



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

**FARKLI İRRİGASYON SİSTEMLERİNİN
KÖK KANAL PATİ DENTİN TÜBÜL
PENETRASYONU ve PUSH-OUT
BAĞLANMA DAYANIMI ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Dt. Merve Dilara ONAT

UZMANLIK TEZİ

Dr.Öğr.Üyesi Tuğba KOŞAR

TRABZON-2022



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

**FARKLI İRRİGASYON SİSTEMLERİNİN
KÖK KANAL PATI DENTİN TÜBÜL
PENETRASYONU ve PUSH-OUT
BAĞLANMA DAYANIMI ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Dt. Merve Dilara ONAT

ORCID: 0000-0002-9956-7984

UZMANLIK TEZİ

Dr.Öğr.Üyesi Tuğba KOŞAR

ORCID: 0000-0001-5764-5510

TRABZON-2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kılavuzu standartlarına uygun şekilde hazırlanarak yazıldığını, tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, tezde yer alan ve bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen tüm bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve kullanılan kaynakların kaynaklar listesinde yer aldığını, tezimin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici davranışımın olmadığını, tezimin BAP koordinasyon birimi tarafından TDH-2021-9291 proje kodu ile desteklendiğini beyan ederim.

Merve Dilara ONAT
(İmza)

İTHAF

Bu yüksek uzmanlık tezimi, her koşulda yanımda olan ve bugünlere gelmemde büyük emeği olan canım aileme ithaf ediyorum.



TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca büyük bir özveri ile bana her zaman destek olan, deneyimlerini benimle paylaşan, bu süreçte sabrını, hoşgörüsünü ve desteğini bana hissettiren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Koşar'a,

Uzmanlık sürecimde tüm bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, tez süreci boyunca fikir ve önerileri ile destek olup eğitimime büyük katkıda bulunan değerli hocalarım Prof. Dr. Tamer Taşdemir ve tezimin istatistik aşamasını da üstlenen Doç. Dr. Davut Çelik'e,

Bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan ve tez jürimde de bulunan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Gülşen Kiraz'a,

Deney çalışmalarımı tamamlama sürecimde gösterdikleri ilgi, özen ve yardımlar için Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Ersan Kalay ve Doktora Öğrencisi Burak Kaan Kasap, Makine Mühendisliği Bölümü Dekanı Prof. Dr. Genççağa Pürçek ve Dr. Öğr. Üyesi Harun Sancar'a,

Asistanlık hayatımızda birbirimize hep destek olduğumuz, her koşulda yanımda olduğumu hissettiğim, biricik kıdemdaşım Feyzanur Bayraktar, üzüntü ve sevinçlerimizi paylaştığımız canım dostum Şeyba Doğan ve çalışmaktan keyif aldığım Seren Beykoz, Şeyma Nur Ögel, Elif Balkan, Sinem Esen, Furkan Özekan, Emirhan Yılmaz, Ayşe Selin Sönmez, Yasin Özgenç ve diğer bölüm arkadaşlarıma,

Yardımları ve güler yüzleri ile çalışmaktan mutluluk duyduğum bölüm personelimiz Betül Akçay, Yeşim Yılmaz Aydın, Hilal Tandoğan, Yurdanur Usta, Seda Albayrak ve Şeyma Karakaş'a,

Bu noktaya gelmemde en büyük payı olan, beni sonsuz sevgi ve şefkatleri ile her zaman destekleyen, her zaman yanımda olan canım annem Semiha Müderrisoğlu, canım babam Fikri Müderrisoğlu, canım ablalarım Hilal Polat ve Ayşenur Aksoy'a,

Üniversite birinci sınıftan itibaren hep desteğini hissettiğim, beni yüreklendiren, canım eşim, yol arkadaşım Gültekin Onat'a,

Tüm kalbimle teşekkür ederim...

Arş. Gör. Dt. Merve Dilara ONAT

İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK SAYFASI

ONAY

BEYAN

iii

İTHAF

iv

TEŞEKKÜR

v

İÇİNDEKİLER

vi

TABLolar DİZİNİ

ix

ŞEKİLLER DİZİNİ

x

RESİMLER DİZİNİ

xi

KISALTMALAR, SİMGELER VE FORMÜLLER

xiii

ÖZET

xiv

ABSTRACT

xvi

1. GİRİŞ VE AMAÇ

1

2. GENEL BİLGİLER

3

2.1. İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

3

2.1.1. Manuel Aktivasyon Yöntemleri

3

2.1.1.1. Geleneksel İrrigasyon Yöntemi

3

2.1.1.2. Manuel-Dinamik İrrigasyon

4

2.1.1.3. Endodontik Fırçalar

5

2.1.1.3.1. EndoBrush (C&S Microinstruments Ltd, Kanada)

5

2.1.1.3.2. NaviTip FX (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT)

6

2.1.2. Makine Destekli Aktivasyon Yöntemleri

6

2.1.2.1. Döner Fırçalar

6

2.1.2.1.1. CanalBrush (Coltène/Whaledent, Langenau, Almanya)

6

2.1.2.1.2. RuddleBrush

6

2.1.2.2. EĞeleme İşlemi Sırasında Devam Eden İrrigasyon

7

2.1.2.2.1. Quantec-E (SybronEndo, Orange, CA)

7

2.1.2.2.2. Self- Adjusting File (SAF; ReDent-Nova, Ra'anana, İsrail)

7

2.1.2.3. Sonik Sistemler ile İrrigasyon

7

2.1.2.3.1. MM1500 (Micro-Mega, Besançon, Fransa)

8

2.1.2.3.2. Vibringe (Vibringe BV Corp, Amsterdam, Hollanda)

8

2.1.2.3.3. EndoAktivatör (Dentsply Maillefer, Ballagiues, İsviçre)	8
2.1.2.3.4. EDDY (VDW, Münih, Almanya)	9
2.1.2.4. Ultrasonik Sistemler ile İrrigasyon	11
2.1.2.5. Basınç Değişim Sistemleri	13
2.1.2.5.1. Endosafe (VPro; Vista Dental, Racine, WI)	13
2.1.2.5.2. Endovac (Discus Dental, Culver City, CA, ABD)	14
2.1.2.5.3. RinsEndo (Air Techniques Inc, New York, ABD)	14
2.1.2.6. Lazer ile Aktivasyon	15
2.1.2.7. GentleWave (Sonendo, Inc., Laguna Hills, CA, ABD)	16
2.2. Dentin Tübül Penetrasyonu	17
2.3. Dentin Tübül Penetrasyon Değerlendirme Yöntemleri	18
2.3.1. Işık Mikroskopu	18
2.3.2. Stereomikroskop	18
2.3.3. Taramalı Elektron Mikroskopu (Scanning Elektron Microscopy -TEM)	18
2.3.4. Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop (Confocal Laser Scanning Microscope- KLTM)	19
2.4. Bağlanma Dayanımı	21
2.5. Bağlanma Dayanımı Değerlendirilmesinde Kullanılan Testler	22
2.5.1. Makaslama Bağlanma Dayanımı Testi	22
2.5.2. Gerilme Bağlanma Dayanımı Testi	22
2.5.3. Çekme Bağlanma Dayanımı Testi	23
2.5.4. Push-out Bağlanma Dayanımı Testi	23
3. GEREÇ VE YÖNTEM	26
3.1. Etik Kurul Onayı	26
3.2. Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması	26
3.3. Örnek Seçimi	26
3.4. Örnek Preparasyonu	28
3.5. Final İrrigasyon Prosedürleri	30
3.6. Kök Kanallarının Doldurulması	33
3.7. Örneklerden Kesit Alınması	38
3.8. Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop ile Dentin Kesitlerinin Görüntülenmesi	40

3.9.	Push-out Bağlanma Dayanımı Testinin Uygulanması	43
3.10.	İstatiksel Analiz	45
4.	BULGULAR	46
4.1.	Kanal Patı Dentin Tüböl Penetrasyonuna Ait Bulgular	46
4.1.1.	Maksimum Dentin Tüböl Penetrasyon Derinliği	52
4.1.2.	Dentin Tüböl Penetrasyon Yüzdesi	54
4.1.3.	Dentin Tüböl Penetrasyon Alanı	56
4.2.	Kanal Patının Push-out Bağlanma Dayanımı	58
4.3.	Değişkenler Arasındaki Korelasyon	60
5.	TARTIŞMA	62
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	74
7.	KAYNAKÇA	75
8.	EKLER	100

TABLÖLAR DİZİNİ

TABLO

SAYFA

Tablo 1. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Maksimum Dentin Tübül Penetrasyon Derinliğine Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (μm)	53
Tablo 2. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Yüzdesine Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (%)	55
Tablo 3. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Alanına Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (μm^2)	57
Tablo 4. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Kanal Patı Push-out Bağlanma Dayanımına Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (MPa)	59
Tablo 5. Değişkenler arasındaki korelasyona ait değerler	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>SAYFA</u>
Şekil 1. Konfokal lazer taramalı mikroskopun çalışma prensibi	20
Şekil 2. Push-out bağlanma dayanımı test düzeneği	24
Şekil 3. Kanalların eğrilik derecelerinin belirlenmesi	27
Şekil 4. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Maksimum Dentin Tübül Penetrasyon Derinliğine Ait Ortalama Değerlerin (µm) Grafikselsel Gösterimi	53
Şekil 5. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Yüzdesine Ait Ortalama Değerlerin (%) Grafikselsel Gösterimi	55
Şekil 6. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Alanına Ait Ortalama Değerlerin (µm ²) Grafikselsel Gösterimi	57
Şekil 7. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Kanal Patı Push-out Bağlanma Dayanımına Ait Ortalama Değerlerin (MPa) Grafikselsel Gösterimi	59

RESİMLER DİZİNİ

<u>RESİM</u>	<u>SAYFA</u>
Resim 1. EndoAktivatör Sonik Sistem (a) ve çalışırken meydana gelen dalgalanma (b)	8
Resim 2. EDDY Sonik Sistem (a) ve irrigasyon solüsyonunda meydana gelen akustik dalgalanma (b)	10
Resim 3. Pasif Ultrasonik Sistem	12
Resim 4. Ultrasonik uç etrafında oluşan akustik dalgalanma (9)	13
Resim 5. Dişlerin deney aşamasından önce bukko-lingual (a) ve mezyo-distal (b) yönlerden kontrol amaçlı alınan radyografiler	26
Resim 6. Kumpas ile örneklerin boyunun kontrol edilmesi	28
Resim 7. Apikal uçları mum ile kapatılan örnekler	29
Resim 8. Preparasyon aşamasında kullanılan T- Endo Must resiprokal eğeler (a) resiprokasyon modunda kullanılan endodontik Ai-Motor (b)	29
Resim 9. Konvansiyonel iğne grubunda kullanılan yandan açılı 30-gauge irrigasyon iğnesi	30
Resim 10. Çalışmada kullanılan NaOCl (a) ve EDTA (b) solüsyonları	30
Resim 11. Çalışmamızda kullanılan Irrisafe uçlar (a) ve Ultrasonik Cihaz (b)	31
Resim 12. EndoAktivatör Sonik İrrigasyon Cihazı (a) ve medium boyutlu (25/.04) uç ile irrigasyon solüsyonlarının aktivasyon sırasındaki gösterimi (b)	32
Resim 13. TA 200 cihazına bağlanan sonik aktivasyon yapan EDDY uç (a) ve irrigasyon solüsyonlarının aktivasyon sırasındaki gösterimi (b)	33
Resim 14. Çalışmada kullanılan hassas terazi	34
Resim 15. Çalışmada kullanılan Rhodamin B boyası	34
Resim 16. Çalışmada kullanılan AH Plus kök kanal patı ile Rhodamin B boyasının %0,1 oranında karıştırılması	35
Resim 17. Çalışmada kullanılan 40/.04 T-Endo güta-perka konlar	35
Resim 18. Kök kanal dolumu yapılan örneklerin radyografisi	36
Resim 19. Çalışmada kullanılan geçici dolgu materyali	36
Resim 20. Dolum işlemi tamamlanan örnekler	37

Resim 21. Kanal dolumu yapıldıktan sonra 37°C ve >%95 nemli olan inkübatör içerisinde örneklerin bekletilmesi	37
Resim 22. Kesim öncesi akrilik blokların işaretlenmesi	38
Resim 23. Çalışmada kullanılan mikrocüt cihazı (a) ve örneklerden elmas disk ile kesit alınma işlemi (b)	39
Resim 24. Kesit alınma işlemi tamamlanan ve kesit alınan bölgeye göre isimlendirilen örnekler (yukarıdan aşağıya; koronal, orta, apikal)	39
Resim 25. Kesitlerin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop ile görüntülenmesi	40
Resim 26. Dentin kesitlerinin görüntülediği Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop cihazı (KLTm)	40
Resim 27. Patın dentin tübülü penetrasyon alanının hesaplanması (4x)	41
Resim 28. Patın maksimum dentin tübülü penetrasyon derinliği ve dentin tübülü penetrasyon yüzdesinin ölçülmesi (4x)	42
Resim 29. Örneklerle Push-out bağlanma dayanımı testinin uygulandığı Instron cihazı	44
Resim 30. Dentin kesitlerine Instron cihazı ile kuvvet uygulanması	44
Resim 31. Cihazda kaydedilen maksimum kuvvet grafiği	45
Resim 32. Kontrol grubunda apikal (a), orta (b), koronal (c) kesitlerin KLTm görüntüleri (4x)	46
Resim 33. Konvansiyonel iğne irrigasyonu grubunda apikal (a), orta (b), koronal (c) kesitlerin KLTm görüntüleri (4x)	47
Resim 34. EndoAktivatör grubunda apikal (a), orta (b), koronal (c) kesitlerin KLTm görüntüleri (4x)	48
Resim 35. EDDY grubunda apikal (a), orta (b), koronal (c) kesitlerin KLTm görüntüleri (4x)	49
Resim 36. Pasif ultrasonik irrigasyon grubunda apikal (a), orta (b), koronal (c) kesitlerin KLTm görüntüleri (4x)	50
Resim 37. Kelebek etkisini gösteren KLTm görüntüleri (4x)	51

KISALTMALAR, SİMGELER VE FORMÜLLER

Kısaltmalar

Ni-ti Nikel-titanyum

Sn Saniye

Mm Milimetre

MI Mililitre

Rpm Devir/Dakika

Ark. Arkadaşları

TEM Taramalı elektron mikroskobu

Mpa Megapaskal

KLTM Konfokal Lazer Taramalı Mkroskop

Hz Hertz

N Newton

SAF Self-Adjusting File

PUİ Pasif Ultrasonik İrrigasyon

EA EndoAktivatör

MDİ Manuel-Dinamik İrrigasyon

Simgeler

± artı-eksi

> büyük

< küçük

µm mikrometre

°c santigrat derece

% yüzde

Formüller

NaOCl sodyum hipoklorit

EDTA etilendiamin tetraasetik asit

ÖZET

Farklı İrrigasyon Sistemlerinin Kök Kanal Patı Dentin Tübül Penetrasyonu ve Push-out Bağlanma Dayanımı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Bu in-vitro çalışmanın amacı, farklı irrigasyon sistemlerinin (konvansiyonel iğne irrigasyonu (Kİİ), pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ), EndoAktivatör (EA), EDDY) kök kanal patı dentin tübül penetrasyonu ve kök dentinine push-out bağlanma dayanımı üzerindeki etkisini karşılaştırmaktır.

Çalışmamızda doksan adet mandibular premolar diş kullanıldı. Dişler rastgele olacak şekilde dört deney (n=20) ve bir kontrol grubuna (n=10) ayrıldı. Her gruptaki dişler T-Endo Must eğeler ile apikal çap #40/.04 olacak şekilde genişletildi. Kontrol grubunda final irrigasyon uygulaması yapılmazken, dört deney grubunda dişlerin final irrigasyonları sırasıyla; Kİİ, EDDY, EA ve PUİ (Irisafe) yöntemleri ile aktive edildi. Floresan boyayla işaretlenmiş AH Plus kanal patı ve güta-perka kullanılarak lateral kondenzasyon yöntemi ile dişlerin kanal dolgusu yapıldı. Dişlerden microcut cihazı ile apikalden sırasıyla 2, 5, 8 mm uzaklıklardan $1 \pm 0,1$ mm kalınlıklarında enine kesitler alınarak, 4x büyütme altında Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop ile görüntülendi. Alınan görüntülerin Image J programı ile patın dentin tübül penetrasyon alanı, yüzdesi ve maksimum tübül penetrasyon derinliği ölçüldü. Alınan kesitlere push-out bağlanma dayanımı testi de uygulanarak patların dentine adezyonları değerlendirildi. İstatiksel analiz için Kruskal Wallis ve Tamhane's T2 testleri kullanıldı.

Kök kanal patı maksimum dentin tübül penetrasyonu derinliği değerleri; kontrol grubunun apikal ve orta üçlüsünde tüm deney gruplarından, koronal üçlüde sadece EDDY, EA ve PUİ'dan daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Kök kanal patı dentin penetrasyon yüzde değerleri; kontrol grubunun apikal üçlüsünde EDDY'den, koronal üçlüde PUİ, EDDY ve EA'den daha düşüktür ($p<0,05$). Orta üçlüde ise kontrol grubu, EDDY ve PUİ'dan, Kİİ grubu ise EDDY'den daha düşük penetrasyon yüzde değerleri göstermiştir ($p<0,05$). Kök kanal patı dentin tübül penetrasyon alanı değerleri; kontrol grubunun apikal ve orta üçlüsünde tüm deney gruplarından, koronal üçlüde EDDY, EA ve PUİ'dan daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca, kontrol ve tüm deney

gruplarında kanal patı dentin tübül penetrasyon değerleri apikalden koronale doğru artış göstermiştir. Deney gruplarının kontrol grubuna göre daha yüksek push-out bağlanma dayanımı değerleri gösterdiği bulunmuştur ($p<0,05$). Push-out bağlanma dayanımı ile kanal patı dentin tübül penetrasyon derinliği, alanı, yüzdesi değerlerinin korelasyonları karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı fakat zayıf bir ilişki tespit edilmiştir (0,20-0,39).

Çalışmanın limitasyonları dahilinde tüm parametreler ve tüm bölümlerde (apikal, orta, koronal) aktivasyon gerçekleştirilen deney grupları, kontrol grubundan daha yüksek dentin tübül penetrasyonu değerleri ve push-out bağlanma dayanımı değerlerine sahiptir. Yeni sonik bir aktivasyon sistemi olan EDDY ile diğer aktivasyon sistemlerinin kıyaslandığı daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: bağlanma dayanımı, dentin tübül penetrasyonu, irrigasyon, konfokal lazer taramalı mikroskop

ABSTRACT

Investigation of the Effect of Different Irrigation Systems on Dentin Tubule Penetration and Push-out Bond Strength of Root Canal Sealer

The aim of this in-vitro study was to compare the effect of different irrigation systems (conventional needle irrigation (CNI), passive ultrasonic irrigation (PUI), EndoActivator (EA), EDDY) on dentin tubule penetration and bond strength to root dentin of root canal sealer.

In our study, 90 mandibular premolar teeth were used. The teeth were randomly assigned to four experimental (n=20) and a control groups (n=10). Teeth in each group were shaped with T-Endo Must files to apical diameter #40/.04. While final irrigation was not applied in the control group, final irrigations of teeth in four experimental groups were activated using CNI, EDDY, EA and PUI (Irrisafe). The root canal filling was performed with the lateral condensation method using gutta-percha and labelled AH Plus canal sealer with fluorescent dye. Transverse sections of 1 ± 0.1 mm thickness were taken from the teeth at 2, 5, 8 mm distances from the apical with a microcut device, respectively. Images were taken with a Confocal Laser Scanning Microscope under 4x magnification. The dentinal tubule penetration area, percentage and maximum tubule penetration depth were measured with the Image J program on the taken images. The dentinal adhesion of the sealers were evaluated by applying push-out bond strength test to the sections taken. Kruskal Wallis and Tamhane's T2 tests were used for statistical analysis.

The maximum dentin tubule penetration depth values of the root canal sealer in the control group were lower than all experimental groups in the apical and middle third, and only EDDY, EA, and PUI groups in coronal third ($p < 0.05$). The dentin penetration percentage values of the root canal sealer in the control group were lower than EDDY in the apical third, and PUI, EDDY, and EA groups in the coronal third ($p < 0.05$). In the middle third, the control group showed lower penetration percentage values than EDDY and PUI, and the CNI group than EDDY ($p < 0.05$). The dentin tubule penetration area values of the root canal sealer in the control group were found to be lower than all experimental groups in the apical and middle third, and only

EDDY, EA and PUI in the coronal third ($p<0.05$). In addition, the dentin tubule penetration values of the root canal sealer in the control and all experimental groups increased from apical to coronal. It was found that the experimental groups showed higher bond strength values than the control group ($p<0.05$). When the correlations of push-out bond strength and dentin tubule penetration depth, area and percentage values of the root canal sealer were compared, a statistically significant but weak correlation was found (0.20-0.39).

