. N. (2019). Root canal disinfection by single-and multiple-instrument systems: effects of sodium hypochlorite volume, concentration, and retention time. *J Endod*, 45(6), 736-741. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.02.017>
- Genç Şen, Ö. (2007). Endodontide çalışma boyunun doğruluğunu araştırmada kullanılan yöntemler. *Türkiye Klinikleri J Endod-Special Topics*, 3(1), 38-41.
- Goaz, P. W. (1994). *White, sc; oral radiology: Principles and interpretation*. st. Louis: The CV, Mosby Co.
- Goldberg, F., De Silvio, A. C., Manfré, S., & Natri, N. (2002). In vitro measurement accuracy of an electronic apex locator in teeth with simulated apical root resorption. *J Endod*, 28(6), 461-463. <https://doi.org/10.1097/00004770-200206000-00011>

- Goldberg, F., Frajlich, S., Kuttler, S., Manzur, E., & Briseño-Marroquín, B. (2008). The evaluation of four electronic apex locators in teeth with simulated horizontal oblique root fractures. *J Endod*, 34(12), 1497-1499. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.09.002>
- 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. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000155226.03483.ff>
- Goldman, M., Kronman, J. H., Goldman, L. B., Clausen, H., & Grady, J. (1976). New method of irrigation during endodontic treatment. *J Endod*, 2(9), 257-260. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(76\)80085-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(76)80085-4)
- Gomes, B. P. F. A., Ferraz, C. C. R., ME, V., Berber, V. B., Teixeira, F. B., & Souza-Filho, F. J. (2001). In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J*, 34(6), 424-428. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2001.00410.x>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.05.018>
- Gordon, M. P. J., and Chandler, N. P. (2004). Electronic apex locators. *Int Endod J*, 37(7), 425-437. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2004.00835.x>
- Gorni, F. G., & Gagliani, M. M. (2004). The outcome of endodontic retreatment: a 2-yr follow-up. *J Endod*, 30(1), 1-4. <https://doi.org/10.1097/00004770-200401000-00001>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.11.006>
- Grawehr, M., Sener, B., Waltimo, T., & Zehnder, M. (2003). Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J*, 36(6), 411-415. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00670.x>
- Green, D. (1956). A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 9(11), 1224-1232. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(56\)90192-X](https://doi.org/10.1016/0030-4220(56)90192-X)
- Green, D. (1960). Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 13(6), 728-733. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(60\)90373-X](https://doi.org/10.1016/0030-4220(60)90373-X)
- Grossman, L. I. (1943). Irrigation of root canals. *J Am Dent Assoc*, 30(23), 1915-1917. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1943.0397>
- Guise, G. M., Goodell, G. G., & Imamura, G. M. (2010). In vitro comparison of three electronic apex locators. *J Endod*, 36(2), 279-281. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.016>
- Gutmann, J. L. (2016). Apical termination of root canal procedures—ambiguity or disambiguation?. *Evidence-Based Endodontics*, 1, 1-22.
- Gutmann, J. L., and Lovdahl, P. E. (2010). *Problem solving in endodontics: prevention, identification and management*. Missouri: Elsevier Health Sciences.

- Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., & Gao, Y. (2014). Irrigation in endodontics. *Br Dent J*, 216(6), 299-303.
- Haffner, C., Folwaczny, M., Galler, K., & Hickel, R. (2005). Accuracy of electronic apex locators in comparison to actual length—an in vivo study. *J Dent* 33(8), 619-625. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2004.11.017>
- Hand, R. E., Smith, M. L., & Harrison, J. W. (1978). Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *J Endod*, 4(2), 60-64. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(78\)80255-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(78)80255-6)
- Hargreaves, K. M., and Cohen, S. (2010). *Cohen's pathways of the pulp*. Elsevier.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.02.002>
- Herrera, M., Ábalos, C., Lucena, C., Jimenez-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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.05.007>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.05.009>
- Hoer, D., & Attin, T. (2004). The accuracy of electronic working length determination. *Int Endod J*, 37(2), 125-131. <https://doi.org/10.1111/j.0143-2885.2004.00764.x>
- Hör, D., Krusy, S., & Attin, T. (2005). Ex vivo comparison of two electronic apex locators with different scales and frequencies. *Int Endod J*, 38(12), 855-859. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.01004.x>
- Huang, L. (1987). An experimental study of the principle of electronic root canal measurement. *J Endod*, 13(2), 60-64. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(87\)80156-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(87)80156-5)
- Hugo, W. B., and Longworth, A. R. (1964). Some aspects of the mode of action of chlorhexidine. *J Pharm Pharmacol*, 16(10), 655-662. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1964.tb07384.x>
- Hülsmann, M., Heckendorff, M., & Lennon, A. (2003). Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J*, 36(12), 810-830. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2003.00754.x>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(99\)80323-9](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(99)80323-9)
- Ingle, J. I., and Taintor, J. F. J. (1965). *Endodontics lea & febiger*. Philadelphia.
- Inoue, N. (1972). Dental" stethoscope" measures root canal. *Dental Survey*, 48(1), 38-39.