Within the limitations of the study, the experimental groups that were activated in all parameters and sections (apical, middle, coronal) resulted in higher dentin tubule penetration and bond strength values than the control group. More studies are needed comparing EDDY, a new sonic activation system, with other activation systems.

Keywords: bond strength, dentin tubule penetration, irrigation, confocal laser scanning microscope

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Endodontik tedavinin başarısı, 'Endodontik Triad' olarak adlandırılan prensiplerin tam anlamıyla yerine getirilmesine bağlıdır. Bu prensipler; kök kanallarının mekanik olarak uygun biçimde şekillendirilmesi, mikroorganizmalardan temizlenmesi ve kök ucuna kadar üç boyutlu olarak sızdırmaz bir şekilde doldurulmasıdır (1). Kök kanal sisteminin karmaşık anatomiye sahip olması ve sadece mekanik temizlemenin yeterli olmaması nedeniyle kök kanal irrigasyonu tedavinin en önemli adımıdır. Bu sebeple kök kanallarının şekillendirilmesi sadece mekanik olarak değil Grossman'ın da belirttiği gibi 'biyomekanik preparasyon' adıyla biyolojik ilkeler içerisinde ele alınmalıdır (2). Biyomekanik preparasyon işlemleri uygulandıktan sonra bile kanalların içerisinde mikroorganizmaların mevcut olduğu gözlenmektedir (3).

Smear tabakası; organik ve inorganik bileşenlerden meydana gelen bir tabakadır ve bakteri, nekrotik materyaller ile odontoblastik işlemlerin kalıntılarını içerir (4). Bu tabakanın uzaklaştırılması marjinal sızıntıyı azaltarak kanal içi dezenfektanların ve kanal patlarının dentin tübüllerine adaptasyonunu iyileştirebilir ve yüzeyi bakterilerden arındırılabilir (5).

Dentin tübüllerine penetre olan kanal patı, kor materyali ile birlikte monoblok bir yapı oluşturarak kanal dolumunun sızdırmazlığı ve mekanik retansiyonunda önemli olabilir. Kök kanal irrigasyon solüsyonu ve kullanılan aktivasyon sisteminin tipi, kök kanal patı penetrasyonunu ve bağlanma dayanımını değiştirebilir. Dolayısıyla kullanılan irrigasyon sistemi kanal tedavisinin uzun dönem başarısını etkileyebilmektedir (6).

Kemomekanik preparasyon sırasında irrigasyon etkinliğini arttırmak için endodontik fırçalar, güta-perka konları, konvansiyonel iğne irrigasyonu (Kİİ), sonik sistemler, ultrasonik sistemler ve lazerden oluşan farklı manuel veya mekanik aktivasyon yöntemleri önerilmiştir (7, 8).

Pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ)'da, akustik enerji bir cihaz aracılığıyla irrigasyon solüsyonuna aktarılır. Akustik akış ve kavitasyon oluşturularak irrigasyon aktivasyonu

sağlanır (9). En yaygın irrigasyon aktivasyon yöntemlerinden biri olan ultrasonik aktivasyonun zararlı etkilerini önlemek için kesici etkisi olmayan plastik uçlara sahip sonik aktivasyon sistemleri önerilmiştir (10). Bu tekniği kullanan cihazlar arasında yer alan EndoAktivatör; (EA; Dentsply Maillefer, Ballagiues, İsviçre) 33–167 Hz frekansta çalışan, taşınabilen, kök dentinini kesmeyen tek kullanımlık esnek polimer uca sahip olan bir sonik aktivasyon sistemidir (11). Son yıllarda bir diğer sonik aktivasyon sistemi olan, hava ünitesine bağlı olarak 5000-6000 Hz frekansta çalışan, kesici olmayan ve tek kullanımlık esnek polimer uca sahip EDDY (VDW, Münih, Almanya) tanıtılmıştır (12).

Literatürde çeşitli irrigasyon aktivasyon sistemlerinin dentin tübül penetrasyonlarını karşılaştıran çalışmalar mevcut olsa da (13–16) ulaşabildiğimiz veriler dahilinde Kİİ, EA, EDDY, PUI yöntemlerinin dentin tübül penetrasyonları ve push-out bağlanma dayanımlarını karşılaştıran bir çalışma mevcut değildir.

Bu in-vitro çalışmanın amacı, mandibular premolar dişlerin final irrigasyonu aşamasında kullanılan farklı irrigasyon aktivasyon sistemlerinin (Kİİ, PUI, EA, EDDY), kök kanal patı dentin tübül penetrasyonu ve kök dentinine push-out bağlanma dayanımına etkisini karşılaştırmaktır. Çalışmanın sıfır hipotezi, farklı irrigasyon sistemleri arasında kök kanal patı dentin tübül penetrasyonu ve kök dentinine push-out bağlanma dayanımı açısından fark olmayacağıdır.

2. GENEL BİLGİLER

Kök kanal tedavisinde amaç, kök kanal sistemindeki organik ve inorganik artıkların temizlenmesi ve sistemin üç boyutlu olarak sızdırmaz bir şekilde doldurulmasıdır (17). Başarılı bir kök kanal tedavisi; kron ve kök kanal sistemindeki pulpa dokusunun çıkarılarak mekanik olarak şekillendirilmesi, mekanik ve kimyasal yöntemlerle mikroorganizmalardan arındırılarak kanal ağzından kök ucuna kadar hermetik bir şekilde doldurulması aşamalarından meydana gelir (18).

Kök kanal anatomisinin karmaşık doğası, kök kanalının tek başına enstrümantasyon yoluyla dezenfekte edilmesine izin vermez. Bakteri ve diğer doku kalıntıları kanal duvarlarında veya kanallar arasındaki istmuslarda kalabilir. El veya döner tekniklere dayanan enstrümantasyon, kök kanalının erişilemeyen bölgelerinde bulunan enfekte materyalleri ortadan kaldırmaz. Bu tür alanlara ulaşmak ve temizlemek için irrigasyon şarttır (19).

Kök kanalının mekanik şekillendirilmesi, antibakteriyel ajanların tüm kanal düzensizliklerine ulaşabilmesi için bir yol oluşturur. Ayrıca ara seanslarda kullanılan kanal içi medikament ve kanal dolgusu için de bir boşluk sağlamaktadır. Kullanılan enstrümanlar kök kanalının tüm ayrıntılarına tamamen temas etmediğinden dolayı sadece mekanik yöntemlerle kanal içi dezenfeksiyon imkansızdır. Ek olarak, tüm enfekte dokuyu bu yöntemle uzaklaştırmak diş yapısının zayıflamasına yol açacaktır. Bu nedenle kanal içi mikroorganizmaları yok edebilmek ve üç boyutlu temizlik için kök kanal şekillendirilmesi sırasında kullanılan irrigasyon solüsyonlarının aktive edilmesi önerilmektedir (20).

2.1. İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

2.1.1. Manuel Aktivasyon Yöntemleri

2.1.1.1. Geleneksel İrrigasyon Yöntemi

İğnelerle geleneksel irrigasyon yöntemi hem pratisyenler hem de endodontistler tarafından geniş çapta kabul görmektedir. Bu teknik, kök kanalına irrigasyonun, değişen ölçülerdeki iğneler yoluyla, pasif veya aktif şekilde verilmesini

içerir. Pasif uygulamada ileri-geri hareket yokken aktif uygulamada irrigasyon iğnesi yukarı ve aşağı hareket ettirilerek solüsyon aktivasyonu sağlanır. Bu iğnelerden bazıları solüsyonu en distal uçlarından dağıtmak üzere tasarlanırken, diğerleri yandan (kapalı uçlu) vermek üzere tasarlanmıştır. Ayrıca, irrigasyon sırasında iğnenin kanal içinde gevşek kalması çok önemlidir. Bu, irrigasyon solüsyonunun kanaldan geri gelmesine izin verir ve irrigasyon solüsyonunun yanlılıkla periapikal dokulara taşmasını önlerken aynı zamanda daha fazla debrisin çıkarılmasını sağlar (21).

İğne ile irrigasyonda irrigasyon solüsyonunun penetrasyonu; irrigasyon iğnesinin iç çapı, iğnenin kök kanalındaki penetrasyon derinliği, pistonun hareketi ve solüsyonun verilme hızı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (22). Çok düşük basınç ile irrigasyon yapıldığında yıkama solüsyonu çalışma uzunluğunun tamamına ulaşamamaktadır. Basınç arttırıldığında ise apikal açıklık veya anatomik varyasyonla birlikte, sodyum hipokloritin intraosseöz kemik sinüzoidleri yoluyla yüz damarlarına geçerek kazaların oluşmasına neden olabilir (8). Bunun engellenebilmesi için uçları kapalı, uç kısmın yaklaşık 1 mm koronal bölgesinden delikli, diş kökünün apikal üçlüsünün genişliğine göre çeşitli ebatlarda enjektörler üretilmiştir. Ucu kapalı enjektörler, irrigasyon sırasında hidrodinamik aktivasyonu da arttırmaktadır (23). Bu tip enjektörler ile irrigasyon solüsyonunun kanal içerisinde en etkili olduğu bölge, apikalin 1-2 mm koronalidir (24).

Endodontistlerin yaklaşık %40'ının ve genel diş hekimlerinin yaklaşık %80'inin iğne ile irrigasyona ek herhangi bir aktivasyon yöntemi kullanmadığı bildirilmiştir (25). İğne ile irrigasyon; yıkama solüsyonu hacminin ve iğnenin penetrasyon derinliğinin kolay kontrolüne olanak sağlaması gibi avantajlarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (26). Kanalin apikal üçlüsüne erişim sağlamak için 27-gauge veya 30-gauge gibi küçük boyutlu iğneler kullanılmalıdır (27).

2.1.1.2. Manuel-Dinamik İrrigasyon

Kökün apikal ucunun irrigasyonunda karşılaşılan zorluklar, solüsyonun kök kanalına iletilmesine izin veren yeni yöntemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Manuel dinamik irrigasyon (MDİ) olarak adlandırılan bu tekniklerden biri, kök kanalına adapte edilen yüksek açılı bir güta-perka'nın çalışma uzunluğu boyunca

yukarı ve aşağı hareket ettirilmesidir. Kanal içinde gütaperkayı 2-3 mm yavaşça hareket ettiren araştırmacılar, hareketin etkili bir hidrodinamik etkiye sahip olduğunu ve kanala verilen irrigasyon ajanının tahliyesini önemli ölçüde iyileştirdiğini belirtmiştir. Bazı çalışmalarda bu hareketin hızı dakikada 100 olarak bildirilmektedir (28, 29). Bunlara ek olarak MDİ'nun Kİİ'dan daha iyi kanal temizliği sağladığı bildirilmiştir (30).

Manuel dinamik irrigasyon, basitliği ve maliyet etkinliğinden dolayı bir kanal irrigasyon yöntemi olarak savunulmuş olsa da bu el ile gerçekleştirilen prosedürün zahmetli doğası nedeniyle klinikte rutin olarak uygulanmasını engellemektedir. Bu nedenle ya ticari olarak temin edilebilen ya da üretilmekte olan irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu için tasarlanmış bir dizi otomatik cihaz bulunmaktadır (31).

2.1.1.3. Endodontik Fırçalar

Endodontik fırçalar, kök kanallarındaki debris ve doku kalıntılarının uzaklaştırılması ve irrigasyon aktivasyonu için kullanılan aletlerdir. Bu amaç için endodonti pratiğinde EndoBrush (C&S Microinstruments Limited, Markham, Ontario, Kanada) ve 30-gauge'luk irrigasyon iğnesi üzerine fırça yerleştirilmiş olan NaviTip FX (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT) geliştirilmiştir. Çalışmalarda irrigasyonla beraber fırça kullanıldığında daha fazla debrisin kanaldan uzaklaştırıldığı görülmüştür (32, 33).

2.1.1.3.1. EndoBrush (C&S Microinstruments Ltd, Kanada)

Tel etrafına sarılmış plastik kıllara sahip olan spiral şekilli fırçadır. EndoBrush kullanılarak gerçekleştirilen kök kanal irrigasyonunun, fırça kullanılmadan gerçekleştirilenlere kıyasla daha etkili şekilde dentin temizliği yaptığı bildirilmiştir. Kanal içerisinde gerçekleştirilen ileri geri hareket esnasında apikalden debris taşıma ve boyutsal nedenlerle tam olarak çalışma boyuna ulaşmada zorlanma gibi dezavantajlara sahiptir (32).

2.1.1.3.2. NaviTip FX (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT)

Bir çalışmada NaviTip FX kullanılarak yapılan irrigasyonun fırçasız yapılan irrigasyona kıyasla, kök kanalının koronal bölümünün daha iyi temizlendiği fakat orta ve apikal bölümler arasında istatistiksel olarak fark bulunmadığı bildirilmiştir (33). Bu kanüllerin önemli dezavantajları arasında fırça kıllarının kanal içerisinde kopması ve radyolüsent olması nedeniyle radyografide ve mikroskop altında bile görülememesi sayılabilir (31).

2.1.2. Makine Destekli Aktivasyon Yöntemleri

2.1.2.1. Döner Fırçalar

2.1.2.1.1. CanalBrush (Coltene/Whaledent, Langenau, Almanya)

CanalBrush, ticari olarak kullanıma sunulan bir endodontik mikro fırçadır. Bu son derece esnek mikro fırça, tamamen polipropilenden üretilmiştir ve döner hareketle manuel olarak kullanılabilir. Bir derlemede küçük ve esnek CanalBrush'ın bir irrigasyon solüsyonu ile kullanılmasıyla simüle edilmiş kanal uzantılarından ve düzensizliklerden debrisin etkili bir şekilde çıkarıldığı belirtilmiştir (23).

2.1.2.1.2. RuddleBrush

Enstrümante edilmiş kök kanallarından debris ve smear tabakasının kaldırılmasını kolaylaştırmak için döner el alete takılabilen bir mikro fırça üretilmiştir. RuddleBrush, bir sap ve konik bir fırça bölümü içerir. Ucuna doğru, merkezi bir tel çekirdeğinden radyal olarak uzanan çoklu kıllara sahiptir. Debridman aşamasında mikro fırça yaklaşık 300 rpm hızla dönerek kılların preparasyon düzensizlikleri içinde deforme olmasına neden olur. Bu, debrisin kanalda koronale yönlenmesine yardımcı olur. Ancak bu ürün, 2001 yılında patenti onaylandığından beri ticari olarak mevcut değildir (23).

2.1.2.2. Eğeleme İşlemi Sırasında Devam Eden İrrigasyon

2.1.2.2.1. Quantec-E (SybronEndo, Orange, CA)

Sistem, dönen aletlerle şekillendirme sırasında sürekli olarak irrigasyon yapabilir. Solüsyonu başlığın ucuna iletebilen iki solüsyon deposu, bir pompa ve bir boru sisteminden oluşur. İğne irrigasyonu ile karşılaştırıldığında, Quantec-E ile yapılan irrigasyonun koronal üçte birlik kısımda daha temiz kanal duvarları, daha az debris ve daha eksiksiz smear tabakası kaldırılmasıyla sonuçlandığı bildirilmiştir. Ancak bu avantajlar kök kanalının orta ve apikal üçte birlik kısımlarında görülmemiştir (34). Bu aynı zamanda, Quantec-E ve geleneksel iğne irrigasyonu arasında anlamlı fark bulmayan Walters ve ark. tarafından da doğrulanmıştır (35).

2.1.2.2.2. Self- Adjusting File (SAF; ReDent-Nova, Ra'anana, İsrail)

SAF teknolojisi, işlem boyunca sürekli solüsyon akışının sağlandığı merkezi metal çekirdeği bulunmayan, içi boş, sıkıştırılabilir bir Ni-Ti eğe sisteminden oluşmaktadır. Enstrümanın kurulumu sırasında titreşimli hareketinden dolayı sürekli olarak irrigasyon yapılabilir. Sistem, dikey yönde dakikada 4000 kez 0,4 mm hafifçe titrer. Böylelikle eğeleme işlemi sırasında irrigasyon solüsyonunu eş zamanlı olarak kanala bırakmak ek bir basınç oluşturmaz. SAF teknolojisi sayesinde, kök kanalının şekli korunurken, tüm kök kanal sistemi etkin bir şekilde temizlenebilir. Kanaldaki irrigasyon ajanlarının sürekli yenilenmesi ile debrisler kanaldan uzaklaştırılmış olur (36). Ayrıca bir çalışmada SAF eğeler döner eğelere kıyasla daha az dokunulmamış alan göstermiştir (37).

2.1.2.3. Sonik Sistemler ile İrrigasyon

Tronstad ve ark. 1985 yılında endodonti için, bir sonik enstrümanın kullanımını bildiren ilk araştırmacılarıdır. Sonik irrigasyon, daha düşük bir frekansta (1-6 kHz) çalışması ve daha küçük kesme gerilmeleri oluşturması nedeniyle ultrasonik irrigasyondan farklıdır (38). Ayrıca, sonik enerji daha çok yüksek genlik ve daha büyük miktarda ileri-geri uç hareketi meydana getirir (31). Çalışmalar, sonik aktivasyonun yalnızca el eğeleri ile enstrümantasyona göre daha temiz kök kanalları gösterdiğini bildirmektedir (39, 40).

2.1.2.3.1. MM1500 (Micro-Mega, Besançon, Fransa)

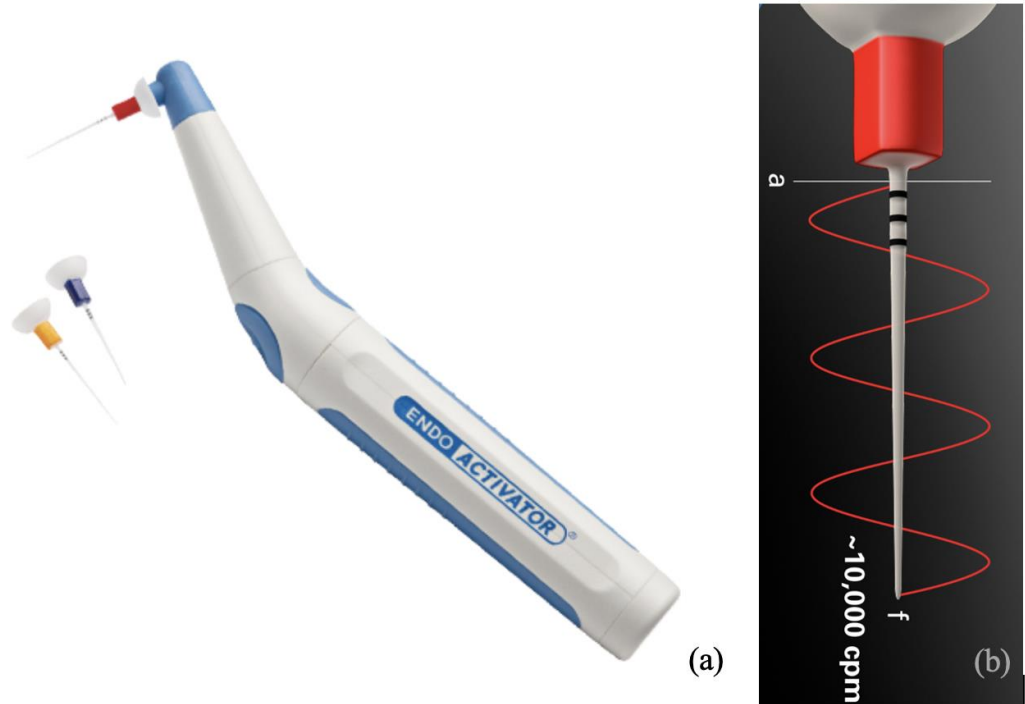
MM1500 Sonik el aleti, ünitlere bağlanan 0-1500 Hz'e kadar ayarlanabilir bir frekansa sahip, havayla çalışan bir el aletidir (41). Kalsiyum hidroksitin kanallardan uzaklaştırılmasının değerlendirildiği bir çalışmada MM1500; K tipi eğe, Canalbrush ve NaOCl'den önemli ölçüde daha üstün etkinlik göstermiştir (42).

2.1.2.3.2. Vibringe (Vibringe BV Corp, Amsterdam, Hollanda)

Vibringe sistemi, irrigasyon solüsyonunun manuel ve sonik aktivasyonunu birleştirerek kullanılabilen bir cihazdır. Vibringe, her irrigasyon iğnesi ile uyumlu, özel olarak tasarlanmış 10 ml Luer-Lock şırıngaya uyumlu kablosuz bir anguldruvadır (43).

2.1.2.3.3. EndoAktivatör (Dentsply Maillefer, Ballagiues, İsviçre)

EndoAktivatör (EA), irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu için kullanılan, 33-167 Hz aralığındaki frekansla çalışan sonik bir cihazdır (Resim 1a) (16).



Resim 1. EndoAktivatör Sonik Sistem (a) ve çalışırken meydana gelen dalgalanma (b) (11, 44)

Dakikada 2000, 6000, 10000 siklik hareket yapacak şekilde hızı ayarlanabilmektedir. Üretici, manuel şırınga ve endodontik irrigasyon iğnesi ile kanalın temizlenmesi, şekillendirilmesi ve irrigasyonu tamamlandıktan sonra bu cihazın kullanılmasını önermektedir. Kanala irrigasyon solüsyonu yerleştirildiğinde pasif uyumlu uçlar, 30–60 saniye boyunca 10000 döngü / dk'da etkinleştirilir (11, 45). Etkili irrigasyon aktivasyonu elde edebilmek için çalışma uzunluğundan 2 mm koronale yerleştirilen EA uç ileri-geri hareketler ile çalıştırılır (46).

EA uçlar kolay takılıp çıkarılabilen, 15/.02, 25/.04 ve 35/.04 eğe boyutlarında sarı, kırmızı ve mavi renk kodludur. Uçlar medikal polimerden üretilmiş olup, güçlü, esnek yapıdadır ve kolayca kırılmazlar. Pürüzsüz oldukları için dentini kesmezler. Uzunlukları 22 mm olup 18, 19 ve 20 mm'de konumlandırılmış uzunluk ölçme halkaları vardır. EA uçlar otoklavlanmaz tek kullanımlıktır. Otoklavlanması durumunda ucun elastikiyeti azalır, bu da ileri geri hareketini ve performansını olumsuz etkiler (11). Ayrıca, uç prepare edilen kanal için çok büyük olduğunda ucun ileri-geri hareketi sınırlanır bu da solüsyonu aktive edebilme yeteneğini sınırlar. Araştırmalar, ucun 2-3 mm ileri geri hareket ettirilmesinin, sonik titreşimle birlikte sinerjik olarak kuvvetli hidrodinamik fenomen ürettiğini göstermiştir (Resim 1b) (47, 48).

EA Sistemi'nin debris ve smear tabakasını kaldırarak lateral kanalları etkili şekilde temizleyebildiği ve eğimli kanalların içerisindeki simüle edilmiş biyofilmleri kaldırabildiği bildirilmiştir (29). Machado ve ark.'nın farklı final irrigasyon aktivasyon sistemleri kullanımı sonrası kanal patı dentin tübül penetrasyonunu karşılaştırdıkları çalışmalarında EA grubu tüm bölümlerde (3 ve 5 mm kesitler) KIİ grubuna göre daha yüksek penetrasyon değerleri göstermiştir (49). Başka bir çalışmada EDDY, EA, Irrisafe ve Endoultra aktivasyon sistemleri kullanılmış ve apikal üçlüde EA'ün Endoultra ve EDDY'den smear tabakasını uzaklaştırmada daha iyi sonuçlar gösterdiği belirtilmiştir (50).

2.1.2.3.4. EDDY (VDW, Münih, Almanya)

EDDY uçları, hava ölçekleyici tarafından 5000 ile 6000 Hz frekansla çalıştırılan diğer bir sonik irrigasyon cihazıdır (Resim 2a). Üretilen titreşim,

malzemenin nitelikleri sayesinde yüksek genlikte salınımlı hareket eden poliamid uca aktarılır. Bu üç boyutlu hareketin, yüksek temizleme verimliliği ile ilişkilendirilen akustik akışı tetiklediği bildirilmiştir. Sonik destekli EDDY uçları, irrigasyon solüsyonlarına ultrasoniklerle benzer etkiyi sağladığı, ancak yumuşak polimer uçları nedeniyle, yeni bir birleşik güvenlik ve verimlilik standardı belirlediği bildirilmiştir. Ayrıca EDDY 25/.04 apikal çaplı, keskin olmayan, steril, tek kullanımlık bir alettir (12).



Resim 2. EDDY Sonik Sistem (a) ve irrigasyon solüsyonunda meydana gelen akustik dalgalanma (b) (12, 51)

PUİ kök kanalındaki irrigasyonu etkinleştirmek için ultrasonik bir aletin kullanımına dayanır. Yenilikçi sonik enerjili irrigasyon EDDY ise, yüksek frekansta sonik aktivasyon gerçekleştirirken dentinin kesilmesini ve kanal morfolojisinin değişmesini önlemek için esnek poliamid uçlar kullanır. Bu debris ve organik dokuların kanal duvarlarından çıkarılmasında yararlıdır (52, 53). Üreticiye göre, EDDY solüsyon içerisinde meydana getirdiği ‘akustik akım’ ve ‘kavitasyon’ etkisiyle üç boyutlu sarmal girdaplar oluşturmaktadır (Resim 2b) (10).

Bir çalışmada yapay oluklardan sonik ve ultrasonik aktivasyon ile organik doku çözme etkinliği karşılaştırılmış olup PUİ, EA ve EDDY arasında benzer sonuçlar elde edilmiştir (54). Farklı final irrigasyon aktivasyon sistemlerinin düz köklü kanalların koronal, orta ve apikal üçlü bölgelerinden smear tabakası ve debris uzaklaştırma etkinliklerini karşılaştıran başka bir çalışmada EDDY’nin manuel

irrigasyondan daha etkili olduğu ve PUI'a benzer sonuçlar gösterdiği bildirilmiştir (52).

Uğur Aydın ve ark. yeni sonik irrigasyon sistemi EDDY'yi kanal patı penetrasyonu açısından PUI ve Kİİ ile karşılaştırmış ve apikal üçlüde EDDY grubunun Kİİ grubuna göre daha yüksek kanal patı penetrasyonu gösterdiğini, orta ve koronal üçlüde ise EDDY ve PUI gruplarının benzer olduğunu bildirmiştir (13).

2.1.2.4. Ultrasonik Sistemler ile İrrigasyon

Richman (55) 1957'de kanal debridmanı için ultrasonu endodontide tanıtmadan önce ultrasonik cihazlar periodontolojide uzun zamandır kullanılmaktaydı. 1980'de Martin ve ark. (56) tarafından tasarlanmış bir ultrasonik cihaz ticari olarak endodontide kullanım için uygun hale geldi.

Ultrason üretmenin iki temel yöntemi vardır. Birincisi, elektromanyetik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren manyetostriksiyondur. Bu yöntemde, bir el aletindeki bir yığın manyetik metal şerit, titreşimlerin üretilmesinin bir sonucu olarak, duran ve değişen bir manyetik alana maruz kalır (57, 58). İkinci yöntem, bir elektrik yükü uygulandığında boyut değiştiren bir kristalin kullanıldığı piezoelektrik prensibine dayanmaktadır. Bu kristalin deformasyonu, ısı üretmeden mekanik salınıma dönüştürülür (59).

Endodontide ultrasonik cihazların kullanıldığı uygulamalar;

1. Kanallara erişimin iyileştirilmesi, kalsifiye kanalların bulunması ve pulpa taşlarının çıkarılması
2. Kanal içi tıkanıklıkların kaldırılması (kırık aletler, kök kanal postları, vb.)
3. İrrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu
4. Güta-perka'nın ultrasonik kondenzasyonu
5. Mineral trioksit agregat'ın (MTA) yerleştirilmesi

6. Cerrahi endodonti: Kök ucu kavite hazırlığı, kök ucu obturasyon materyalinin yerleştirilmesi

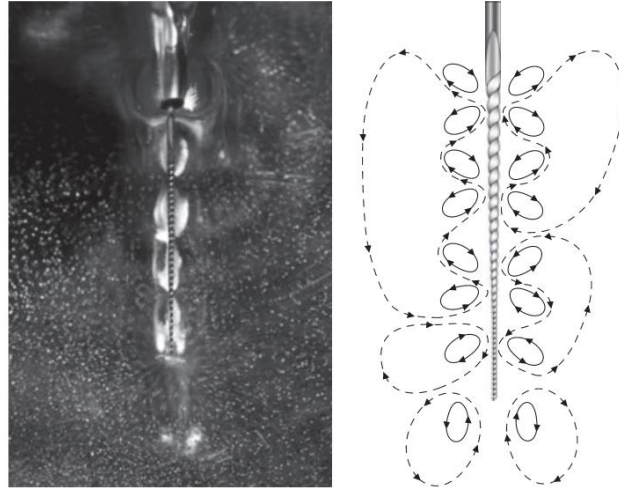
7. Kök kanal preparasyonu (60)

Sonik enerji ile kıyaslandığında, ultrasonik enerji düşük genlikler fakat yüksek frekanslar üretmektedir (61). Uçlar, insanın işitsel olarak algı sınırının (>20 kHz) üstünde 25–40 kHz'lik ultrasonik frekanslar meydana getirecek biçimde tasarlanmıştır. Uzunlukları boyunca karakterize düğüm ve karşıt bir düğüm modeli oluşturarak enine bir titreşimle çalışırlar (19).



Resim 3. Pasif Ultrasonik Sistem (62)

Literatürde iki tip ultrasonik irrigasyon tanımlanmıştır. İlk tip, eş zamanlı ultrasonik enstrümantasyon ve irrigasyon kombinasyonudur (Uİ). Genellikle pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) olarak adlandırılan ikinci tip ise eş zamanlı enstrümantasyon olmadan çalışır (Resim 3). Uİ sırasında uç kasıtlı olarak kök kanal duvarı ile temas ettirilir. Uİ'nun kök kanal sisteminden pulpa dokusunu veya kök kanal duvarından smear tabakasını çıkarmada PUI'dan daha az etkili olduğu gösterilmiştir (38, 63). Ultrasonik aktivasyonun ege etrafındaki irrigantta akustik akış alanları ürettiği bilinmektedir (Resim 4) ve bu tür basınç gradyanları irrigasyonun kanal etrafında hareket etmesine yardımcı olabilir. Bu, PUI tekniğinin kullanılmasına yol açmıştır (9).



Resim 4. Ultrasonik uç etrafında oluşan akustik dalgalanma (9)

Endosonik sistemler üzerinde yapılan çalışmalar, PUİ cihazlarıyla ultrasonik olarak irrigate edilen dişlerin, tek başına geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen tedavilerden önemli ölçüde daha temiz kanallara sahip olduğunu göstermiştir (56, 64–73). Fakat PUİ sırasında dentinin kesilmesini ve dolayısıyla hazırlanan kök kanalının şeklini kontrol etmek zordur. Perforasyon oluşturmalarının yanı sıra oldukça düzensiz şekilli kanallar sıklıkla meydana gelmektedir (74). Bu nedenle, PUİ geleneksel el enstrümantasyonuna bir alternatif olarak algılanmamalıdır (75–77).

2.1.2.5. Basınç Değişim Sistemleri

2.1.2.5.1. Endosafe (VPro; Vista Dental, Racine, WI)

EndoSafe sistemi negatif basınç prensibiyle çalışan irrigasyon aktivasyon sistemidir. Son derece esnek, açık uçlu 30-gauge iğne ucu ve katlanır tahliye başlığı ile çalışma uzunluğunda hem irrigasyon solüsyonunu kanal içerisine iletir hem de üniten vakum sistemine bağlanarak solüsyonu tahliye eder (78). Bir çalışmada Endosafe sisteminin, Max-i-Probe, NaviTip, VPro StreamClean ve EndoVac sistemlerine kıyasla periapikal dokuda daha fazla basınç meydana getirdiği bulunmuştur (79). Bir çalışmada ise Endosafe sistemi ve geleneksel irrigasyon yöntemi arasında apikal üçlünün temizlenmesinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı gösterilmiştir (78).

2.1.2.5.2. Endovac (Discus Dental, Culver City, CA, ABD)

EndoVac sistemi negatif basınç meydana getiren irrigasyon aktivasyon sistemidir. Mikro kanül, makro kanül ve ana uygulama ucu olmak üzere 3 bileşenden oluşur. Ana uygulama ucu irrigasyonu aynı anda iletir ve tahliye eder. Makro kanül, (ISO) boyutu #55 .02 olan açık uçlu plastiktir ve hazneden kanalın koronal ve orta bölümlerine irrigasyonu emmek için kullanılır. Mikro kanül paslanmaz çeliktir ve 12 tane küçük, yan yana konumlandırılmış delik içerir ve debrisleri çalışma boyuna kadar tahliye edebilir (48).

2007 yılında yapılan bir çalışma, EndoVac sistemi tarafından verilen irrigant hacminin, aynı zaman periyodu sırasında geleneksel iğne irrigasyonu ile verilen hacimden önemli ölçüde daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu çalışma, EndoVac sisteminin, iğne irrigasyonuna göre çalışma uzunluğundan 1 mm uzaklıkta daha iyi debridmana neden olduğu sonucuna varmıştır (80).

Kanal patı penetrasyonunun karşılaştırıldığı bir çalışmada EndoVac irrigasyonu apekten 1 ve 3 mm uzaklıkta, geleneksel irrigasyondan önemli ölçüde daha yüksek bir kanal patı penetrasyon yüzdesi bildirmiştir (81). Başka bir çalışmada ise EndoVac, PIPS ve geleneksel iğne irrigasyonu arasında koronal ve apikal seviyelerde debris kaldırma, tüm seviyelerde smear tabakasını uzaklaştırma açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır (82).

2.1.2.5.3. RinsEndo (Air Techniques Inc, New York, ABD)

RinsEndo sistemi negatif basınç teknolojisi ile üretilen başka bir kök kanal irrigasyon cihazıdır (83, 84). RinsEndo bileşenleri; bir anguldruva, 7 mm uzunluğunda açıklığa sahip bir kanül ve irrigasyon solüsyonu taşıyan bir şırıngadır. Anguldruva dental hava kompresörü ile çalışır ve 6,2 mL/dk irrigasyon hızına sahiptir (48).

Hauser ve ark.'nın bir çalışmasında hidrodinamik irrigasyon sisteminin (RinsEndo) konvansiyonel yöntemlere göre bir boya işaretleyicisinin dentin tübül penetrasyonunu arttırdığı gösterilmiştir. Buna rağmen, bu sistem ile daha yüksek apikal ekstrüzyon riski de belirtilmiştir (83).

RinsEndo sisteminin kanal duvarlarının temizlenmesindeki etkinliği, McGill ve ark. (84) tarafından sorgulanmıştır. Çekilmiş dişlerde gerçeğçi ve standartlaştırılmış çok tŸrlŸ biyofilm oluşumundaki zorluk göz ŸnŸne alındığında, kanal duvarları boyunca bakteriyel bir biyofilmi simŸle etmek için özŸnmŸř kollajen biyo-molekŸler film kullanılmıştır. Bu çalışmada otomatik-dinamik irrigasyonun (RinsEndo) biyomolekŸler filmi uzaklaştırmada statik irrigasyona göre daha etkili, manuel dinamik irrigasyona göre daha az etkili olduğu gŸsterilmiřtir.

2.1.2.6. Lazer ile Aktivasyon

Lazer esas olarak ışık enerjisini ısı enerjisine dŸnŸřtŸren, “*light amplification by stimulated emission of radiation*” kelimelerinin baş harflerinden oluşan bir dŸzenek ve ışık gŸlendiricisidir. Lazer sistemi; lazer ortamı, optik rezonans odası ve rezonans odasına enerji yollayan pompa sistemi olmak Ÿzere Ÿ bŸlŸmden oluşur. Lazer isimleri, lazer ortamındaki lazer aktif maddesine bakılarak belirlenmektedir (85).

Lazerlerin Endodontik Uygulamaları:

- Dentin hassasiyeti ve dentin yapısının modifikasyonu
- Pulpa teşhisi
- Pulpa kuafajı ve pulpotomi
- KŸk kanal sisteminin temizlenmesi ve şekillendirilmesi
- Endodontik cerrahi’dir (86)

KŸk kanal temizliği ve dezenfeksiyonu için çeşitli lazer dalga boyları araştırılmıştır:

- Erbiyum: itriyum alŸminyum granat (Er: YAG), 2940 nm
- Erbiyum, krom: itriyum skandiyum galyum granat (Er, Cr: YSGG), 2780 nm
- Neodimyum: itriyum alŸminyum granat (Nd: YAG), 1064 nm
- Diyot, 635 ila 980 nm; potasyum titanil fosfat, 532 nm
- Karbon dioksit (CO₂), 9600 ve 10600 nm (87)

Er: YAG lazerler, Erbiyum (Er⁺³) iyonları ilave edilmiş, YAG ana kristalinden oluşan ve 2940 nm dalga boyuna sahip lazerlerdir. Kavo tarafından ilk olarak 1992

yılında piyasaya sürülmüştür. Endodontide, sert doku preperasyonunda ve yumuşak doku tedavilerinde bu lazerden yararlanılmaktadır (88).

Lazerlerin irrigasyon aktivasyon etkisi kavitasyona bağlıdır; sub-ablatif ayarlarda lazerin aktivasyonu, suda genişleyen ve patlayan büyük eliptik buhar kabarcıklarının oluşmasına sebep olur. Buhar kabarcıkları, orijinal hacmin 1600 katı hacimsel genişlemeye neden olur, bu basıncı artırır ve sıvıyı kanaldan dışarı atar. Kabarcık 100 ila 200 mikrosaniye (μ s) sonra patladığında, düşük basınç meydana gelir ve sıvıyı kanala tekrar çekerek ikincil kavitasyon etkisini artırır (87).

Olivi ve DiVito (2012) Er: YAG lazeri kök kanal sisteminin şekillendirilmesinde ve temizliğinde kullanılmak üzere Photon Induced Photoacoustic Streaming (PIPS) adını verdikleri sistemi geliştirmişlerdir. PIPS tekniğinde Er: YAG lazer sub-ablatif enerji (20 mJ, 15 Hz) ve ultra kısa darbelerle (50 μ s) kullanılmıştır. Bu fotoakustik ve fotomekanik etkilerin sonucu olarak kanal için kavitasyon ve şok dalgalarına neden olur (89). Akçay ve ark.'nın farklı irrigasyon teknikleri sonrası çeşitli kök kanal patlarının dentin tübül penetrasyonun değerlendirdikleri çalışmalarında PIPS ve PUI'nun Kİİ'a göre yüksek penetrasyon değerleri gösterdiğini bulmuşlardır (14).

Endodontide lazerle yapılan irrigasyon aktivasyonlarında en son gelişme, bir Er: YAG lazeri ve pulpa odasının içine yerleştirilmiş bir fiber ucu kullanan SWEEPS'tir (şok dalgasıyla güçlendirilmiş emisyon fotoakustik akış). SWEEPS şok dalgaları ve gelişmiş fotoakustik akış ile sonuçlanabilmesi için sıvıya darbeli lazer ışını yayarak bir dizi baloncuk oluşturmaktadır (90). Fakat Galler ve ark.'nın güncel bir çalışmada SWEEPS modunun irrigasyon penetrasyonunu arttırmadığı belirtilmiştir (91).

2.1.2.7. GentleWave (Sonendo, Inc., Laguna Hills, CA, ABD)

GentleWave Sistemi minimal mekanik temizlik ve şekillendirmeden sonra kök kanal sistemini temizlemek ve dezenfekte etmek için gelişmiş akışkan dinamiği, akustik enerji ve doku çözme kimyasını kullanan multisonik ultra temizleme teknolojisidir (92).

Yenilikçi endodontik tedavi olarak adlandırılan GentleWave sistemi kök kanal sistemi boyunca distile su, sodyum hipoklorit (NaOCl) ve etilendiamintetraasetik asit (EDTA) vermek üzere tasarlanmıştır. Multisonik ultra temizlemeyi kullanan GentleWave prosedürü, kök kanal sisteminin genellikle dokunulmamış veya standart tekniklerle tespit edilmemiş alanlarını debride ve dezenfekte eder (93).