- Ioannidis, K., Niazi, S., Mylonas, P., Mannocci, F., & Deb, S. (2019). The synthesis of nano silver-graphene oxide system and its efficacy against endodontic biofilms using a novel tooth model. *Dent Mater*, 35(11), 1614-1629. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.08.105>
- Jadhav, G. R., Mittal, P., Patil, V., Kandekar, P., Kulkarni, A., Shinde, S., Syed, S., & Elahi, S. (2018). Accuracy of different apex locators in teeth with simulated apical root resorption: an in vitro study. *Folia Med*, 60(4), 624-31. <https://doi.org/10.2478/folmed-2018-0033>
- 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. *Journal of Dental and Medical Sciences*, 19, 45-47. <https://doi.org/10.9790/0853-1902014547>
- Jakobson, S. J. M., Westphalen, V. P. D., da Silva Neto, U. X., Fariniuk, L. F., Picoli, F., & Carneiro, E. (2008). The accuracy in the control of the apical extent of rotary canal instrumentation using Root ZX II and ProTaper instruments: an in vivo study. *J Endod*, 34(11), 1342-1345. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.08.009>
- Jenkins, J. A., Walker III, W. A., Schindler, W. G., & Flores, C. M. (2001). An in vitro evaluation of the accuracy of the root ZX in the presence of various irrigants. *J Endod*, 27(3), 209-211. <https://doi.org/10.1097/00004770-200103000-00018>
- Kalhan, A., Choudhary, R., Chokshi, S., & Vaidya, R. (2010). Evolution of apex locators. *The Journal of Ahmedabad Dental College and Hospital*, 1(1), 4-7.
- Kamble, A. B., Abraham, S., Kakde, D. D., Shashidhar, C., & Mehta, D. L. (2017). Scanning Electron Microscopic Evaluation of Efficacy of 17% Ethylenediaminetetraacetic Acid and Chitosan for Smear Layer Removal with Ultrasonics: An: In vitro: Study. *Contemp Clin Dent*, 8(4), 621-626. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_745_17
- Kasraei, S., Sami, L., Hendi, S., AliKhani, M. Y., Rezaei-Soufi, L., & Khamverdi, Z. (2014). Antibacterial properties of composite resins incorporating silver and zinc oxide nanoparticles on Streptococcus mutans and Lactobacillus. *Restor Dent Endod*, 39(2), 109. <https://doi.org/10.5395/rde.2014.39.2.109>
- Kaufman, A. Y., Keila, S., & Yoshpe, M. (2002). Accuracy of a new apex locator: an in vitro study. *Int Endod J*, 35(2), 186-192. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2002.00468.x>
- Kaur, P., and Luthra, R. (2016). Silver nanoparticles in dentistry: An emerging trend. *SRM Journal of Research in Dental Sciences*, 7(3), 162-165.
- Kaval, M. E., ve Dönmez, H. (2013). Elektronik apeks bulucular. *EÜ Dişhek Fak Derg*, 34(2), 73-78. <https://doi.org/10.5505/eudfd.2013.84856>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81865-0](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81865-0)
- Kesharwani, P., Gorain, B., Low, S. Y., Tan, S. A., Ling, E. C. S., Lim, Y. K., Chin, C. M., Lee, P. Y., Lee, C. M., Ooi, C. H., Choudhury, H., & Pandey, M. (2018). Nanotechnology based approaches for anti-diabetic drugs delivery. *Diabetes Res Clin Pract*, 136, 52-77. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.11.018>
- Khadse, A., Shenoi, P., Kokane, V., Khode, R., & Sonarkar, S. (2017). Electronic apex locators-an overview. *Indian J Conserv Endod*, 2(2), 35-40.

- Khattak, O., Raidullah, E., & Francis, M. L. (2014). A comparative assessment of the accuracy of electronic apex locator (Root ZX) in the presence of commonly used irrigating solutions. *J Clin Exp Dent*, 6(1), 41. <https://doi.org/10.4317/jced.51230>
- Khezerlou, A., Alizadeh-Sani, M., Azizi-Lalabadi, M., & Ehsani, A. (2018). Nanoparticles and their antimicrobial properties against pathogens including bacteria, fungi, parasites and viruses. *Microbial Pathogenesis*, 123, 505-526. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.08.008>
- Khorrami, S., Zarrabi, A., Khaleghi, M., Danaei, M., & Mozafari, M. R. (2018). Selective cytotoxicity of green synthesized silver nanoparticles against the MCF-7 tumor cell line and their enhanced antioxidant and antimicrobial properties. *Int J Nanomedicine*, 8013-8024.
- Kim, E., and Lee, S. J. (2004). Electronic apex locator. *Dent Clin North Am*, 48(1), 35-54. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2003.10.005>
- 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), 79-83. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.12.009>
- 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., Yoshioka, T., & Suda, H. (1997). A new engine-driven canal preparation system with electronic canal measuring capability. *J Endod*, 23(12), 751-754. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(97\)80349-4](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(97)80349-4)
- Kojima, K., Inamoto, K., Nagamatsu, K., Hara, A., Nakata, K., Morita, I., Nakagaki, H., & Nakamura, H. (2004). Success rate of endodontic treatment of teeth with vital and nonvital pulps. A meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 97(1), 95-99. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2003.07.006>
- 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. *Clin Diagn Res*, 8(12), ZC18. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/9307.5247>
- Krishnan, I. S., and Sreedharan, S. (2012). A comparative evaluation of electronic and radiographic determination of root canal length in primary teeth: An: in vitro: study. *Contemp Clin Dent*, 3(4), 416-420. <https://doi.org/10.4103/0976-237X.107430>
- Kuang, X., Chen, V., & Xu, X. (2018). Novel approaches to the control of oral microbial biofilms. *BioMed Res Int*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6498932>
- Kumar, R., Khambete, 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. *J Conserv Dent*, 16(5), 399-403. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.117489>
- Kumar, S. S., Chacko, Y., & Lakshminarayanan, L. (2004). A simple model to demonstrate the working of electronic apex locators. *Endodontology*, 16(2), 50-53. <https://doi.org/10.4103/0970-7212.351431>
- Kurita, K. (1998). Chemistry and application of chitin and chitosan. *Polym Degrad Stabil*, 59(1-3), 117-120. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(97\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(97)00160-2)
- Kuttler, Y. (1955). Microscopic investigation of root apices. *J Am Dent Assoc*, 50(5), 544-552. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1955.0099>