GentleWave sisteminin, mandibular molarların mezyal kök kanallarından debris çıkarılması araştırılan bir çalışmada, sistemin devamlı ultrasonik irrigasyondan daha yüksek; fakat aralıklı ultrasonik irrigasyondan daha düşük etkinliğe sahip olduğu bulundu (94). Başka bir çalışmada ise GentleWave Sistemi ile gerçekleştirilen kanal tedavisinde, konvansiyonel döner enstrümantasyon ve PUI protokolü ile tedavi edilenlere kıyasla, mandibular molarların mezyal kökleri ve maksiller molarların mezyobukkal köklerindeki biyofilm miktarında önemli ölçüde daha fazla azalma gösterilmiştir (95).

2.2. Dentin Tübül Penetrasyonu

Dentin tübüllerine giren kanal patı miktarı penetrasyon olarak tanımlanır (96). Dentin tübül penetrasyonunun ölçülmesi, endodontik kanal patı performansını değerlendirmek için kullanılan yöntemlerden biridir (97).

Penetrasyon derinliği, endodontik kanal patlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri, dentin tübüllerinin açıklığı ve yoğunluğu gibi birçok faktöre bağlıdır (98). Dentin tübül penetrasyonu, kanal dolum materyallerini yerinden çıkarmak için gereken sızdırmazlık kabiliyetinin ve kuvvetin, kanal patı ve dentin arasındaki mekanik kilitleme ile arttırıldığı göz önüne alındığında, genellikle kök kanal dolgusunun olumlu bir sonucu olarak kabul edilir (99). Antibakteriyel özelliklere sahip olan kanal patının dentine penetre olması antibakteriyel etkisini artırabilir (97). Ayrıca, daha iyi kanal patı penetrasyonu için smear tabakası çıkarılmalıdır çünkü patların ve dezenfektanların dentin tübüllerine penetrasyonunu olumsuz etkileyebilir. Smear tabakasının kaldırılması kalan mikroorganizmaların besin kaynağını ortadan kaldırarak yeniden enfeksiyonu önlemektedir. Bu nedenlerle pat penetrasyonunu artırmak amacıyla şelasyon ajanlarından biri olan EDTA'nın NaOCl ile kullanılarak smear tabakasının kaldırılabilceği belirtilmiştir (100, 101).

Kelebek etkisi, köklerin bazı kesitlerinde görülebilen optik bir fenomendir. Dentin tübüllerindeki skleroz, mezyodistal ve bukkolingual yönlerde farklılık gösterir ve bu farklılık, köklerin enine kesitlerinde kelebek şeklinde sonuçlanır. Dentin tübülleri ışığın kırılmasına ve saçılmasına neden olur. Dentin tübülleri azaldığında ışık iletimi artar ve bu da yarı saydam bir görünüme neden olur. Kelebek etkisi sonucu mevcut dişlerin bukkolingual olarak daha fazla kanal patı penetrasyonuna sahip olduğu ve koronal bölümlerin orta bölümlere göre daha fazla penetrasyona sahip olduğu bildirilmiştir (91, 96).

2.3. Dentin Tübül Penetrasyon Değerlendirme Yöntemleri

Kök kanal patı dentin tübül penetrasyonunun görüntülenebilmesi amacıyla Işık Mikroskobu (90, 102), Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM) (103–110), Stereomikroskop (111–116) ve Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop (KLTM) (117–124) kullanılmaktadır.

2.3.1. Işık Mikroskobu

Işık mikroskobu ile kök kanal duvarlarında kalan gütta-perka ve pat miktarı değerlendirilirken dişler longitudinal olarak ayrılarak görüntü alınır ve bu görüntüler skorlama veya analiz programları ile değerlendirilir. Bu yöntemin avantajları basit ve ucuz olmasıdır. Ancak üç boyutlu bir değerlendirme sağlanamaz (125–127).

2.3.2. Stereomikroskop

Stereomikroskopta ışık tek bir objektif ve oküler mercek sisteminden geçmek yerine iki ayrı mercek sisteminden geçer. Işık mikroskobu ışığı tek bir ışık yolundan her iki göze yönlendirilirken, stereomikroskop ışığı iki bağımsız ışık yolundan her iki göze yönlendirilir. Numune üzerindeki tek bir noktadan gelen ışık, her göze ulaşmak için iki farklı yoldan bağımsız olarak hareket ettiğinden numune üç boyutlu görünür (128).

2.3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Elektron Microscopy -TEM)

Taramalı elektron mikroskobu, hızlandırılmış bir elektron demetini tarayarak bir numuneyi görüntüleyen ve analiz eden, ardından ikincil elektronları, geri saçılan

elektronları ve demet ile numune etkileşimlerinden kaynaklanan diğer sinyalleri seçici olarak toplayıp kaydeden bir görüntüleme tekniğidir. Modern bir taramalı elektron mikroskobu (TEM) malzemelerin mikro ila nano ölçekte gözlenmesine ve karakterizasyonuna izin verir (129).

TEM ile dentin tübüllerinin açık olup olmaması gibi son derece ayrıntılı görüntüler elde edilebilir (130). Kök kanal patının detaylı olarak tübüle adaptasyonu incelenebilir ve ayrıca dentin tübül penetrasyonu detaylı olarak ölçülebilir (108, 131). Fakat; düşük büyütme altında genel bir görüntü elde edilememesi, örneklerin hazırlanırken artefakt oluşma potansiyeli ve örneklerin incelemek için ikiye ayrılması sırasında tahribat oluşma riski gibi çeşitli dezavantajlara sahiptir (69, 71).

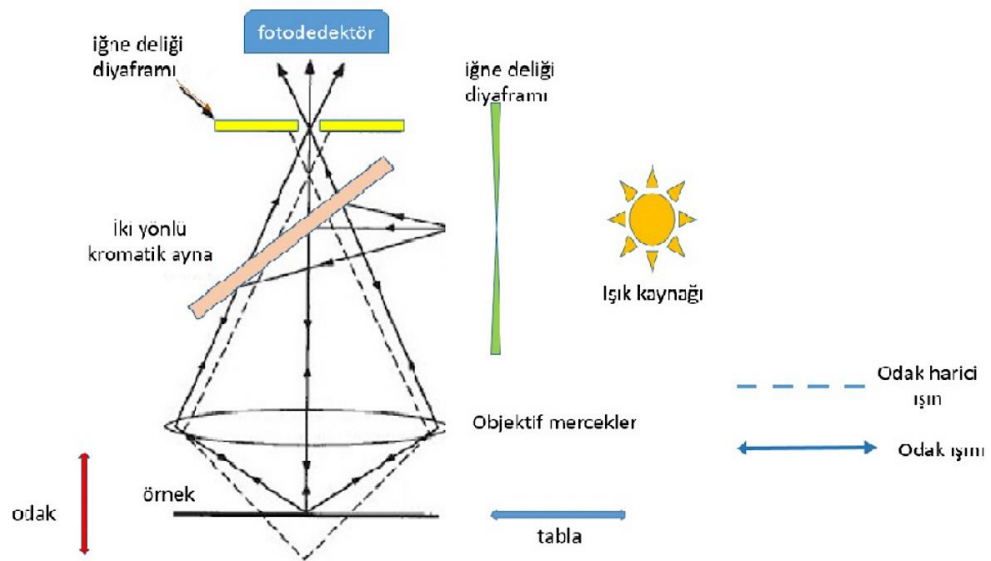
2.3.4. Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop (Confocal Laser Scanning Microscope- KLTM)

Konfokal mikroskopiye 1955 yılında Harvard Üniversitesi'nde Marvin Minsky öncülük etmiştir. Minsky, tek seferde bir noktayı aydınlatarak bütün örnek aynı anda aydınlatıldığında, bir görüntüyü gizleyen istenmeyen dağınık ışığın çoğundan kaçınmak istemiştir. Ek olarak, numuneden dönen ışık, doğrudan odak noktasından olmayan ışınları reddeden ikinci bir iğne deliği açıklığından geçecektir. Kalan “arzu edilen” ışınlar daha sonra bir foto çoğaltıcı tarafından toplanacak ve görüntü, uzun süre “alıcı bir ekran” kullanılarak kademeli olarak yeniden oluşturulacaktır. Minsky, görüntüyü oluşturmak için ışık ışınları yerine tablayı hareket ettirerek örneği taramıştır. Bu, hareketli optiklerin hassas hizalamasını korumaya çalışmaktan kaçınmak içindir. Platformu dikey olarak hareket ettirmek için 60 Hz solenoidi ve yatay olarak hareket ettirmek için daha düşük frekanslı bir solenoidi kullanan Minsky, her 10 saniyede yaklaşık bir görüntü kare hızı elde etmeyi başarmıştır (134).

Lazer ışığı floresan işaretli örnekte ilerlerken yol boyunca tüm floresan molekülleri uyarır. Uyarılan moleküllerden her yöne yayılan floresan emisyon oluşur. Meydana gelen emisyon dikroik aynadan yansır. Yansıyan ışığın karşısına ortasında küçük bir delik (pin hole) olan bir plaka yerleştirilir. Odaktan kaynaklanan emisyonun yayılım geometrisi sebebiyle tam deliğe denk gelmesiyle “foton çarpıcı tüpe (photomultiplier tube, PMT)” çarparak enerjisini aktarır ve bu hareketle emisyon

kaydedilir. Odak planının altında ve üstünde kalan emisyon yayılımları ise deliğe denk gelmeyip plağa çarptığı için kaydedilemezler. Nokta ışık kaynağı (lazer) ve pin hole kullanılarak çok katmanlı bir floresan cisimden, sadece odak planından kaynaklanan emisyon süzülüp kaydedilir. Bu prensibin mikroskopik incelemeye uygulanması sayesinde konfokal mikroskop geliştirilmiştir (Şekil 1). Bu sıralı işlemler sonunda mikroskopik görüntü sayısal görüntü haline getirilir. Sadece odak planından süzülen emisyon kaynaklı olduğundan non-invaziv optik kesit elde edilmiş olur. Daha sonra objektif Δz kadar kaydırılır ve optik plan yeniden taranır, bu işlemin tekrarlanmasıyla z ekseninde “görüntü takımı (Z-stack)” elde edilmiş olur.

Xy planında yapılan pikselleme ve z ekseninde iki fokal plan resmi arasındaki mesafe mekanik olarak ayarlandığından tüm eksenlerin bilgisi hatasız olarak kaydedilir. Bu bilgilerin dijital ortamda bir araya getirilmesi sağlanır ve üç boyutlu görüntü elde edilir. Bu teknikle biyo-malzemenin derinlerinde yerleşmiş olan hücre veya diğer moleküllerin görüntüleri elde edilebilir. 100 nanometreden küçük alt yüzey düzlemlerinin tomografik olarak incelenebildiği non-invaziv bir tekniktir. Kontrast, konvansiyonel mikroskoba kıyasla daha iyidir, lateral çözünürlüğü daha fazladır ve görüntü daha az bulanıktır. Görüntü açısından bu avantajların yanında incelenen örneğin vertikal eksenden kaydedilen sıralı görüntü serileri odak derinliğini arttırmakta ve üç boyutlu gerçek bir görüntü rekonstrüksiyonu da sağlanabilmektedir (135, 136).



Şekil 1. Konfokal lazer taramalı mikroskopun çalışma prensibi (137)

KLTM'nin başlıca avantajları şunlardır:

- (1) Odak içi düzlemin dışında bölgeler oluşturan perdenin kaldırılması ile daha yüksek bir kontrast elde edilebilir.
- (2) Işık kaynağı olarak bir lazer ışığının kullanılması nedeniyle daha yüksek bir çözünürlük elde edilebilir.
- (3) Sistem, odak düzlemini değiştirerek farklı derinliklerde görüntüler alabilir.
- (4) Görüntüler üç boyutlu yeniden yapılandırma kullanılarak temsil edilebilir.
- (5) Görüntüyü dijitalleştirmek ve morfometrik ölçümler olarak görüntüleme tekniklerini kullanmak mümkündür (138).

KLTM, dentin boyunca kaydedilen bir dizi optik XY görüntüsünü elde etmek için kullanılabilir. TEM ve histolojik yöntemlerle karşılaştırıldığında, KLTM diş tübüllerinin içindeki floresan (Rhodamin) işaretli kök kanal patlarının görüntülenmesini düşük büyütme (4x- 10x) ile sağlayabilir. Ayrıca, KLTM ile örneklerin hazırlanması non-destrüktiftir ve bundan dolayı artefakt meydana gelme ihtimali azdır (139–141).

Çeşitli cihazlar arasında KLTM, diş hekimliği araştırmalarında değerli bir araç olarak kabul edilir. Diş hekimliğinde çürük, sert ve yumuşak dokuların biyomateriyallere (örneğin implantlar) tepkisi ve periodontal tedavi rejimlerinin etkisinin izlenmesi, endodontik mikrofloranın görselleştirilmesi, diş dokularının histolojik olarak gözlemlenmesi amaçlarıyla da kullanılmaktadır (142–144).

2.4. Bağlanma Dayanımı

Bağlanma dayanımı, malzemelerin yerinden çıkmaya ya da kopmaya karşı gösterdikleri dirençtir (145). Diş hekimliğinde kullanılan biyomalzemeler, dentin duvarlarına düzgün yapışma sağlamalı ve düzgün bir sızdırmazlık sağlamak için yer değiştirmemelidir. Dentine bağlanma dayanımı yeterli sızdırmazlık için temel kriter olarak kabul edilir. Bu durumun gerçekleşmemesi durumunda bakteri ve ürünlerinin sızıntısına ve sonuç olarak tedavinin başarısızlığına neden olur (146).

2.5. Bağlanma Dayanımı Değerlendirilmesinde Kullanılan Testler

Klinik deneyler, diş restorasyonlarını değerlendirmek için nihai testlerdir; ancak, ağız boşluğu içindeki restorasyonların çeşitli streslere maruz kalması deney sonucunun güvenilirliğini etkiler. Laboratuvar testleri ise, belirli bir parametre hakkında verileri hızlı ve kolay bir şekilde toplar. Belirli bir materyalin klinik performansını doğru bir şekilde tahmin edecek tek bir laboratuvar testi veya test çeşitleri olmayacak olması çok muhtemeldir. Bağlanma dayanımı testleri, statik veya dinamik testler olabilir. Statik testlerde, klinik koşulları taklit eden dinamik testlerin aksine, test numunesi sabit olduğunda yük uygulanır. Statik testler, bağlanma alanının $>3 \text{ mm}^2$ olduğu makro testler ve bağlanma alanı $<3 \text{ mm}^2$ olan mikro testler olarak kategorize edilir (147).

Kök kanal dolgu materyallerinin bağlantı dayanımı değerlendirmesinde kullanılan mekanik testler řu şekildedir (147):

- Makaslama bağlanma dayanımı testi (Shear bond strength test)
- Gerilme bağlanma dayanımı testi (Tensile bond strength test)
- Çekme bağlanma dayanımı testi (Pull-out bond strength test)
- İtme bağlanma dayanımı testi (Push-out bond strength test)

2.5.1. Makaslama Bağlanma Dayanımı Testi

Bu yöntemde kuvvet, dentin ve materyalin bağlandığı yüzeye paralel olarak gelir. Bağlanma gerçekteşen ara yüzey ve kuvvet arasında moment kolu oluşur (148). Makaslama testlerinde en büyük zorluk cihazın bağlanma ara yüzüne yakın konumlandırılmasıdır. Bağlanma ara yüzüne yakın mesafede yük dengelenmekte ve materyalde net olmayan dönme momenti oluşmaktadır (149).

2.5.2. Gerilme Bağlanma Dayanımı Testi

Cihazın tablasına, kalıplarla hazırlanmış deney düzeneği yerleştirilip uygun konumda sabitlenmektedir. Düzeneğe uygun biçimde hazırlanmış materyal ile kuvvet

uygulayan uç ters yönde sabit hızla çekilip bağlanma dayanımı belirlenir. Gerilme testlerinde, materyal ile deney yüzeyi aynı düzlemde olduğunda daha düzgün bir stres dağılımı sağlandığı belirtilmiştir (150).

2.5.3. Çekme Bağlanma Dayanımı Testi

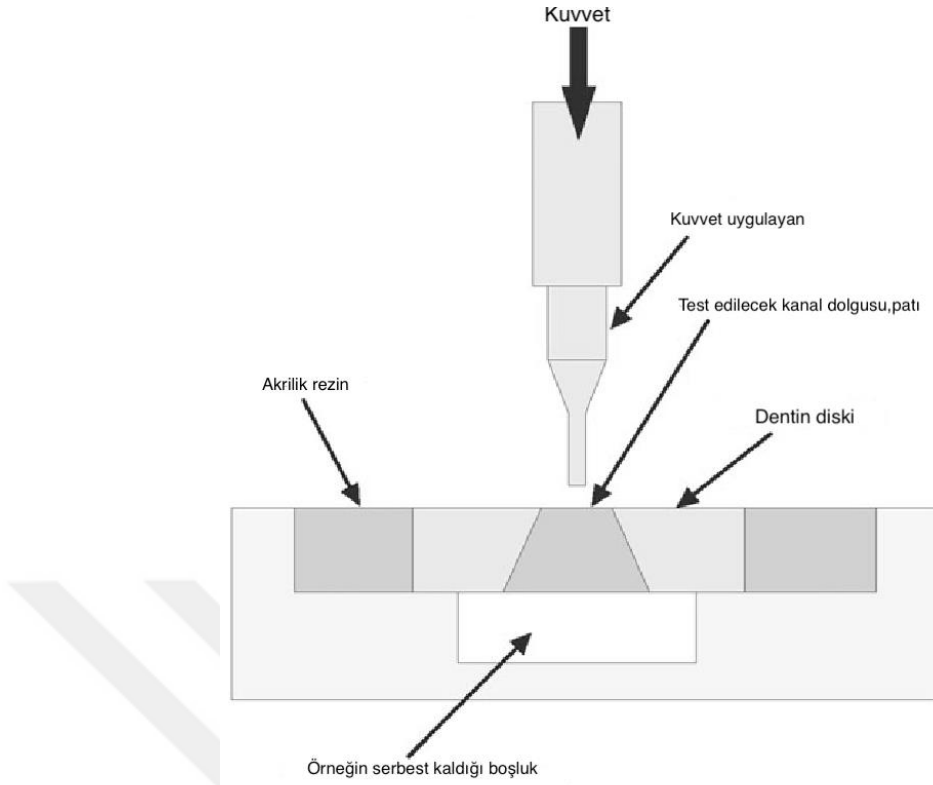
Bir yapıyı uzatmaya çalışan yüke karşı oluşan gerilim çeşididir. Çekme bağlanma testinde gerilme ve makaslama kuvvetleri, aynı zamanda belirlenebilmektedir. Bu yöntemde, kesit alınmadığından dolayı hassas kesimden kaynaklanan yanlışlar engellenmiş olur ve işlem hassasiyeti azalır (151).

Genellikle kök kanalına yerleştirilen metal veya fiber postların yapıştırıcı simanlara ya da kök dentinine olan bağlantısını test etmek amacıyla kullanılır. Düzenekte çekme kuvveti uygulanacak olan örnekler hareket etmemesi amacıyla akrilik rezin bloklara gömülür. Post'a ve dişin uzun aksına paralel olacak biçimde 0,5-1 mm/dk hızla çekme kuvveti yönlendirilir. Post'u kök kanalından uzaklaştırabilen kuvvet Newton (N) cinsinden kaydedilmektedir (152–154).

2.5.4. Push-out Bağlanma Dayanımı Testi

Push-out testi, dişhekimliğinde ilk olarak Roydhouse tarafından tanıtılmıştır (155). Klinik koşulları en iyi taklit eden yöntem olması sebebiyle push-out (itme) bağlanma dayanımı testi kanal içerisinde kullanılan materyallerin bağlanma dayanımının değerlendirilmesinde en çok tercih edilen testtir (156).

'Mikropush-out test' veya 'ince kesitli push-out test' olarak adlandırılan testte, kök kanallarına simante edilen materyaller yatay olarak ince kesitler şeklinde kesilirler. Bir dijital uzunluk ölçüm cihazı ile kesilen örneklerin kalınlıkları ölçülür. Sonrasında bir Instron cihazına yerleştirilen kesitlere bir plunger yardımıyla apiko-koronal yönde kopma meydana gelene kadar kuvvet uygulanmaktadır (Şekil 2). Kopmanın gerçekleştiği andaki maksimum kuvvet Newton (N) cinsinden kaydedilir. Bağlanma dayanımı kuvvetin yüzey alanına bölünerek MPa cinsinden hesaplanır (157). Test sırasında dikkat edilecek önemli noktalardan biri, hazırlanan kesitlerin 1-2 mm kalınlığında olmasıdır. Kök kesitleri kalın hazırlandığında adeziv ara yüzünde birbirine denk olmayan yüksek stresler olduğu bildirilmiştir (158).



Şekil 2. Push-out bağlanma dayanımı test düzeneği (21)

Diğer testlerde koronal dentinden alınan örnekler kullanılıyorken, push-out bağlanma dayanımı ölçüm tekniğinde kök dentininden alınan kesitlerin kullanılması testin avantajlarından biridir. Kök ve koronal dentinin yapısal farklılıkları verileri etkileyebilmektedir (159). Böylece kök kanalının doldurulmasından önce uygulanan ve kök kanal dentin yapısını etkileyen temizleme ve şekillendirme prosedürleri de göz ardı edilmemiş olur (160). Bu test, düşük bağlanma dayanımlarına sahip kök kanal dolgu patlarının değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bir çalışmada, gerilim testlerinde örneklerin hazırlanmasında pek çok başarısızlık olabildiği, verilerin çok geniş bir aralıkta dağıldığı ve push-out bağlanma dayanımı testinin daha güvenilir olduğu belirtilmiştir (156).

Çalışmalarda örnekler farklı kök kanalı derinlik seviyesi kesitleri ile incelendiğinde, patların bağlanma dayanımı değerlerinde farklılıklar bulunmuştur (161–163). Alınan kesit bölgesinin bağlanma dayanımı üzerinde önemli olmadığı belirtilirken (156), yapılan çalışmalarda apikal kesitlerdeki bağlanma dayanımı üzerine çelişkili sonuçlar bulunmuştur (164, 165).

Bir çalışmada ultrasonik aktivasyon uygulanan örneklerin bağlanma dayanımı, sonik aktivasyon uygulanan ve aktivasyon uygulanmayan örneklerle göre daha yüksek bulunmuştur (166). Başka bir çalışmada ise kök kanalının orta ve apikal seviyelerinde sonik aktivasyon grubunun ultrasonik gruba kıyasla daha düşük bağlanma dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür (167).

Literatürde çeşitli irrigasyon aktivasyon sistemlerinin dentin tübül penetrasyonlarını karşılaştıran çalışmalar mevcut olsa da ulaşabildiğimiz veriler dahilinde KIİ, EA, EDDY, PUI yöntemlerinin dentin tübül penetrasyonları ve bağlanma dayanımlarını karşılaştıran bir çalışma mevcut değildir.

Bu çalışmanın amacı, dört farklı irrigasyon sisteminin (KIİ, PUI (Irrisafe), EA, EDDY) kök kanal patı dentin tübül penetrasyonu ve kök dentinine bağlanma dayanımına etkisini karşılaştırmaktır. Çalışmanın sıfır hipotezi çeşitli irrigasyon aktivasyon sistemleri arasında kök kanal patı dentin tübül penetrasyonu ve kök dentinine bağlanma dayanımı açısından fark olmayacaktır.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Etik Kurul Onayı

Çalışma için gerekli olan etik kurul onayı Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Bilimsel Etik Kurul Başkanlığı'ndan alındı (11.01.2021 tarih ve 2020/343 protokol numaralı karar) (Ek 1).

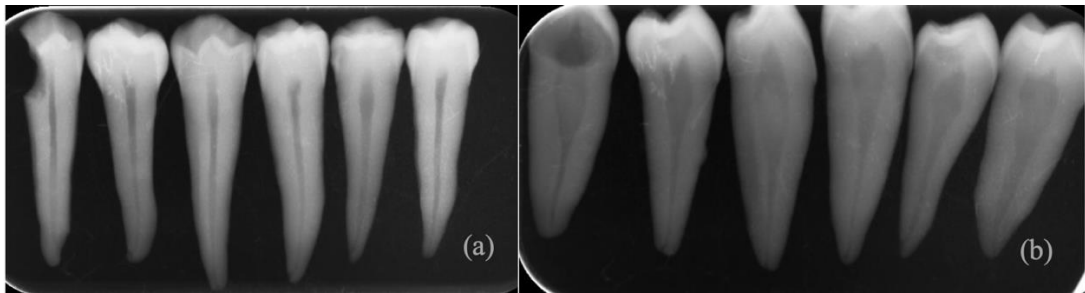
Çalışmada kök kanal patı dentin tübül penetrasyonlarının KLTM ile görüntülenmesi Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı'nda, bağlanma dayanımı testleri de Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yapıldı.

3.2. Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması

Örneklem boyutunun hesaplanmasında Yılmaz ve ark.'nın (8060489)(158) araştırması baz alındı. Alfa hata=0,05 beta hata=0,01, etki boyutu 1.6 alınarak her bir grup için 17'şer dişin yeterli olacağı sonucuna varıldı. Ancak muhtemel veri kayıpları göz önüne alınarak toplamda 90 (n=20; her bir deney grubu, n=10; kontrol grubu) dişin araştırmaya dahil edilmesi planlandı.

3.3. Örnek Seçimi

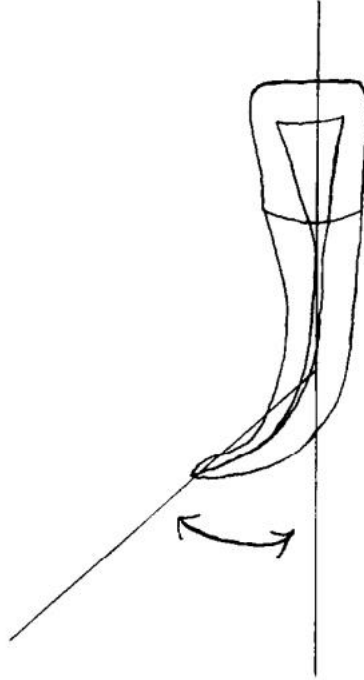
Çalışmaya çeşitli nedenlerle çekim endikasyonu konulan apeks gelişimi tamamlanmış, kalsifikasyon, çatlak, kırık, önceden yapılmış kök kanal dolgusu veya rezorpsiyon bulunmayan, tek kök ve tek kanala sahip 90 adet mandibular premolar diş dahil edildi.



Resim 5. Dişlerin deney aşamasından önce buko-lingual (a) ve mezyo-distal (b) yönlerden kontrol amaçlı alınan radyografiler

Çalışmanın bütün aşamaları tek araştırmacı tarafından gerçekleştirildi. Bütün dişlerin bukko-lingual ve mezyo-distal yöndeki radyografileri Kodak 2100 Intraoral X-ray cihazı ile alındı (Resim 5). Kodak 2100 intraoral X-ray röntgeni 60 kV, 7 mA ve 0,20 saniye (sn) ile çalıştırıldı.

Dişlerin eğrilik dereceleri Schneider yöntemine (168) göre belirlendi. Değişen kanal eğriliğinin derecesi belirlenirken hem bukko-lingual hem de mezyo-distal yönde alınan röntgenlerde kanalın uzun eksenine paralel bir çizgi çizildi. Apikal foramenden kanalın uzun eksenini terk etmeye başladığı noktada birinci ile kesişmesi için ikinci bir çizgi çizildi. İki çizgi arasındaki dar açı kanalın eğim açısını verdi (Şekil 3). Çalışmamıza Schneider açıları 0° - 10° aralığındaki dişler dahil edildi.



Şekil 3. Kanalların eğrilik derecelerinin belirlenmesi (168)

Dişler üzerindeki yumuşak ve sert doku artıkları uzaklaştırılıp çalışmada kullanılana kadar oda sıcaklığında, %0,5 lik timol (Tıb-Tek İlaç ve Hammadde Ltd. Şti. İstanbul, Türkiye) katılan distile su içerisinde muhafaza edildi.

3.4. Örnek Preparasyonu

Dişlerin uzunluğu 16 mm olacak şekilde dekorone edildi ve dijital kumpas (Gomax, Hong-Kong, Çin) ile ölçüldü (Resim 6). Bu işlem standart bir uzunluk elde etmek amacıyla su soğutması altında elmas fissür frezler ile gerçekleştirildi.



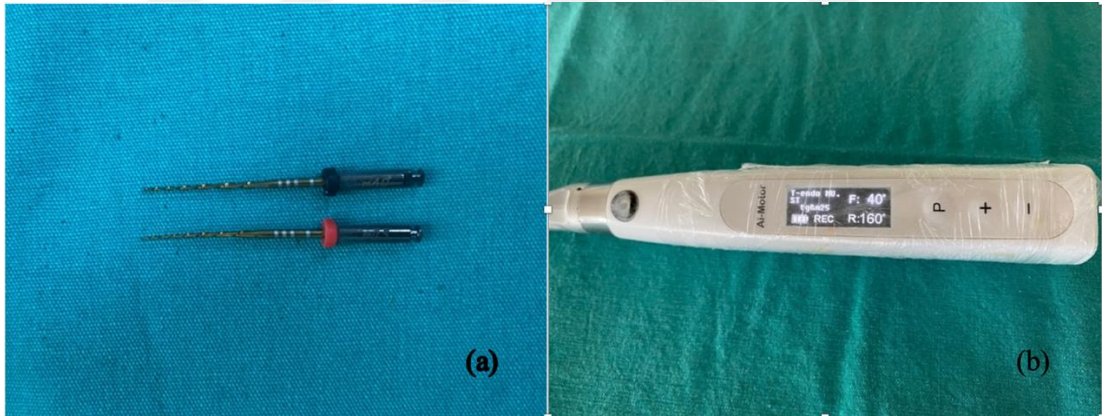
Resim 6. Kumpas ile örneklerin boyunun kontrol edilmesi

Giriş kaviteleri, aerator ucuna takılı 2 numaralı elmas rond frez yardımıyla su soğutması altında açıldı. #10 K (Antaeos, VDW GmbH, Münih, Almanya) tipi eğe görsel olarak apikal uçta görülene kadar ilerlenip apikal foramende gözlendiğindeki boyu endoblok (Dentsply Maillefer, Ballaigues) ile ölçüldü ve bu boydan 1 mm kısa olacak şekilde çalışma boyu belirlendi. Ayrıca, standardizasyonu sağlamak için #25 K tipi eğe kanalda pasif olarak ilerletildi ve bu eğenin apikal forameni geçtiği dişler çalışmadan çıkarıldı. Tüm gruplardaki dişlerin apikal uçları kapalı kanal sistemi oluşturmak için mum ile kapatıldı (Resim 7).



Resim 7. Apikal uçları mum ile kapatılan örnekler

Üretici firmanın talimatlarına göre 160 CCW°, 40 CW° açılarında resiprokasyon moduna ayarlanan Ai-Motor Endomotor'a (Woodpecker DTE, Çin) takılan T-Endo Must 25/.06 ve 40/.04 eğeler (Dentac, İstanbul, Türkiye) ile kanal şekillendirmesi gerçekleştirildi (Resim 8).



Resim 8. Preparasyon aşamasında kullanılan T- Endo Must resiprokal eğeler (a), resiprokasyon modunda kullanılan endodontik Ai-Motor (b)

Her enstrüman sonrası 30-gauge yandan açılı endodontik iğne (Steri Irrigation Tips, Diadent, Cheongju, Kanada) çalışma boyundan 2 mm kısa olacak şekilde kanala yerleştirildi ve 2 ml %2,5 NaOCl solüsyonu ile irrigasyon yapıldı.

3.5. Final İrrigasyon Prosedürleri

Enstrümantasyon sonrası örnekler rastgele 5 gruba ayrıldı (www.random.org); bir kontrol grubu (n=10) ve dört final irrigasyon grubu (n=20). Kontrol grubunda final irrigasyon prosedürleri uygulanmadı.

1. Grup: Konvansiyonel İğne İrrigasyonu:

30-gauge yandan açılı endodontik iğne (Steri Irrigation Tips, Diadent, Cheongju, Kanada) (Resim 9) daha önce belirlenmiş olan çalışma uzunluğundan 2 mm daha kısa olacak şekilde kök kanalına yerleştirildi. İleri-geri hareketlerle 20 saniyelik 3 periyot olmak üzere, toplamda 3 ml EDTA (Endo-Solution CERKAMED, Nisko, Polonya) (%17) ve 3 ml NaOCl (Chloraxid CERKAMED, Nisko, Polonya) (%2,5) 1 dk olacak şekilde sırasıyla uygulandı (Resim 10).



Resim 9. Konvansiyonel iğne grubunda kullanılan yandan açılı 30-gauge irrigasyon iğnesi



Resim 10. Çalışmada kullanılan NaOCl (a) ve EDTA (b) solüsyonları

2. Grup: Pasif Ultrasonik İrrigasyon:

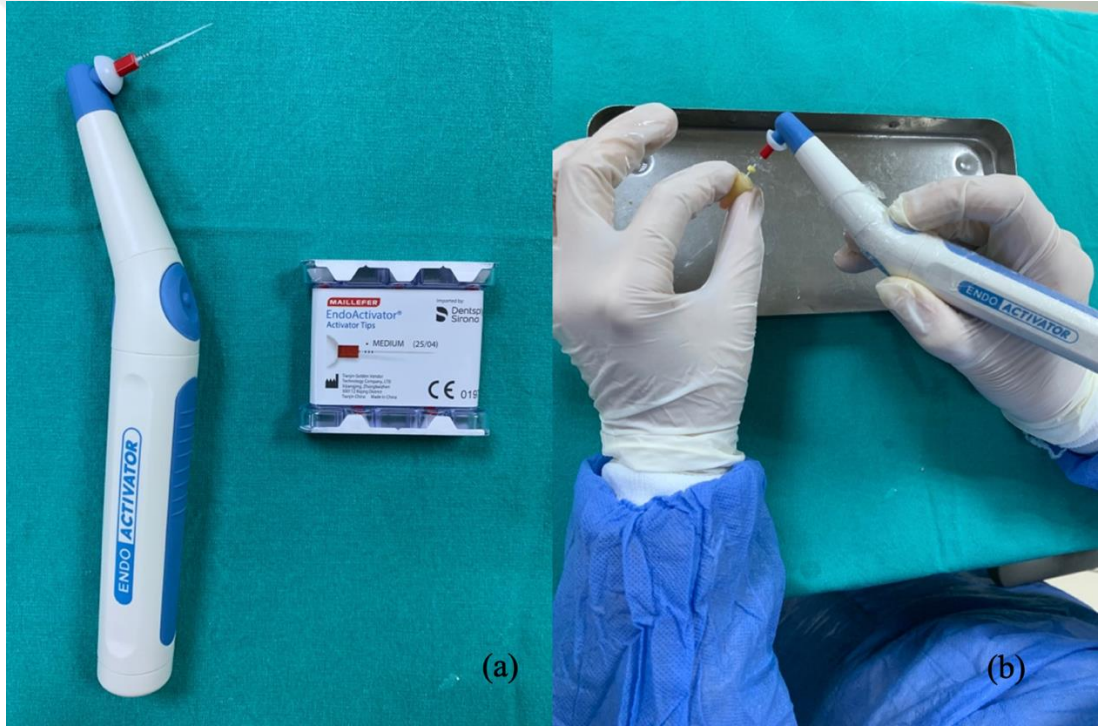
Kİİ grubunda olduğu gibi irrigasyon solüsyonları kök kanallarına 30-gauge yandan açılan endodontik iğne kullanılarak uygulandı. 1 ml %17 EDTA solüsyonu kanala gönderildi ve çalışma boyunun 2 mm gerisinde yerleştirilen IRR20/25 paslanmaz çelik uç (çap: 0.20 mm, uzunluk: 25 mm; Irrisafe uç, Satelec Acteon Group, Merignac, Fransa) (Resim 11a) ile 2-3 mm ileri-geri hareketlerle aktivasyon gerçekleştirildi. Bu prosedür 20 saniyelik 3 periyot olmak üzere 1 dakika boyunca uygulandı. Aynı prosedür 1 ml %2,5 NaOCl solüsyonu için de gerçekleştirildi. Toplamda 3 ml %17 EDTA ve 3 ml %2,5 NaOCl solüsyonu kullanıldı. Aktivasyon sırasında Irrisafe uçların yerleştirildiği pasif ultrasonik cihaz (P5 Newtron XS, Satelec Acteon Group, Merignac, Fransa) 9 numaralı kuvvette çalıştırıldı (Resim 11b) ve ucun kanal duvarlarına temas etmemesine ve kanal içerisinde sürekli solüsyon bulunmasına dikkat edildi.



Resim 11. Çalışmamızda kullanılan Irrisafe uçlar (a) ve Ultrasonik Cihaz (b)

3. Grup: EndoAktivatör (Sonik İrrigasyon):

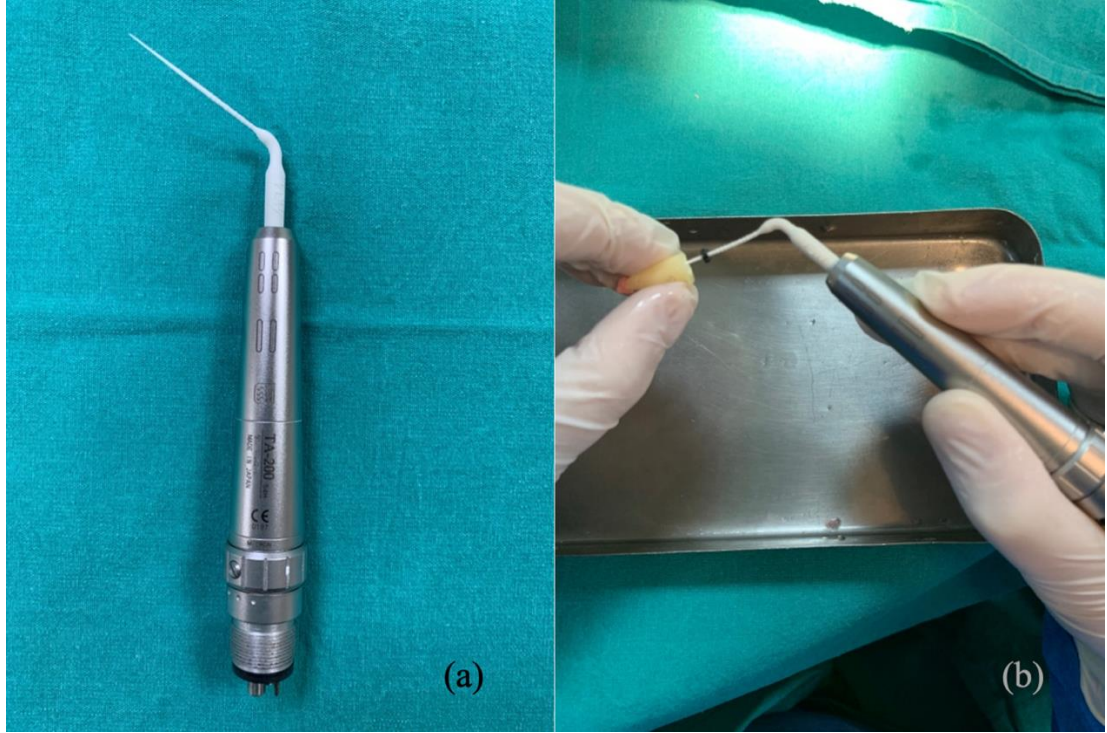
İrrigasyon solüsyonları kök kanallarına Kİİ grubunda olduğu gibi 30-gauge yandan açılan endodontik iğne kullanılarak gönderildi. 20 saniyelik 3 periyot olmak üzere toplam 3 ml %17 EDTA ve 3 ml %2,5 NaOCl solüsyonları 1 dakika boyunca 25/.04 kırmızı EA uç (Dentsply Maillefer, İsviçre) ile aktive edildi. Aktivasyon sırasında EA cihazı 10000 döngü olacak şekilde ayarlandı ve çalışma uzunluğunun 2 mm gerisinde konumlandırılan ucun 2-3 mm dikey vuruş hareketiyle aktivasyon gerçekleştirildi (Resim 12). Bu esnada kanal duvarlarına temas olmamasına dikkat edildi ve kanal içerisinde sürekli solüsyon bulunması sağlandı.



Resim 12. EndoAktivatör Sonik İrrigasyon Cihazı (a) ve medium boyutlu (25/.04) uç ile irrigasyon solüsyonlarının aktivasyon sırasındaki gösterimi (b)

4.Grup: EDDY (Sonik İrrigasyon):

İrrigasyon solüsyonları kök kanallarına Kİİ grubunda olduğu gibi 30-gauge yandan açılan endodontik iğne kullanılarak gönderildi. 20 saniyelik 3 periyot olmak üzere toplam 3 ml %17 EDTA ve 3 ml %2,5 NaOCl solüsyonları 1 dakika boyunca 25/04 esnek poliamid uca sahip EDDY (VDW, Münih, Almanya) ile aktive edildi. Aktivasyon sırasında 6000 Hz frekanslı TA-200 cihazına (Micron, TA 200 Airscaler, Ikegami, Otaku, Tokyo, Japonya) bağlanan ve sonik aktivasyon yapan EDDY uç çalışma uzunluğunun 2 mm gerisinde konumlandırıldı ve 2-3 mm ileri-geri hareketlerle uygulandı (Resim 13). Bu esnada kanal duvarlarına temas olmamasına dikkat edildi ve kanal içerisinde sürekli solüsyon bulunması sağlandı.