- 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), 24-30.
- Leddy, B. J., Miles, D. A., Newton, C. W., & Brown Jr, C. E. (1994). Interpretation of endodontic file lengths using radiovisiography. *J Endod*, 20(11), 542-545. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80069-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80069-5)
- Li, L., Li, L., Zhou, X., Yu, Y., Li, Z., Zuo, D., & Wu, Y. (2019). Silver nanoparticles induce protective autophagy via Ca²⁺/CaMKK β /AMPK/mTOR pathway in SH-SY5Y cells and rat brains. *Nanotoxicology*, 13(3), 369-391. <https://doi.org/10.1080/17435390.2018.1550226>
- Liao, C., Li, Y., & Tjong, S. C. (2019). Bactericidal and cytotoxic properties of silver nanoparticles. *International journal of molecular sciences: Int J Molecular Sci*, 20(2), 449. <https://doi.org/10.3390/ijms20020449>
- Lipski, M., Trąbska-Świsłnicka, M., Woźniak, K., Dembowska, E., & Drożdżik, A. (2013). Evaluation of alginate as a substitute for root-surrounding tissues in electronic root canal measurements. *Aust Endod J*, 39(3), 155-158. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2012.00367.x>
- Lotfi, M., Vosoughhosseini, S., Ranjkesh, B., Khani, S., Saghiri, M., & Zand, V. (2011). Antimicrobial efficacy of nanosilver, sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate against *Enterococcus faecalis*. *Afr J Biotechnol*, 10(35), 6799-6803.
- Lozano, A., Forner, L., & Llana, C. (2002). In vitro comparison of root-canal measurements with conventional and digital radiology. *Int Endod J*, 35(6), 542-550. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2002.00535.x>
- Lucena-Martin, C., Robles-Gijon, V., Ferrer-Luque, C. M., & de Mondelo, J. N. R. (2004). In vitro evaluation of the accuracy of three electronic apex locators. *J Endod*, 30(4), 231-233. <https://doi.org/10.1097/00004770-200404000-00012>
- Lvovsky, A., Batashvili, G., Staffoli, S., Torrijos, B. G., Gambarini, G., Solomonov, M., & Ben, J. (2020). Ex Vivo accuracy of an endodontic motor with an integrated apex locator in multirooted teeth. *Oral Health*, 5, 1-3. <https://doi.org/10.15761/OHC.1000190>
- Macedo, R., Verhaagen, B., Rivas, D. F., Versluis, M., Wesselink, P., & van der Sluis, L. (2014). Cavitation measurement during sonic and ultrasonic activated irrigation. *J Endod*, 40(4), 580-583. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.09.018>
- Machida, Y., Nagai, T., Abe, M., & Sannan, T. (1986). Use of chitosan and hydroxypropylchitosan in drug formulations to effect sustained release. *Drug Design and Delivery*, 1(2), 119-130.
- Mancini, M., Felici, R., Conte, G., Costantini, M., & Cianconi, L. (2011). Accuracy of three electronic apex locators in anterior and posterior teeth: an ex vivo study. *J Endod*, 37(5), 684-687. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.02.011>
- Manhas, S., Lakra, S., Sharma, A., Garg, K., & Arora, G. (2020). Apex Locator-Booster to Dentist: Literature Review. *J Curr Med Res Opin*, 3(07), 508-515. <https://doi.org/10.15520/jcmro.v3i07.308>
- Marcos-Arenal, J. L., Rivera, E. M., Caplan, D. J., & Trope, M. (2009). Evaluating the paper point technique for locating the apical foramen after canal preparation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 108(5), 101-105. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.06.011>
- Markan, S., Lehl, G., & Kapoor, S. (2017). Recent advances of nanotechnology in endodontics, conservative and preventive dentistry-a review. *J Dent Oral Biol*, 2(10), 1-4.

- McDonald, N. J., and Hovland, E. J. (1990). An evaluation of the apex locator Endocater. *J Endod*, 16(1), 5-8. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(07\)80022-7](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(07)80022-7)
- Meares, W. A., and 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. <https://doi.org/10.1097/00004770-200208000-00008>
- Mente, J., Seidel, J., Buchalla, W., & Koch, M. J. (2002). Electronic determination of root canal length in primary teeth with and without root resorption. *Int Endod J*, 35(5), 447-452. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2002.00500.x>
- 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. <https://doi.org/10.1067/moe.2002.119466>
- Mishra, P., and Tyagi, S. (2018). Surface analysis of gutta percha after disinfecting with sodium hypochlorite and silver nanoparticles by atomic force microscopy: An: in vitro: study. *Dent Res J*, 15(4), 242-247.
- Mohammadi, Z., & Abbott, P. V. (2009). The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *Int Endod J*, 42(4), 288-302. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01540.x>
- Molander, A., Reit, C., & Dahlen, G. (1999). The antimicrobial effect of calcium hydroxide in root canals pretreated with 5% iodine potassium iodide. *Dental Traumatology*, 15(5), 205-209.
- Moorer, W. R., and Wesselink, P. R. (1982). Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J*, 15(4), 187-196. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1982.tb01277.x>
- Morfis, A., Sylaras, S. N., 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*, 77(2), 172-176. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(94\)90281-X](https://doi.org/10.1016/0030-4220(94)90281-X)
- 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. *Revista Odonto Ciência*, 26, 331-335. <https://doi.org/10.1590/S1980-65232011000400010>
- 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.
- Mozayeni, M. A., Dianat, O., Tahvildari, S., Mozayani, M., & Paymanpour, P. (2017). Subcutaneous reaction of rat tissues to nanosilver coated gutta-percha. *Iran Endod J*, 12(2), 157. <https://doi.org/10.22037/iej.2017.31>
- Mull, J. P., Manjunath, V., & Manjunath, M. K. (2012). Comparison of accuracy of two electronic apex locators in the presence of various irrigants: An: in vitro: study. *J Conserv Dent*, 15(2), 178-182. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.94585>
- Muzzarelli, R. A., Isolati, A., & Ferrero, A. (1974). Chitosan membranes. *Ion Exchange and Membranes*, 1(4), 193-196.
- Nahmias, Y., Aurelio, J. A., & Gerstein, H. (1983). Expanded use of the electronic canal length measuring devices. *J Endod*, 9(8), 347-349. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(83\)80151-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(83)80151-4)
- Nair, M. K., and Nair, U. P. (2007). Digital and advanced imaging in endodontics: a review. *J Endod*, 33(1), 1-6.