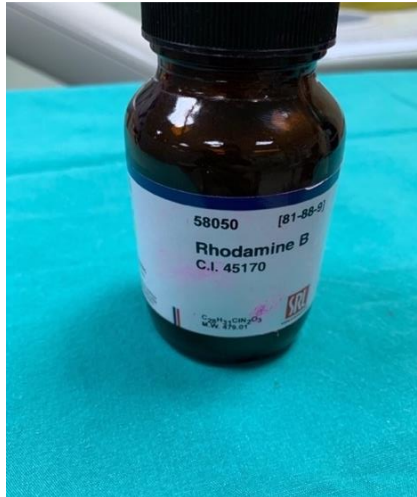
Resim 13. TA 200 cihazına bağlanan sonik aktivasyon yapan EDDY uç (a) ve irrigasyon solüsyonlarının aktivasyon sırasındaki gösterimi (b)

3.6. Kök Kanallarının Doldurulması

Final irrigasyon sonrası her bir kanal 3 ml distile su ile irrigate edildi ve paper pointlerle (Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kurutuldu. KLTM analizlerini gerçekleştirebilmek için AH Plus (DeTrey Dentsply, Konstanz, Almanya) kanal patı



Resim 14. Çalışmada kullanılan hassas terazi

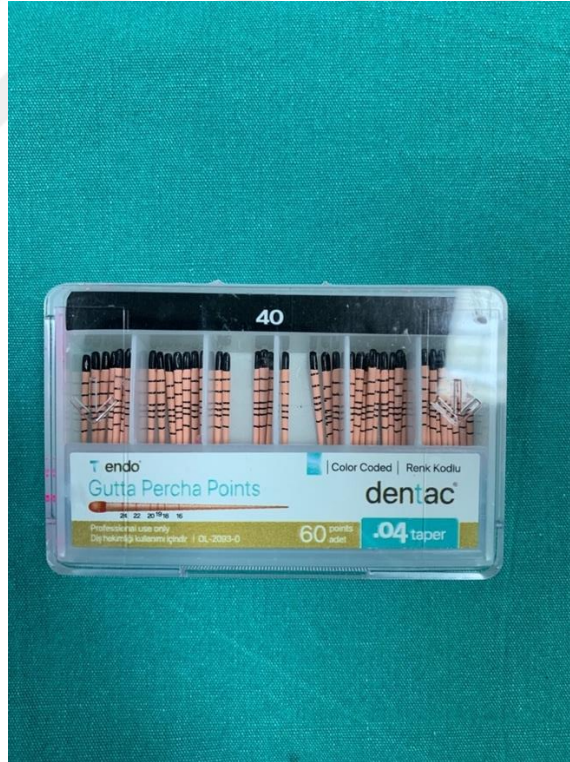


34

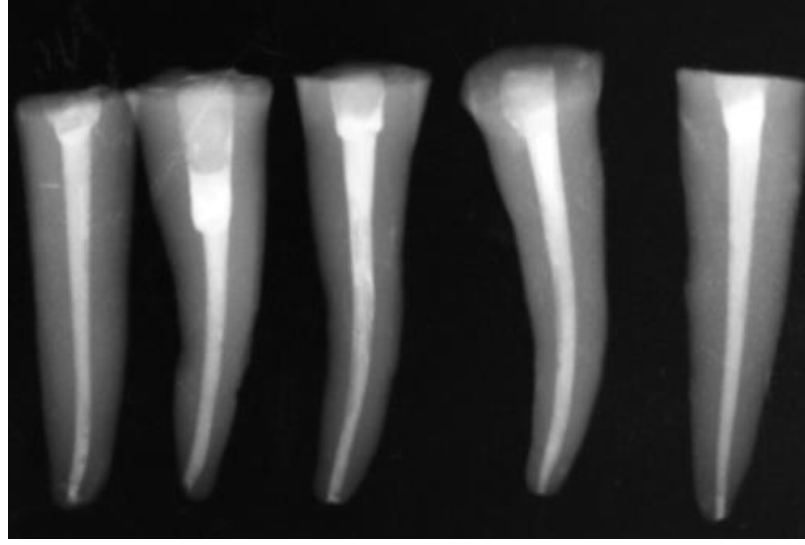


Resim 16. Çalışmada kullanılan AH Plus kök kanal patı ile Rhodamin B boyasının %0,1 oranında karıştırılması

Kök kanallarında eşit miktarda kanal patı kullanımı için her bir kanalda insülin iğnesi ile 0,05 ml Rhodamin B ile karıştırılmış pat hazırlandı. T-Endo Must 40/.04 güta-perkalar (Dentac, İstanbul, Türkiye) (Resim 17) ile çalışma boyu ve tug-back kontrolü sağlanıp soğuk lateral kondenzasyon yöntemi ile kök kanal dolumu gerçekleştirildi ve dolum sonrası radyografiler alındı (Resim 18).



Resim 17. Çalışmada kullanılan 40/.04 T-Endo güta-perka konlar



Resim 18. Kök kanal dolumu yapılan örneklerin radyografisi

Fazla güta-perkalar ısıtılmış ekskavatör yardımıyla mine-sement sınırının 1 mm altına kadar kesildi ve vertikal olarak kondenzasyon uygulandı. Giriş kavitesindeki pat fazlalıkları alkollü pamuk ile temizlendi. Kaviteler geçici dolgu materyali (e-temp, Diadent, Kanada) ile restore edildi (Resim 19). Dişler kök kanal patının sertleşmesi için 7 gün 37 °C ve >%95 nemli ortam olan inkübatör içinde bekletildi (Resim 20 ve 21).



Resim 19. Çalışmada kullanılan geçici dolgu materyali



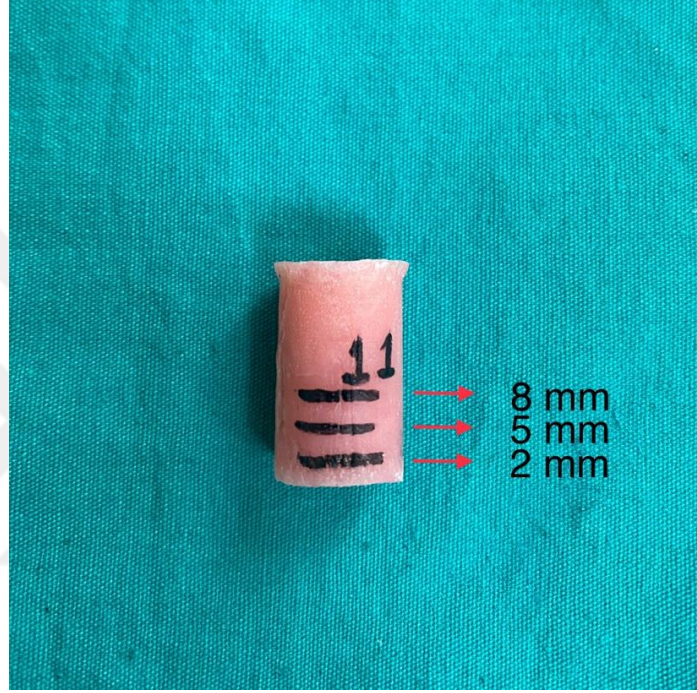
Resim 20. Dolum işlemi tamamlanan örnekler



Resim 21. Kanal dolumu yapıldıktan sonra 37°C ve >%95 nemli olan inkübatör içerisinde örneklerin bekletilmesi

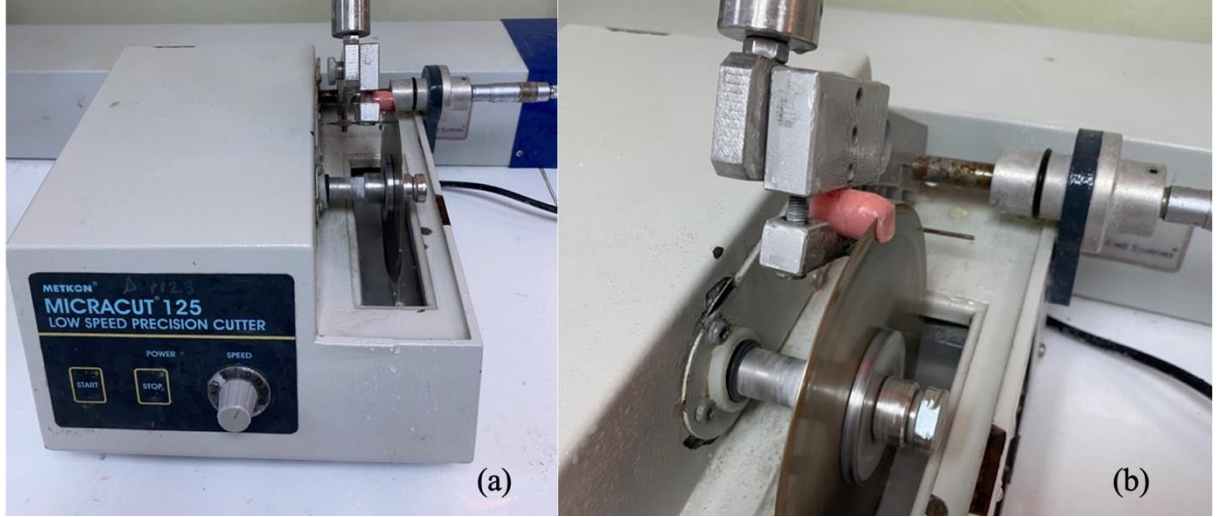
3.7. Örneklerden Kesit Alınması

Nemli ortamda 1 hafta bekletilen örneklerin apikal foramenleri uçta olacak şekilde soğuk akrilik (Self Cure, IMICRYL, Türkiye) içine yerleştirilerek sabitlendi. Her örnek apikalden itibaren 2-3 mm, 5-6 mm ve 8-9 mm aralıkları işaretlendi (Resim 22).



Resim 22. Kesim öncesi akrilik blokların işaretlenmesi

İşaretlenen kısımlar düşük hızdaki mikrocut cihazı (Metkon Microcut 125, Bursa, Türkiye) kullanılarak su soğutması altında 0,3 mm kalınlığındaki elmas disk (Metkon A.Ş., Bursa Türkiye) ile kökün uzun aksına dik şekilde kesildi (Resim 23). Her kök için yaklaşık $1 \pm 0,1$ mm kalınlığında ve 2, 5, 8 mm derinliğinde üç adet horizontal kesit (apikal, orta, koronal) (Resim 24) ve toplamda 270 kesit elde edildi. Her bir kesit 0,001 mm hassasiyete sahip olan dijital bir kumpas (Gomax, Hong-Kong, Çin) kullanılarak kontrol edildi. Kesitler ilgili dişe ve dişin bölgelerine göre numaralandırıldı.



Resim 23. Çalışmada kullanılan mikrocut cihazı (a) ve örneklerden elmas disk ile kesit alınma işlemi (b)



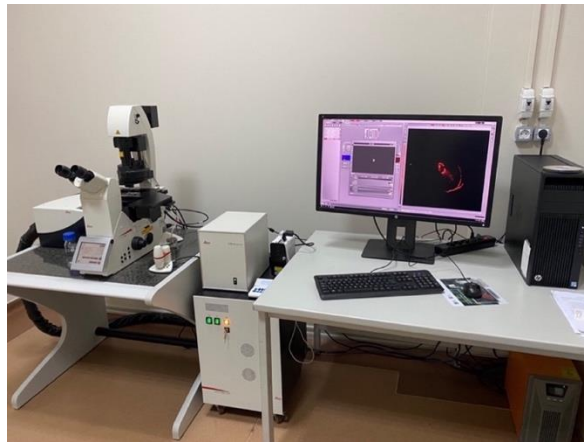
Resim 24. Kesit alınma işlemi tamamlanan ve kesit alınan bölgeye göre isimlendirilen örnekler (yukarıdan aşağıya; koronal, orta, apikal)

3.8. Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop ile Dentin Kesitlerinin Görüntülenmesi

Koronal, orta ve apikal uçluden alınan her bir horizontal kesit lam üzerine yerleştirildi ve 543 nm dalga boyundaki helyum lazer ve 4x büyütmedeki Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop (Leica, TCS SP8 MP, Mannheim, Almanya) ile görüntülendi (Resim 25 ve 26). Tek bir görüntüye sığmayan orta ve koronal kesitler mikroskobun hareketli tablası sayesinde taranıp görüntüler birleştirilerek tek bir görüntü elde edildi. Leica LASX Core 3.7.4 yazılımında ölçüm için her bir görüntüye ölçüm cetveli yerleştirilerek Image J 1.53 programına aktarılıp ölçümler gerçekleştirildi.

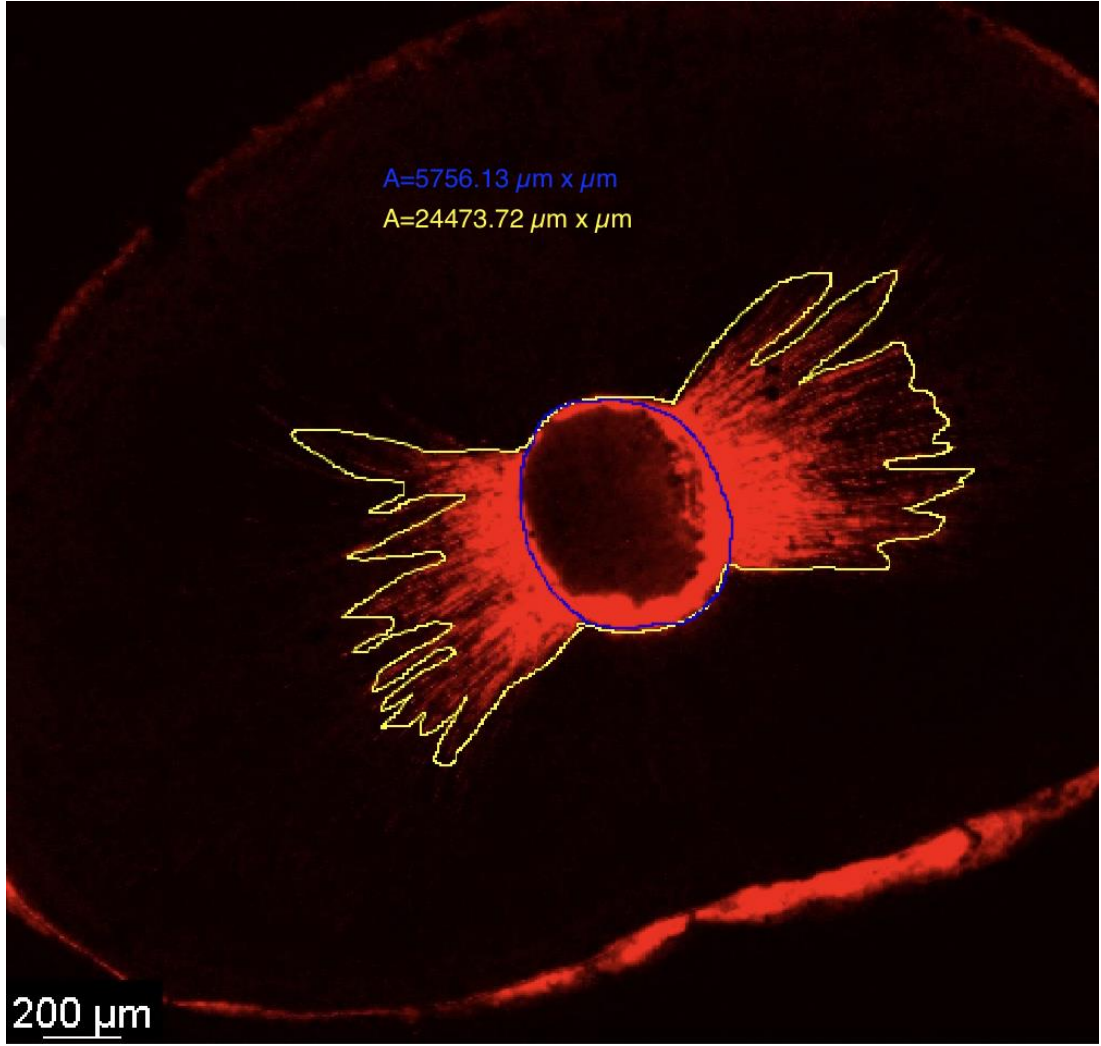


Resim 25. Kesitlerin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop ile görüntülenmesi



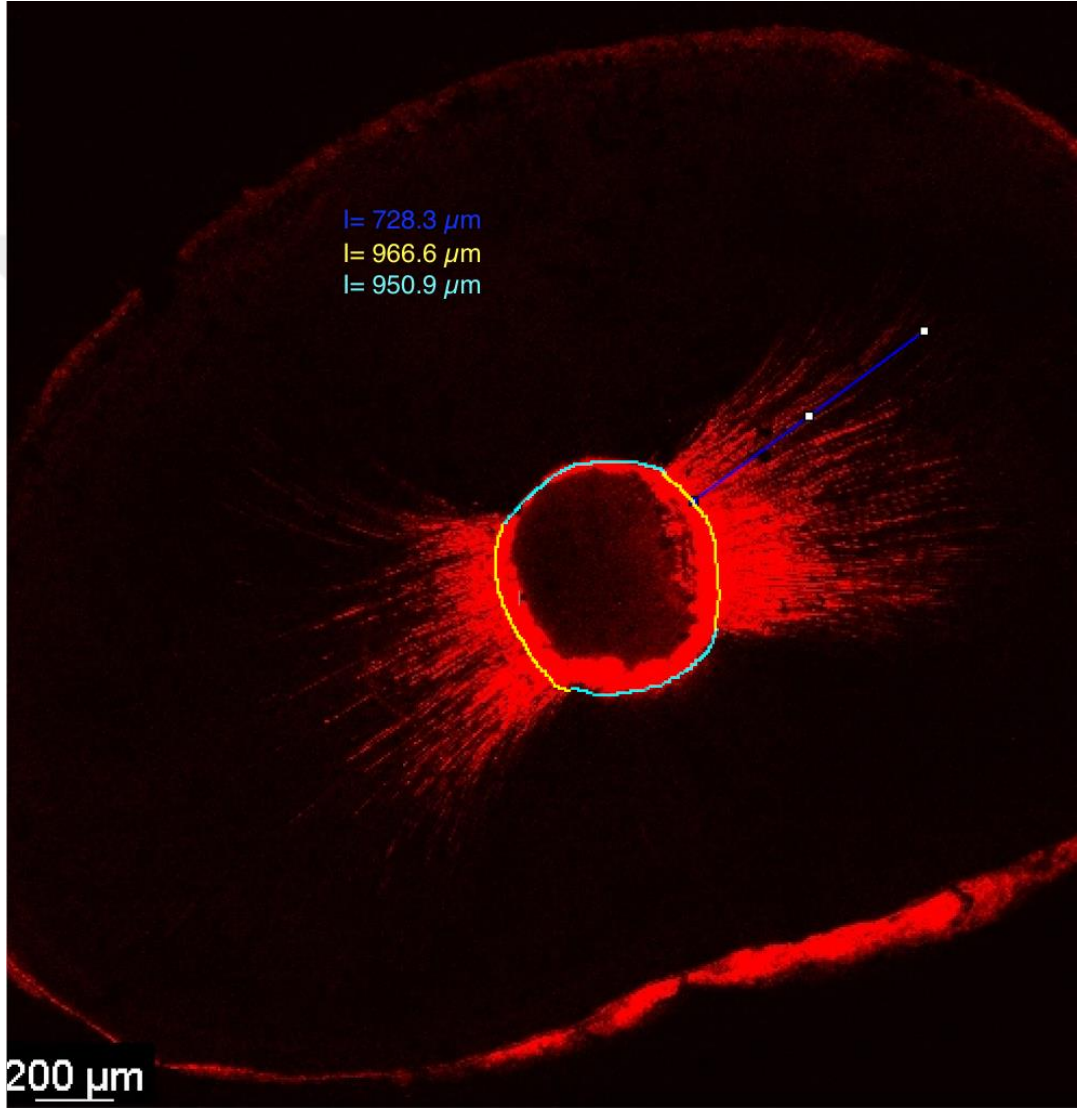
Resim 26. Dentin kesitlerinin görüntülendiği Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop cihazı (KLTM)

Alınan görüntülerde üç parametre ölçüldü: patın dentin tübül penetrasyon alanı, yüzdesi ve maksimum tübül penetrasyon derinliği. Patın dentin tübülü penetrasyon alanı hesaplanırken kök kanal patının penetre olduğu tüm alandan, kanal boşluğunun kapladığı alan çıkarılarak hesaplandı (Resim 27) (169, 170).



Resim 27. Patın dentin tübülü penetrasyon alanının hesaplanması (4x)

Gharib ve ark.'nın (140) kullandığı yöntem takip edilerek patın penetrasyon yüzdesi belirlendi. Patın kanal çevresinde penetre olduğu bölgelerin uzunluğu ölçülüp tüm kanal çevresine bölündü ve bu değer patın penetrasyon yüzdesini verdi (Resim 28). Maksimum penetrasyon derinliği ise, patın kök kanal duvarından ulaştığı en uzak noktaya kadar olan mesafe ölçülerek hesaplandı (Resim 28) (171).



Resim 28. Patın maksimum dentin tübülü penetrasyon derinliği ve dentin tübülü penetrasyon yüzdesinin ölçülmesi (4x)

3.9. Push-out Bağlanma Dayanımı Testinin Uygulanması

Dentin kesitlerinin KLTM görüntülerinin alınması sonrası, 1 mm kalınlığındaki her bir kesit push-out bağlanma dayanım testi uygulanması için universal test cihazına (UTC) (Instron Corp, MA, ABD) yerleştirildi (Resim 29). Her bir kesit apikal yüzeyleri yukarıya bakacak ve plungerların ucu sadece kök kanal dolgu materyaline temas edecek şekilde yerleştirildi. Apikal, orta, koronal kesitler için sırasıyla 0.4, 0.6, 0.8 mm kalınlıklarındaki plungerlar kullanıldı. Test cihazı 1 mm /dk hızda ayarlandı ve kuvvet apiko-koronal yönde uygulandı (Resim 30). Kök dolgu materyalinin kanaldan ayrıldığı maksimum kuvvet Newton (N) olarak kaydedildi (Resim 31) ve bağlanma dayanımı aşağıdaki formül kullanılarak Megapaskal (MPa)'a çevrildi (172).

$$\text{Bağlanma dayanımı (MPa)} = N / A \text{ (mm}^2\text{)}$$

N: Ölçülen maksimum kuvvet

A: Kanal dolgu materyalinin bağlanma yüzey alanı [$2\pi g (R1 + R2)]$

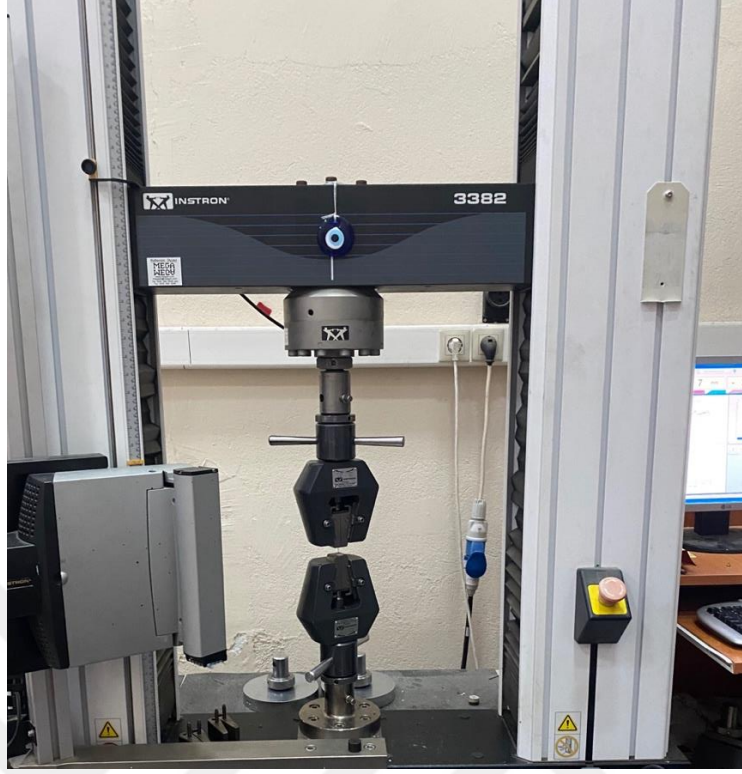
$$g^2 : h^2 + (R2-R1)/2$$

$$\pi = 3.14$$

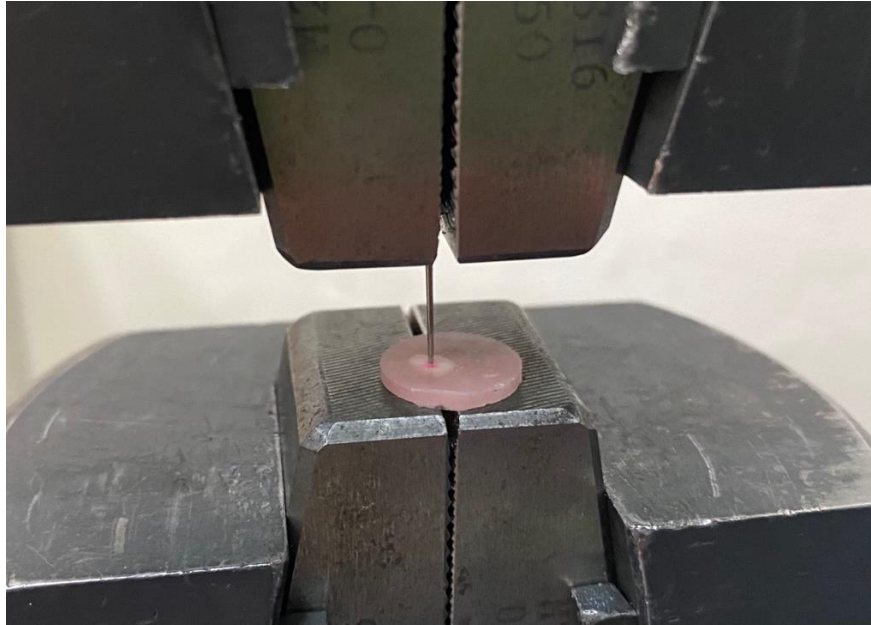
h: Örneklerin kalınlığı

R1: Örneklerin apikal yüzey kanal çapı

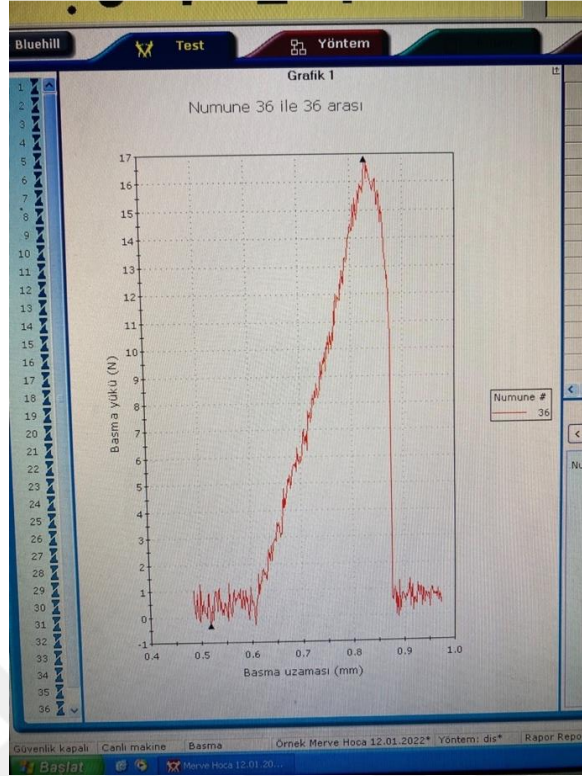
R2: Örneklerin koronal yüzey kanal çapı



Resim 29. Örneklerle Push-out bağlanma dayanımı testinin uygulandığı Instron cihazı



Resim 30. Dentin kesitlerine Instron cihazı ile kuvvet uygulanması



Resim 31. Cihazda kaydedilen maksimum kuvvet grafiği

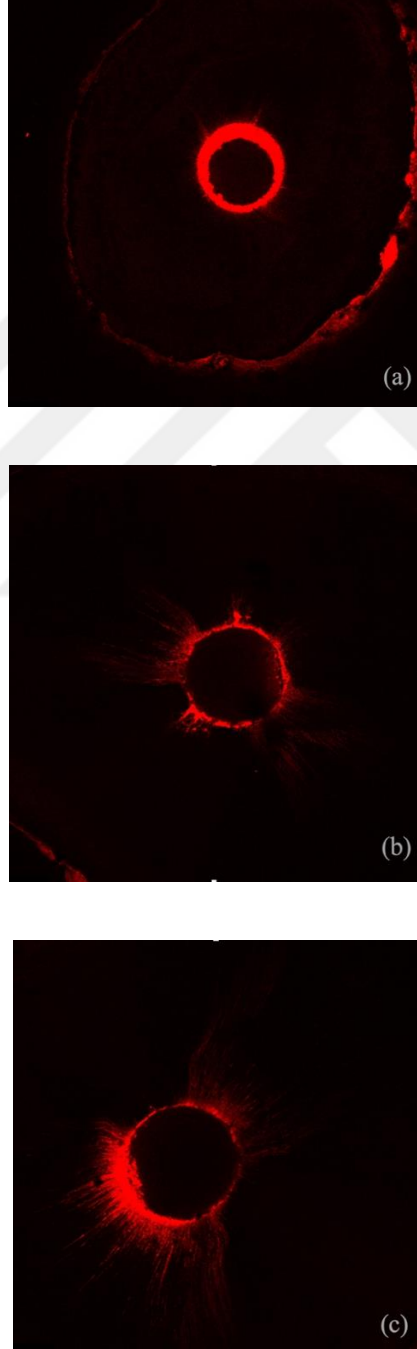
3.10. İstatiksel Analiz

Çalışmamızda elde edilen patın dentin tübül penetrasyon yüzdesi, alanı, maksimum tübül penetrasyon derinliği ve push-out bağlanma dayanıma ait veriler SPSS for Windows 17.0 paket programı kullanılarak istatistiksel olarak analiz edildi. Her grubun koronal, orta ve apikal kesitlerine ait verilerinin ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri hesaplandı. Tüm parametrelere ait verilerin normal dağılıma uygunluğu One-Sample Kolmogorov-Smirnov testi ile belirlendi. Gruplar arasında fark olup olmadığını değerlendirmek için Kruskal Wallis testi kullanıldı. Hangi gruplar arasında fark olduğu ise Tamhane's T2 testi ile saptandı. İstatistiksel açıdan anlamlı bir farklılığın göstergesi olarak deney grupları karşılaştırılırken $p < 0,05$, kesit alınan üçlüler karşılaştırılırken $p < 0,016$ (post hoc düzeltme), deney gruplarının ikili karşılaştırmalarında ise $p < 0,005$ (post hoc düzeltme) değerleri kabul edildi.

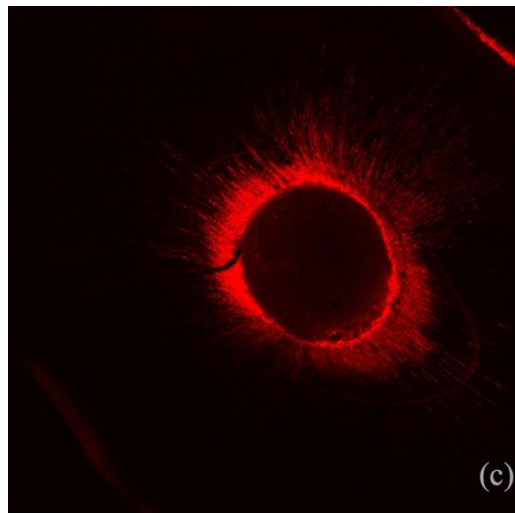
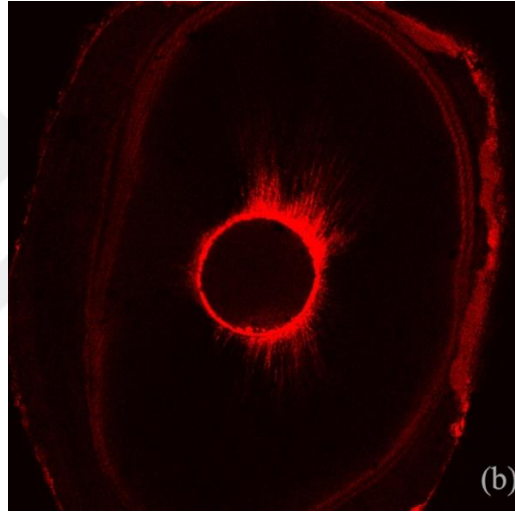
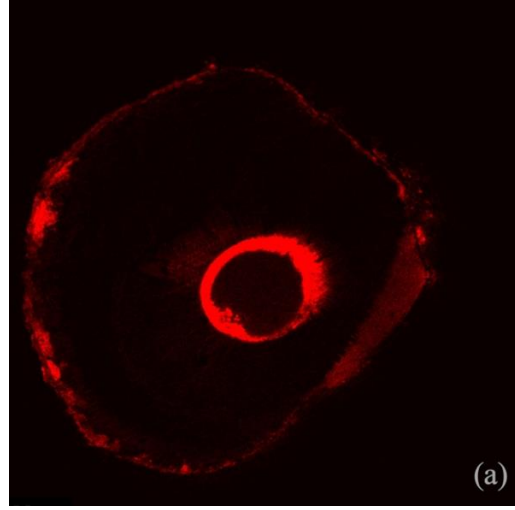
4. BULGULAR

4.1. Kanal Patı Dentin Tübül Penetrasyonuna Ait Bulgular

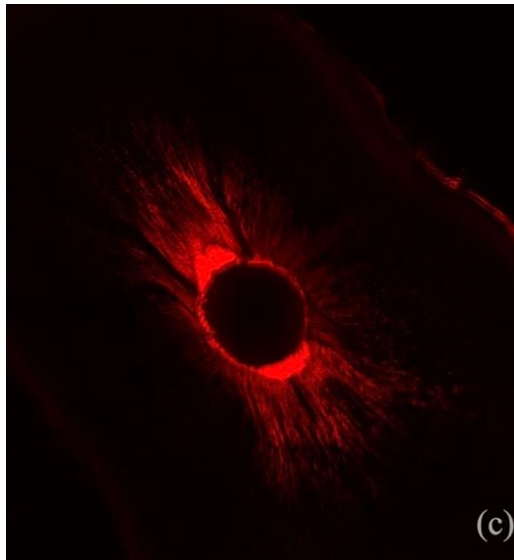
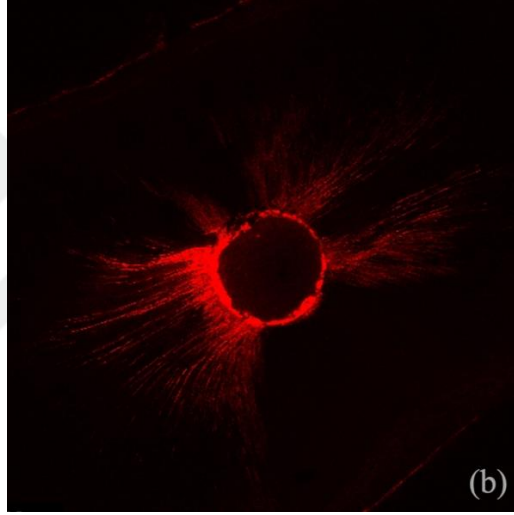
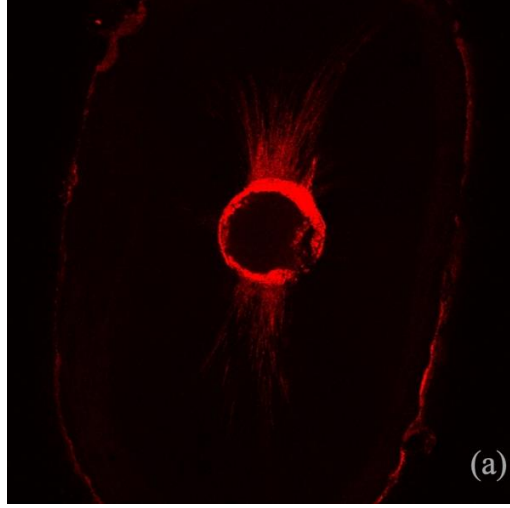
Kontrol, Kİİ, EA, EDDY, PUI gruplarına ait apikal, orta, koronal kesitlerin KLTM görüntüleri sırasıyla Resim 32, 33, 34, 35, 36’da gösterilmiştir. Alınan kesitlerde görülen kelebek etkisi görüntüleri Resim 37’de görülmektedir.



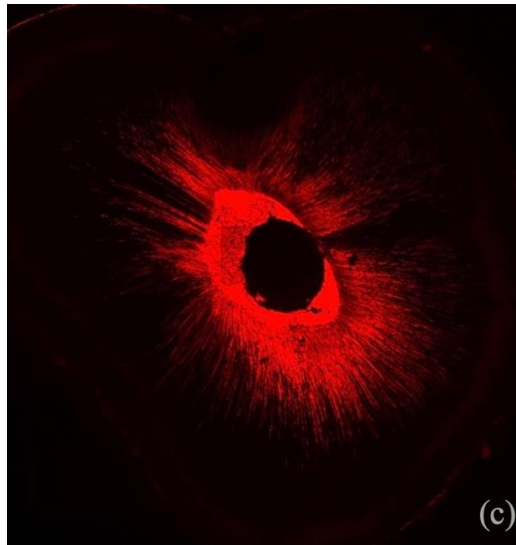
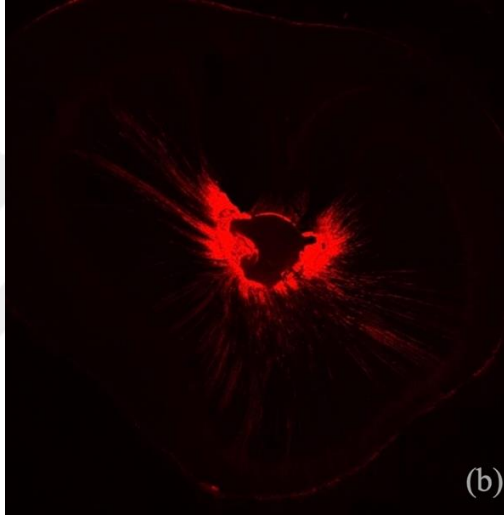
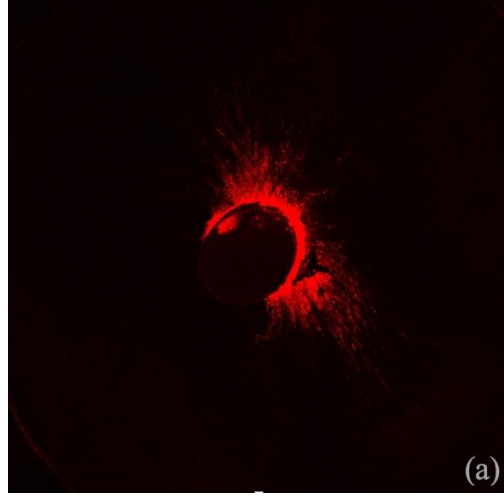
Resim 32. Kontrol grubunda apikal (a), orta (b), koronal (c) kesitlerin KLTM görüntüleri (4x)