- Nair, P. R., Sjögren, 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. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(07\)80202-0](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(07)80202-0)
- Naoum, H. J., Chandler, N. P., & Love, R. M. (2003). Conventional versus storage phosphor-plate digital images to visualize the root canal system contrasted with a radiopaque medium. *J Endod*, 29(5), 349-352. <https://doi.org/10.1097/00004770-200305000-00008>
- Nekoofar, M. H., Ghandi, M. M., Hayes, S. J., & Dummer, P. M. H. (2006). The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *Int Endod J*, 39(8), 595-609. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01131.x>
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01872.x>
- Nguyen, H. Q., Kaufman, A. Y., Komorowski, R. C., & Friedman, S. (1996). Electronic length measurement using small and large files in enlarged canals. *Int Endod J*, 29(6), 359-364. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1996.tb01398.x>
- No, H. K., Park, N. Y., Lee, S. H., & Meyers, S. P. (2002). Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. *Int J Food Microbiol*, 74(1-2), 65-72. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00717-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00717-6)
- Nugroho, J. J. (2014). Keakuratan electronic apex locator untuk menentukan panjang kerja. *Makassar Dental Journal*, 3(1). <https://doi.org/10.35856/mdj.v3i1.155>
- Oncu, A., Huang, Y., Amasya, G., Sevimay, F. S., Orhan, K., & Celikten, B. (2021). Silver nanoparticles in endodontics: recent developments and applications. *Restor Dent Endod*, 46(3), 38. <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e38>
- Ostby, B. (1957). Chelation in root therapy; Ethylen-diamine tetraacetic acid for cleansing and widening of root canals. *Odontologisk Tidskrift*, 65, 3-11.
- Ounsi, H. F., and Naaman, A. (1999). In vitro evaluation of the reliability of the Root ZX electronic apex locator. *Int Endod J*, 32(2), 120-123. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1999.00202.x>
- Oves, M., Aslam, M., Rauf, M. A., Qayyum, S., Qari, H. A., Khan, M. S., Alam, M. Z., Tabrez, S., Pugazhendhi, A., & Ismail, I. M. (2018). Antimicrobial and anticancer activities of silver nanoparticles synthesized from the root hair extract of *Phoenix dactylifera*. *Mater Sci Eng: C*, 89, 429-443. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.03.035>
- Ozlek, E., Rath, P. P., Kishen, A., & Neelakantan, P. (2020). A chitosan-based irrigant improves the dislocation resistance of a mineral trioxide aggregate-resin hybrid root canal sealer. *Clinical Oral Investigations*, 24, 151-156. <https://doi.org/10.1007/s00784-019-02916-x>
- Oznurhan, F., Ünal, M., Kapdan, A., Ozturk, C., & Aksoy, S. (2015). Clinical evaluation of apex locator and radiography in primary teeth. *Int J Paedia Dent*, 25(3), 199-203. <https://doi.org/10.1111/ipd.12128>
- Özsezer, E., İnan, U., & Aydın, U. (2007). In vivo evaluation of ProPex electronic apex locator. *J Endod*, 33(8), 974-977.
- Pagavino, G., Pace, R., & Baccetti, T. (1998). A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod*, 24(6), 438-441. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(98\)80029-0](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(98)80029-0)

- Pecora, J. D., Capelli, A., Guerisoli, D. M. Z., Spanó, J. C. E., & Estrela, C. (2005). Influence of cervical preflaring on apical file size determination. *Int Endod J*, 38(7), 430-435. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.00946.x>
- Peters, O. A., Schönenberger, K., & Laib, A. (2001). Effects of four Ni–Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J*, 34(3), 221-230. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2001.00373.x>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.04.024>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.06.006>
- Pilot, T. F., and Pitts, D. L. (1997). Determination of impedance changes at varying frequencies in relation to root canal file position and irrigant. *J Endod*, 23(12), 719-724. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(97\)80341-X](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(97)80341-X)
- Pineda, F., & Kuttler, Y. (1972). Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 33(1), 101-110. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(72\)90214-9](https://doi.org/10.1016/0030-4220(72)90214-9)
- Plotino, G., Grande, N. M., 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. <https://doi.org/10.1097/00004770-200202000-00008>
- Ponce, E. H., and 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. <https://doi.org/10.1097/00004770-200303000-00013>
- Prasad, A. B., Srivastava, H., Srivastava, A. A., & Raisingani, D. (2016). An in vitro evaluation of the accuracy of two electronic apex locators to determine working length in the presence of various irrigants. *Ethiop J Health Sci*, 26(5), 457-462.
- Pratten, D. H., and McDonald, N. J. (1996). Comparison of radiographic and electronic working lengths. *J Endod*, 22(4), 173-176. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(96\)80095-1](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(96)80095-1)
- Puri, N., Chadha, R., Kumar, P., & Puri, K. (2013). An in vitro comparison of root canal length determination by DentaPort ZX and iPex apex locators. *J Conserv Dent*, 16(6), 555-558. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.120953>
- Rabea, E. I., Badawy, M. E. T., Stevens, C. V., Smagghe, G., & Steurbaut, W. (2003). Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action. *Biomacromolecules*, 4(6), 1457-1465. <https://doi.org/10.1021/bm034130m>
- Radcliffe, C. E., Potouridou, L., Qureshi, R., Hababbeh, N., Qualtrough, A., Worthington, H., & Drucker, D. B. (2004). Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*, *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J*, 37(7), 438-446. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2004.00752.x>

- Raghu, K. N., Daniel, J. G., Razvi, S., Vinayachandra, 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*, 4(3), 204-208. <https://doi.org/10.4103/2231-0762.149042>
- Ramkumar, V. S., Pugazhendhi, A., Gopalakrishnan, K., Sivagurunathan, P., Saratale, G. D., Dung, T. N. B., & Kannapiran, E. (2017). Biofabrication and characterization of silver nanoparticles using aqueous extract of seaweed *Enteromorpha compressa* and its biomedical properties. *Biotechnology Reports*, 14, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.02.001>
- Rasimick, B. J., Nekich, M., Hladek, M. M., Musikant, B. L., & Deutsch, A. S. (2008). Interaction between chlorhexidine digluconate and EDTA. *J Endod*, 34(12), 1521-1523. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.08.039>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.08.017>
- Real, D. G., Davidowicz, H., Moura-Netto, C., Zenkner, C. D. L. L., Pagliarin, C. M. L., Barletta, F. B., & de Moura, A. A. M. (2011). Accuracy of working length determination using 3 electronic apex locators and direct digital radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 111(3), 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2010.10.033>
- 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. *Brazilian Oral Research*, 26, 106-111.
- Retief, D. H. (1991). Standardizing laboratory adhesion tests. *Am J Dent*, 4(5), 231-236.
- Ricucci, L. (1998). Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J*, 31(6), 384-409. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1998.00184.x>
- Rodrigues, C. T., De Andrade, F. B., De Vasconcelos, L. R. S. M., Midena, R. Z., Pereira, T. C., Kuga, M. C., Duarte, M. A. H., & Bernardineli, N. (2018). Antibacterial properties of silver nanoparticles as a root canal irrigant against *Enterococcus faecalis* biofilm and infected dentinal tubules. *Int Endod J*, 51(8), 901-911. <https://doi.org/10.1111/iej.12904>
- Rosenberg, D. B. (2003). The paper point technique. Part 1. *Dentistry Today*, 22(2), 80-86.
- Rödig, T., Döllmann, S., Konietzschke, F., Drebenstedt, S., & Hülsmann, M. (2010). Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *Journal of Endod*, 36(12), 1983-1987. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.08.056>
- Sadeghi, S., and Abolghasemi, 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. <https://doi.org/10.5681/joddd.2008.005>
- Sağsen, B., Üstün, Y., Aslan, T., & Çanakçı, B. C. (2012). The effect of peracetic acid on removing calcium hydroxide from the root canals. *J Endod*, 38(9), 1197-1201. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.06.026>
- Saito, T., and Yamashita, Y. (1990). Electronic determination of root canal length by newly developed measuring device. Influences of the diameter of apical foramen, the size of K-file and the root canal irrigants. *Dentistry in Japan*, 27(1), 65-72.

- Salata, O. V. (2004). Applications of nanoparticles in biology and medicine. *Journal of Nanobiotechnology*, 2, 1-6.
- Samiei, M., Ghasemi, N., Asl-Aminabadi, N., Divband, B., Golparvar-Dashti, Y., & Shirazi, S. (2017). Zeolite-silver-zinc nanoparticles: Biocompatibility and their effect on the compressive strength of mineral trioxide aggregate. *J Clin Exp Dent*, 9(3), e356.
- Saraf, P. A., Ratnakar, P., Patil, T. N., Penukonda, R., Kamatagi, L., & Vanaki, S. S. (2017). A comparative clinical evaluation of accuracy of six apex locators with intraoral periapical radiograph in multirrooted teeth: An: in vivo: study. *J Conserv Dent*, 20(4), 264-268.
- Saravanan, M., Barik, S. K., MubarakAli, D., Prakash, P., & Pugazhendhi, A. (2018). Synthesis of silver nanoparticles from *Bacillus brevis* (NCIM 2533) and their antibacterial activity against pathogenic bacteria. *Microbial Pathogenesis*, 116, 221-226. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.01.038>
- Schaeffer, M. A., White, R. R., & Walton, R. E. (2005). Determining the optimal obturation length: a meta-analysis of literature. *J Endod*, 31(4), 271-274. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000140585.52178.78>
- Schell, S., Judenhofer, M. S., Mannheim, J. G., Hülber-J, M., Löst, C., Pichler, B. J., & ElAyouti, A. (2017). Validity of longitudinal sections for determining the apical constriction. *Int Endod J*, 50(7), 706-712. <https://doi.org/10.1111/iej.12670>
- Schilder, H. (1967). Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am*, 11(3), 723-744. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.02.007>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.02.027>
- 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. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1975.0059>
- Seidberg, B. H., and Schilder, H. (1974). An evaluation of EDTA in endodontics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 37(4), 609-620. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(74\)90294-1](https://doi.org/10.1016/0030-4220(74)90294-1)
- Seltzer, S., Soltanoff, W., Sinai, I., Goldenberg, A., & Bender, I. B. (2004). Biologic aspects of endodontics Part III. Periapical tissue reactions to root canal instrumentation. *J Endod*, 30(7), 491-499. doi: <https://doi.org/10.1097/00004770-200407000-00008>
- Sen, B. H., & Turk, B. T. (2009). An update on chlorhexidine in endodontics. *Endodontic Practice Today*, 3(2), 87-99.
- Serota, K. S., Vera, J., Barnett, F., & Nahmias, Y. (2004). The new era of foraminal location. *Endod Pract*, 7, 17-22.
- Shabahang, S., & Torabinejad, M. (2003). Effect of MTAD on *Enterococcus faecalis*-contaminated root canals of extracted human teeth. *J Endod*, 29(9), 576-579. <https://doi.org/10.1097/00004770-200309000-00008>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(96\)80033-1](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(96)80033-1)

- Shiozawa, A. (2000). Characterization of reactive oxygen species generated from the mixture of NaClO and H₂O₂ used as root canal irrigants. *J Endod*, 26(1), 11-15. <https://doi.org/10.1097/00004770-200001000-00003>
- Shirazi, Z., Al-Jadaa, A., & Saleh, A. R. (2023). Electronic apex locators and their implications in contemporary clinical practice: A review. *Open Dent J*, 17(1). <https://doi.org/10.2174/18742106-v16-e221227-2022-67>
- Shrestha, A., and Kishen, A. (2016). Antibacterial nanoparticles in endodontics: a review. *J Endod*, 42(10), 1417-1426.
- Shrestha, A., Zhilong, S., Gee, N. K., & Kishen, A. (2010). Nanoparticulates for antibiofilm treatment and effect of aging on its antibacterial activity. *J Endod*, 36(6), 1030-1035. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.02.008>
- Silva, P. V., Guedes, D. F. C., Nakadi, F. V., Pécora, J. D., & Cruz-Filho, A. M. D. (2013). Chitosan: a new solution for removal of smear layer after root canal instrumentation. *Int Endod J*, 46(4), 332-338. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02119.x>
- Silva, P. V., Guedes, D. F. C., Nakadi, F. V., Pécora, J. D., & Cruz-Filho, A. M. D. (2013). Chitosan: a new solution for removal of smear layer after root canal instrumentation. *Int Endod J*, 46(4), 332-338. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02119.x>
- Simon, S., Machtou, P., Adams, N., Tomson, P., & Lumley, P. (2009). Apical limit and working length in endodontics. *Dental Update*, 36(3), 146-153. <https://doi.org/10.12968/denu.2009.36.3.146>
- Siqueira Jr, J. F., & Rôças, I. N. (2008). Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod*, 34(11), 1291-1301. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.07.028>
- Siqueira Jr, J. F., Batista, M. M., Fraga, R. C., & de Uzeda, M. (1998). Antibacterial effects of endodontic irrigants on black-pigmented gram-negative anaerobes and facultative bacteria. *J Endod*, 24(6), 414-416. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(98\)80023-X](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(98)80023-X)
- Siqueira Jr, J. F., Rôças, I. N., Favieri, A., & Lima, K. C. (2000). Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod*, 26(6), 331-334. <https://doi.org/10.1097/00004770-200006000-00006>
- Sirén, E. K., Haapasalo, M. P., Waltimo, T. M., & Ørstavik, D. (2004). In vitro antibacterial effect of calcium hydroxide combined with chlorhexidine or iodine potassium iodide on *Enterococcus faecalis*. *European Journal of Oral Sciences*, 112(4), 326-331. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2004.00144.x>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.04.025>
- Sjögren, U. L. F., Hägglund, B., Sundqvist, G., & Wing, K. (1990). Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod*, 16(10), 498-504. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(07\)80180-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(07)80180-4)
- Soi, S., Mohan, S., & Kaur, V. V. P. (2013). Electronic apex locators. *Small*, 16, 17.

- Somma, F., Castagnola, R., Lajolo, C., Paternò Holtzman, L., & Marigo, L. (2012). In vivo accuracy of three electronic root canal length measurement devices: Dentaport ZX, Raypex 5 and ProPex II. *Int Endod J*, 45(6), 552-556.
- Souza, M. A., Menon, C. Z., Nery, L. F., Bertol, C. D., Rossato-Grando, L. G., & Cecchin, D. (2018). Effect of root canal preparation techniques on chlorhexidine substantivity on human dentin: a chemical analysis. *Clinical Oral Investigations*, 22, 859-865. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2162-7>
- Spangberg, L., Engström, B., & Langeland, K. (1973). Biologic effects of dental materials: 3. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 36(6), 856-871. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(73\)90338-1](https://doi.org/10.1016/0030-4220(73)90338-1)
- Spanó, J. C. E., Silva, R. G., Guedes, D. F. C., Sousa-Neto, M. D., Estrela, C., & Pécora, J. D. (2009). Atomic absorption spectrometry and scanning electron microscopy evaluation of concentration of calcium ions and smear layer removal with root canal chelators. *J Endod*, 35(5), 727-730. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.02.008>
- Srikumar, G. P. V., Sekhar, K. S., & Nischith, K. G. (2013). Mixture tetracycline citric acid and detergent—A root canal irrigant. A review. *J Oral Biol Craniofac Res*, 3(1), 31-35. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2012.09.001>
- Stabholz, A., Rotstein, I., & Torabinejad, M. (1995). Effect of preflaring on tactile detection of the apical constriction. *J Endod*, 21(2), 92-94. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81103-9](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81103-9)
- Stavrianos, C., Vladimirov, S. B., Vangelov, L. S., Papadopoulos, C., & Bouzala, A. (2007). Evaluation of the accuracy of electronic apex locators Dentaport ZX and Ray Pex 4 under clinical conditions. *Folia Med (Plovdiv)*, 49, 75-79.
- Stein, T. J., Corcoran, J. F., & Zillich, R. M. (1990). The influence of the major and minor foramen diameters on apical electronic probe measurements. *J Endod*, 16(11), 520-522.
- Stock, C. (1994). Endodontics--position of the apical seal. *Br Dent J*, 176(9), 329. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4808442>
- Stohs, S. J., & Bagchi, D. (1995). Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions. *Free Radic Biol Med*, 18(2), 321-336.
- Stojicic, S., Shen, Y., Qian, W., Johnson, B., & Haapasalo, M. (2012). Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. *Int Endod J*, 45(4), 363-371. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01985.x>
- Stoll, R., Urban-Klein, B., Roggendorf, M. J., 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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01765.x>
- Stöber, 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.02.002>
- Sunada, I. (1962). New method for measuring the length of the root canal. *J Dent Res*, 41(2), 375-387. <https://doi.org/10.1177/00220345620410020801>
- Sundqvist, G. (1994). Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 78(4), 522-530. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(94\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0030-4220(94)90047-7)
- Suzuki, K. (1942). Experimental study on iontophoresis. *Jpn J Stomatology*, 16, 411-429.

- Suzuki, T. Y. U., Gallego, J., Assunção, W. G., Briso, A. L. F., & Dos Santos, P. H. (2019). Influence of silver nanoparticle solution on the mechanical properties of resin cements and intraradicular dentin. *PLoS One*, 14(6), 0217750. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217750>
- 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. *J Conserv Dent*, 18(4), 288-291. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.159726>
- Şen, B. H., Wesselink, P. R., & Türkün, M. (1995). The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J*, 28(3), 141-148. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1995.tb00289.x>
- Tamse, A., Kaffe, I., & Fishel, D. (1980). Zygomatic arch interference with correct radiographic diagnosis in maxillary molar endodontics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 50(6), 563-565. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(80\)90441-7](https://doi.org/10.1016/0030-4220(80)90441-7)
- Tartari, T., Guimarães, B. M., Amoras, L. S., Duarte, M. A. H., Silva e Souza, P. A. R., & Bramante, C. M. (2015). Etidronate causes minimal changes in the ability of sodium hypochlorite to dissolve organic matter. *Int Endod J*, 48(4), 399-404. <https://doi.org/10.1111/iej.12329>
- Tay, F. R., Hosoya, Y., Loushine, R. J., Pashley, D. H., Weller, R. N., & Low, D. C. (2006a). Ultrastructure of intraradicular dentin after irrigation with BioPure MTAD. II. The consequence of obturation with an epoxy resin-based sealer. *J Endod*, 32(5), 473-477. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.10.054>
- Tay, F. R., Pashley, D. H., Loushine, R. J., Doyle, M. D., Gillespie, W. T., Weller, R. N., & King, N. M. (2006b). Ultrastructure of smear layer-covered intraradicular dentin after irrigation with BioPure MTAD. *J Endod*, 32(3), 218-221. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.10.035>
- 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.
- Tınaz, A. C., Alaçam, T., & Topuz, Ö. (2002). A simple model to demonstrate the electronic apex locator. *Int Endod J*, 35(11), 940-945. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2002.00576.x>
- Tınaz, A. C., Sevimli, L. S., Görgül, G., & Türköz, E. G. (2002). The effects of sodium hypochloride concentrations on the accuracy of an apex locating device. *J Endod*, 28(3), 160-162. <https://doi.org/10.1097/00004770-200203000-00004>
- Tınaz, C. (2001). Kanal tedavisinde çalışma boyutu. *Gazi Üniversitesi Diş Hek Fak Derg*, 18(1), 31-37.
- Tınaz, A. C., Maden, M., Aydın, C., & Türköz, E. (2002). The accuracy of three different electronic root canal measuring devices: an in vitro evaluation. *J Oral Sci*, 44(2), 91-95. <https://doi.org/10.2334/josnurd.44.91>
- Topuz, Ö., Uzun, Ö., Tınaz, A. C., Bodrumlu, E., & Görgül, G. (2008). Accuracy of two apex-locating handpieces in detecting simulated vertical and horizontal root fractures. *J Endod*, 34(3), 310-313. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.12.018>
- Torabinejad, M., Khademi, A. A., Babagoli, J., Cho, Y., Johnson, W. B., Bozhilov, K., Kim, J., & Shabahang, S. (2003). A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod*, 29(3), 170-175. <https://doi.org/10.1097/00004770-200303000-00002>
- Torabinejad, M., Shabahang, S., Apécio, R. M., & Kettering, J. D. (2003). The antimicrobial effect of MTAD: an in vitro investigation. *J Endod*, 29(6), 400-403. <https://doi.org/10.1097/00004770-200306000-00005>

- 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. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000152295.05827.80>
- Tsesis, I., Blazer, T., Ben-Izhack, G., Taschieri, S., Del Fabbro, M., Corbella, S., & Rosen, E. (2015). The precision of electronic apex locators in working length determination: a systematic review and meta-analysis of the literature. *J Endod*, 41(11), 1818-1823. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.08.012>
- Tufenkci, P., and Kalaycı, 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. <https://doi.org/10.34172/joddd.2020.026>
- Upadya, M., Shrestha, A., & Kishen, A. (2011). Role of efflux pump inhibitors on the antibiofilm efficacy of calcium hydroxide, chitosan nanoparticles, and light-activated disinfection. *J Endod*, 37(10), 1422-1426. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.06.017>
- 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 Odontol Scand*, 73(2), 132-136. <https://doi.org/10.3109/00016357.2014.961027>
- 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. *The Scientific World Journal*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/475178>
- 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. *IntEndod J*, 41(9), 725-732. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01416.x>
- Uzunoglu, E., Eymirli, A., Uyanik, M. Ö., Çalt, S., & Nagas, E. (2015). Calcium hydroxide dressing residues after different removal techniques affect the accuracy of Root-ZX apex locator. *Restor Dent Endod*, 40(1), 44-49. <https://doi.org/10.5395/rde.2015.40.1.44>
- Vajrabhaya, L. O., and Tepmongkol, P. (1997). Accuracy of apex locator. *Dental Traumatology*, 13(4), 180-182. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1997.tb00035.x>
- 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. *Brazilian Dental Journal*, 25, 12-16. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201302069>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.07.022>
- Vazquez-Garcia, F., Tanomaru-Filho, M., Chávez-Andrade, G. M., Bosso-Martelo, R., Basso-Bernardi, M. I., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2016). Effect of silver nanoparticles on physicochemical and antibacterial properties of calcium silicate cements. *Brazilian Dental Journal*, 27, 508-514. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201600689>
- Venturi, M., and Breschi, L. (2007). A comparison between two electronic apex locators: an ex vivo investigation. *Int Endod J*, 40(5), 362-373. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01229.x>
- Vera, J., and Gutierrez, M. (2008). Accurate working length determination using a fourth generation apex locator. *Oral Health*, 98(11), 85. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.696>

- Verma, N., Sangwan, P., Tewari, S., & Duhan, J. (2019). Effect of different concentrations of sodium hypochlorite on outcome of primary root canal treatment: a randomized controlled trial. *J Endod*, 45(4), 357-363. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.01.003>
- Vertucci, F. J. (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 58(5), 589-599. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(84\)90085-9](https://doi.org/10.1016/0030-4220(84)90085-9)
- Vieyra, J. P., and Acosta, J. (2011). Comparison of working length determination with radiographs and four electronic apex locators. *Int Endod J*, 44(6), 510-518. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01855.x>
- Violich, D. R., and Chandler, N. P. (2010). The smear layer in endodontics—a review. *International Endodontic Journal*, 43(1), 2-15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01627.x>
- Waltimo, T. M. T., Ørstavik, D., Siren, E. K., & Haapasalo, M. P. P. (1999). In vitro susceptibility of *Candida albicans* to four disinfectants and their combinations. *Int Endod J*, 32(6), 421-429. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1999.00237.x>
- Weiger, R., John, C., Geigle, H., & Löst, C. (1999). An in vitro comparison of two modern apex locators. *J Endod*, 25(11), 765-768. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(99\)80128-9](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(99)80128-9)
- Welk, A. R., Baumgartner, J. C., & Marshall, J. G. (2003). An in vivo comparison of two frequency-based electronic apex locators. *J Endod*, 29(8), 497-500. <https://doi.org/10.1097/00004770-200308000-00002>
- Wenzel, A., and Gröndahl, H. G. (1995). Direct digital radiography in the dental office. *Int Dent J*, 45(1), 27-34.
- Wrbas, K. T., Ziegler, A. A., Altenburger, M. J., & Schirrmeister, J. F. (2007). In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *Int Endod J*, 40(2), 133-138. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01199.x>
- Wu, D., Fan, W., Kishen, A., Gutmann, J. L., & Fan, B. (2014). Evaluation of the antibacterial efficacy of silver nanoparticles against *Enterococcus faecalis* biofilm. *J Endod*, 40(2), 285-290. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.08.022>
- Wu, M. K., GEE, A. D., Wesselink, P. R., & Moorer, W. R. (1993). Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings. *Int Endod J*, 26(4), 203-208. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1993.tb00560.x>
- Yin, I. X., Zhang, J., Zhao, I. S., Mei, M. L., Li, Q., & Chu, C. H. (2020). The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *Int J Nanomedicine*, 2555-2562.
- Zehnder, M. (2006). Root canal irrigants. *J Endod*, 32(5), 389-398. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.09.014>
- Zehnder, M., Schmidlin, P., Sener, B., & Waltimo, T. (2005). Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod*, 31(11), 817-820. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000158233.59316.fe>
- Zeltner, M., Peters, O. A., & Paqué, F. (2009). Temperature changes during ultrasonic irrigation with different inserts and modes of activation. *J Endod*, 35(4), 573-577. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.01.007>

ÖZGEÇMİŞ

I-Bireysel Bilgiler

Adı : Elif
Soyadı : Öztürk
Doğum yeri ve tarihi :
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Medeni durumu :
İletişim adresi ve telefon :
E-posta :
Telefon :

II-Eğitimi:

III-Yabancı Dil: İngilizce

IV-Ünvanları:

V-Mesleki Deneyimi:

VI- Bilimsel İlgi Alanları