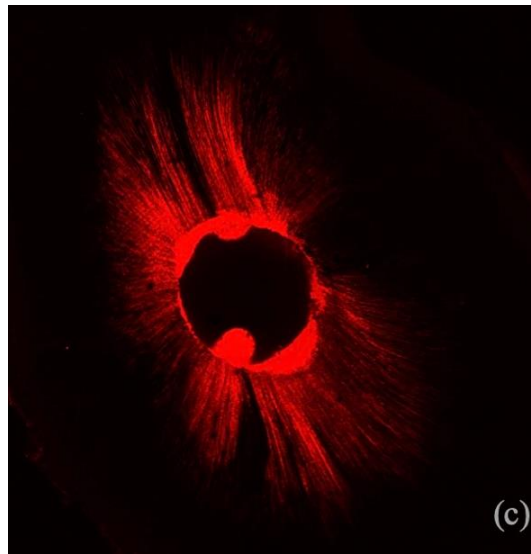
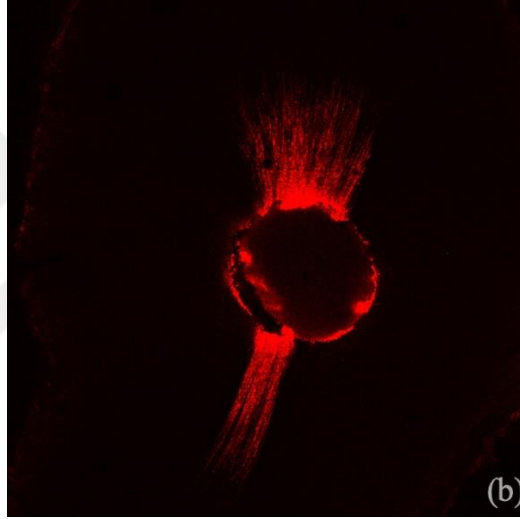
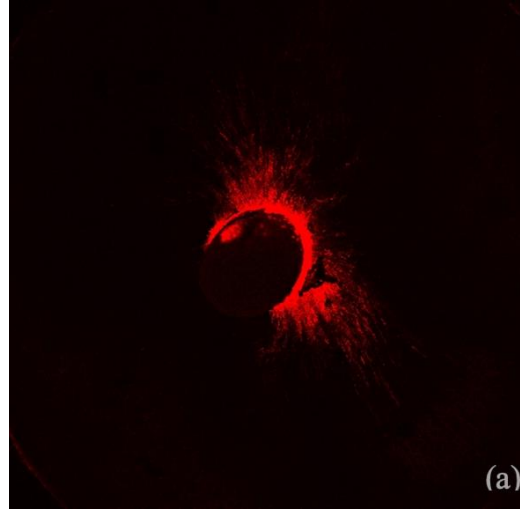
Resim 33. Konvansiyonel iğne irrigasyonu grubunda apikal (a), orta (b), koronal (c) kesitlerin KLTM görüntüleri (4x)



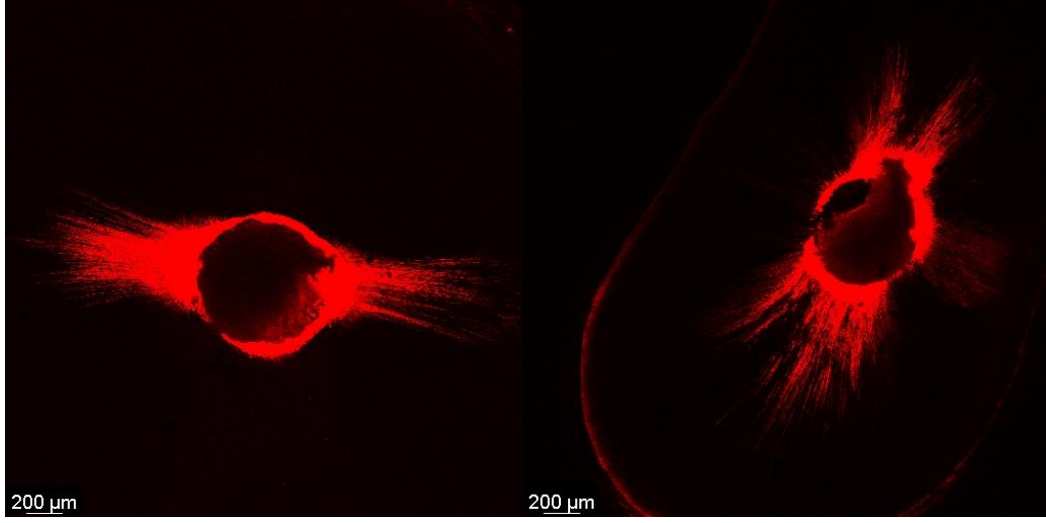
Resim 34. EndoAktivator grubunda apikal (a), orta (b), koronal (c) kesitlerin KLTM görüntüleri (4x)



Resim 35. EDDY grubunda apikal (a), orta (b), koronal (c) kesitlerin KLTM görüntüleri (4x)



Resim 36. Pasif ultrasonik irrigasyon grubunda apikal (a), orta (b), koronal (c) kesitlerin KLTM görüntüleri (4x)



Resim 37. Kelebek etkisini gösteren KLTm görüntüleri (4x)

4.1.1. Maksimum Dentin Tübül Penetrasyon Derinliği

Tablo 1 ve Şekil 4'te Kİİ, EA, EDDY, PUİ ve kontrol grubuna göre kök kanal patının apikal, orta, koronal üçlüdeki maksimum dentin tübül penetrasyon derinliğine ait ortalama±standart sapma ve ortanca (minimum-maksimum) değerleri (µm) verilmiştir.

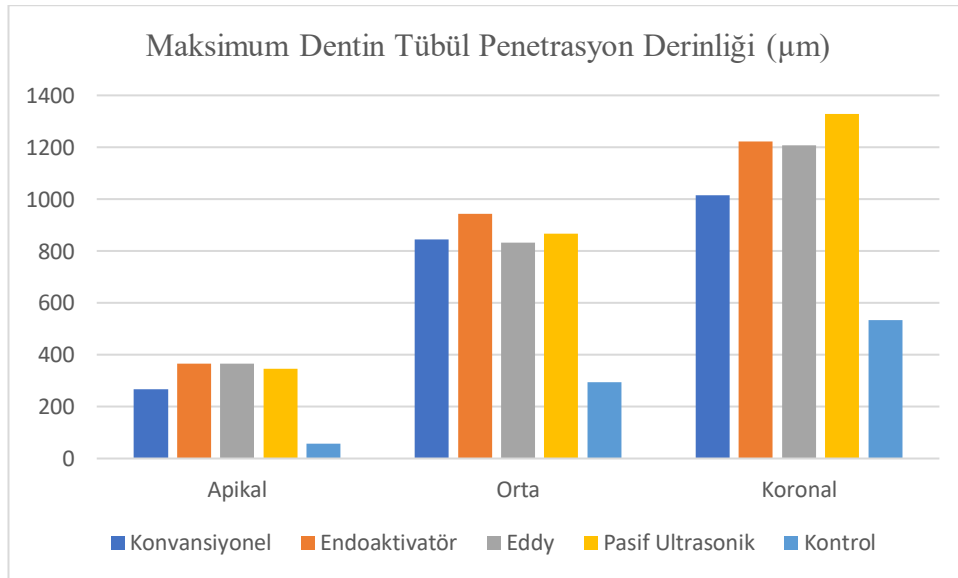
Kök kanal patı maksimum dentin tübül penetrasyon değerleri karşılaştırıldığında apikal ve orta üçlüde; kontrol grubu tüm deney gruplarından anlamlı olarak daha düşük penetrasyon derinliği gösterirken ($p<0,05$), deney grupları kendi aralarında benzer sonuçlanmıştır ($p>0,05$). Koronal üçlüde; kontrol ile Kİİ arasında anlamlı bir fark yokken ($p>0,05$), kontrol grubu EDDY, EA ve PUİ gruplarına göre anlamlı olarak daha düşük penetrasyon derinliği göstermiştir ($p<0,05$).

Gruplar kendi içinde kesitlere (apikal, orta, koronal) göre değerlendirildiğinde Kİİ ve EA grubu apikal üçlüde orta ve koronal üçlüye göre anlamlı olarak daha az maksimum dentin tübül penetrasyonu gösterirken ($p<0,016$), orta ve koronal üçlü arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p>0,016$). EDDY, PUİ ve kontrol gruplarında her üç kesit arası (apikal, orta, koronal) anlamlı fark bulunurken ($p<0,016$), apikalden koronal üçlüye doğru gittikçe maksimum penetrasyon derinliği artmaktadır.

Tablo 1. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Maksimum Dentin Tübül Penetrasyon Derinliğine Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (µm)

GRUPLAR		APİKAL	ORTA	KORONAL
Kİİ	Ortalama±SS	267,05±308,94957 ^{B,x}	845,95±344,337881 ^{B,y}	1014,65±389,8078 ^{A,B,y}
	Ortanca(IQR)	97(15-967)	812(112-1618)	1047(311-1865)
EA	Ortalama±SS	366,4±228,250878 ^{B,x}	944,55±324,120425 ^{B,y}	1223,35±446,209683 ^{B,y}
	Ortanca(IQR)	382(27-781)	917,5(450-1657)	1120(650-2541)
EDDY	Ortalama±SS	366,05±192,53256 ^{B,x}	833,75±313,438465 ^{B,y}	1208,15±268,785823 ^{B,z}
	Ortanca(IQR)	355(71-668)	822,5(261-1715)	1157,5(864-1866)
PUİ	Ortalama±SS	345,45±289,321252 ^{B,x}	867±267,626016 ^{B,y}	1328,45±244,422084 ^{B,z}
	Ortanca(IQR)	286,5(22-1024)	911(222-1273)	1333(785-1728)
Kontrol	Ortalama±SS	56,28±26,306906 ^{A,x}	295,405±125,1649 ^{A,y}	533,84±111,245348 ^{A,z}
	Ortanca(IQR)	60,39(28,16-80,29)	258,86(190,74-473,16)	559,09(412,14-630,29)

Kİİ: konvansiyonel iğne irrigasyonu; EA: EndoAktivatör; PUİ: pasif ultrasonik irrigasyon; SS: standart sapma; IQR: the interquartile range (minimum-maksimum). Farklı üst karakterler (satırlar için ABC, sütunlar için xyz) gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı fark olduğunu göstermektedir (satırlar için p<0,005, sütunlar için p<0,016 post hoc düzeltme).



Şekil 4. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Maksimum Dentin Tübül Penetrasyon Derinliğine Ait Ortalama Değerlerin (µm) Grafikselsel Gösterimi

4.1.2. Dentin Tübül Penetrasyon Yüzdesi

Tablo 2 ve Şekil 5’te Kİİ, EA, EDDY, PUİ ve kontrol grubuna göre kök kanal patının apikal, orta, koronal üçlüdeki dentin tübül penetrasyon yüzdesine ait ortalama±standart sapma ve ortanca (minimum-maksimum) değerleri (%) verilmiştir.

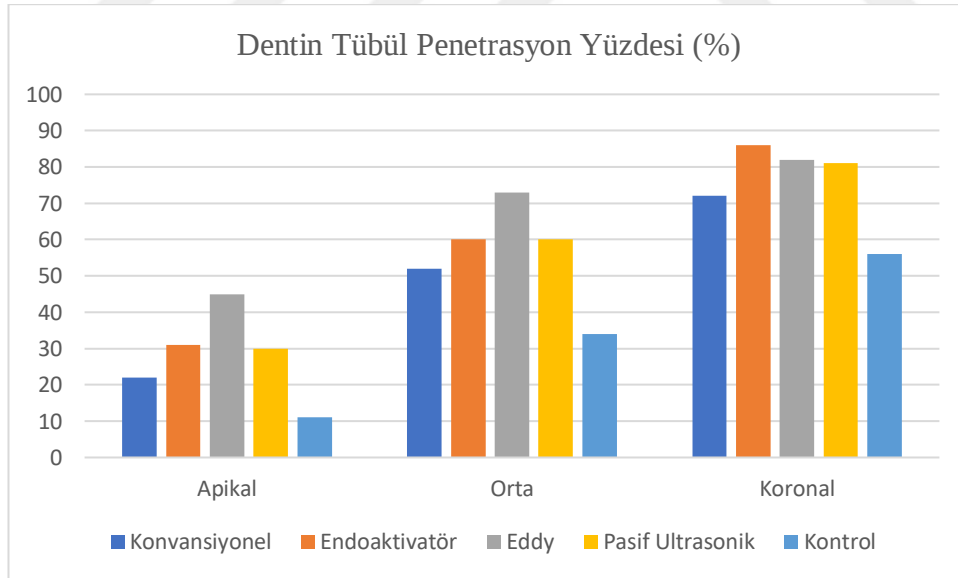
Kök kanal patı dentin tübül penetrasyon yüzdeleri karşılaştırıldığında apikal üçlüde; EDDY grubu kontrol grubuna göre anlamlı olarak daha yüksek dentin tübül penetrasyon yüzdesiyle sonuçlanmıştır ($p<0,05$). Orta üçlüde; kontrol grubu ile EDDY, kontrol grubu ile PUİ ve Kİİ ile EDDY arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p<0,05$). Koronal üçlüde; kontrol grubu ile Kİİ grubu arasında fark yokken ($p>0,05$) kontrol grubu EA, EDDY ve PUİ gruplarına göre anlamlı olarak daha düşük penetrasyon yüzdeleri göstermiştir ($p<0,05$).

Gruplar kendi içinde kesitlere (apikal, orta, koronal) göre değerlendirildiğinde kontrol, Kİİ, EA ve PUİ grubunda her üç kesit arası (apikal, orta, koronal) anlamlı fark bulunurken ($p<0,016$), apikalden koronal üçlüye doğru gittikçe dentin tübül penetrasyon yüzdesi artmaktadır. EDDY grubunda apikal üçlü diğer kesitlere göre daha az dentin tübül penetrasyonu yüzdesi gösterirken, orta ve koronal üçlü arası anlamlı farklılık bulunmamaktadır ($p>0,016$).

Tablo 2. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Yüzdesine Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (%)

GRUPLAR		APİKAL	ORTA	KORONAL
Kİİ	Ortalama±SS	22,057±14,412781 ^{A,B,x}	52,073±14,601505 ^{A,C,y}	72,8475±16,35421 ^{A,B,z}
	Ortanca(IQR)	17,125(5,34-49,67)	53,28(30,06-81,8)	74,14(44,98-99,54)
EA	Ortalama±SS	31,6895±23,7696 ^{A,B,x}	60,4795±197,205588 ^{A,B,C,y}	86,128±13,167238 ^{B,z}
	Ortanca(IQR)	22,205 (8,15-90,71)	58,37 (5,37-97,67)	89,7 (50,42-98,9)
EDDY	Ortalama±SS	45,195±25,353753 ^{A,x}	73,5865±18,803671 ^{B,y}	82,8725±12,877781 ^{B,y}
	Ortanca(IQR)	42,58 (11,02-88,19)	76,195(21,49-100)	85,845(54,66-98,34)
PUİ	Ortalama±SS	30,1765±23,036432 ^{A,B,x}	60,9365±22,749050 ^{A,B,y}	81,216±16,300872 ^{B,z}
	Ortanca(IQR)	20,945 (5,34-49,67)	64,255(30,06-78,74)	87,29(44,98-99,54)
Kontrol	Ortalama±SS	11,54±1,368466 ^{B,x}	34,6475±5,792422 ^{C,y}	56,1775±4,090912 ^{A,z}
	Ortanca(IQR)	12,31 (9,96-12,35)	36,11 (26,83-39,54)	57,855(50,09-58,91)

Kİİ: konvansiyonel iğne irrigasyonu; EA: EndoAktivatör; PUİ: pasif ultrasonik irrigasyon; SS: standart sapma; IQR: the interquartile range (minimum-maksimum). Farklı üst karakterler (satırlar için ABC, sütunlar için xyz) gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı fark olduğunu göstermektedir (satırlar için $p<0,005$, sütunlar için $p<0,016$ post hoc düzeltme).



Şekil 5. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Yüzdesine Ait Ortalama Değerlerin (%) Grafikselsel Gösterimi

4.1.3. Dentin Tübül Penetrasyon Alanı

Tablo 3 ve Şekil 6'da Kİİ, EA, EDDY, PUİ ve kontrol grubuna göre kök kanal patının apikal, orta, koronal üçlüdeki dentin tübül penetrasyon alanına ait ortalama±standart sapma ve ortanca (minimum-maksimum) değerleri (μm^2) verilmiştir.

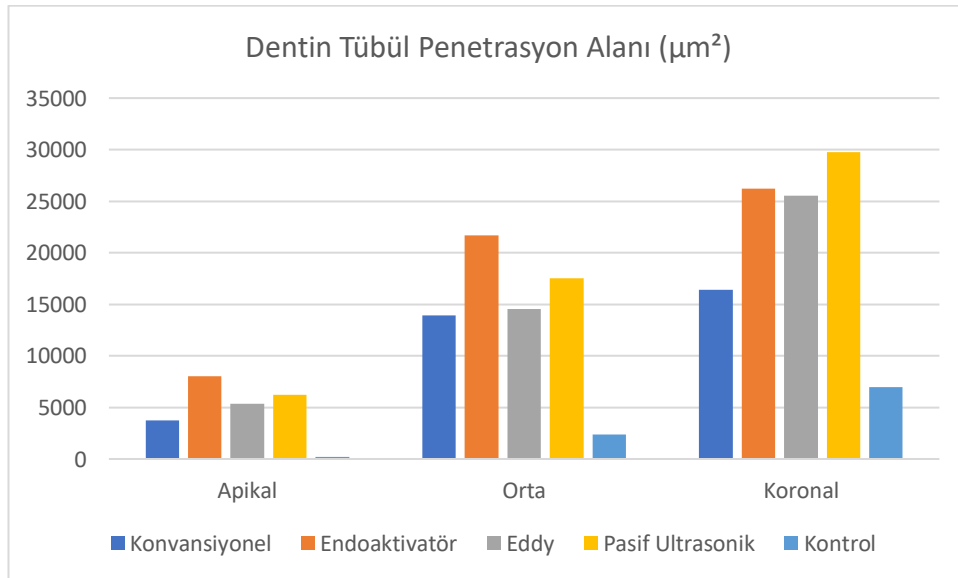
Kök kanal patı dentin tübül penetrasyon alanı değerleri karşılaştırıldığında apikal ve orta üçlüde kontrol grubu deney gruplarına göre daha düşük penetrasyon alanları gösterirken ($p<0,05$), deney grupları kendi aralarında benzer sonuçlanmıştır ($p>0,05$). Koronal üçlüde; kontrol grubu ile Kİİ grubunda fark yokken kontrol grubu EA, EDDY ve PUİ grubuna göre anlamlı olarak daha düşük penetrasyon alanı değerleri göstermiştir ($p<0,05$).

Gruplar kendi içinde kesitlere (apikal, orta, koronal) göre değerlendirildiğinde kontrol, PUİ ve EDDY grubunda her üç kesit arası (apikal, orta, koronal) anlamlı fark bulunurken ($p<0,016$), apikalden koronal üçlüye doğru gittikçe dentin tübül penetrasyon alanı artmaktadır. Kİİ ve EA grubunda apikal üçlü diğer kesitlere göre anlamlı olarak daha az dentin tübül penetrasyon alanı gösterirken ($p<0,016$), orta ve koronal üçlü arası anlamlı farklılık bulunmamaktadır ($p>0,016$).

Tablo 3. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Alanına Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (μm^2)

GRUPLAR		APİKAL	ORTA	KORONAL
Kİİ	Ortalama $\pm$ SS	3725,85 $\pm$ 3749,032 ^{A,x}	13944,15 $\pm$ 9718,23559 ^{A,y}	16414,05 $\pm$ 12009,961 ^{A,B,y}
	Ortanca(IQR)	3546,5(100-14188)	11818(4066-43573)	12765,5(4831-49811)
EA	Ortalama $\pm$ SS	8030 $\pm$ 16927,94899 ^{A,x}	21690,55 $\pm$ 10505,2111 ^{A,y}	26202,75 $\pm$ 13734,9250 ^{B,y}
	Ortanca(IQR)	3395,5(249-78012)	20469,5(4300-44231)	22230(6729-59869)
EDDY	Ortalama $\pm$ SS	5386,5 $\pm$ 3037,144686 ^{A,x}	14575,85 $\pm$ 8303,00317 ^{A,y}	25508,2 $\pm$ 11808,57049 ^{B,z}
	Ortanca(IQR)	6036,5(628-11539)	11382,5(4276-29871)	27104(2172-43927)
PUİ	Ortalama $\pm$ SS	6215,1 $\pm$ 7755,31941 ^{A,x}	17523,95 $\pm$ 8739,72824 ^{A,y}	29782,2 $\pm$ 12710,86328 ^{B,z}
	Ortanca(IQR)	2888,5(100-30,409)	16578(1435-30568)	29349,5(6993-55807)
Kontrol	Ortalama $\pm$ SS	192,1 $\pm$ 49,6001 ^{B,x}	2356,633 $\pm$ 1526,5388 ^{B,y}	6977,66667 $\pm$ 968,6905 ^{A,z}
	Ortanca(IQR)	186,7(146-249)	1619(1339-411,9)	6759(6137-8037)

Kİİ: konvansiyonel iğne irrigasyonu; EA: EndoAktivatör; PUİ: pasif ultrasonik irrigasyon; SS: standart sapma; IQR: the interquartile range (minimum-maksimum). Farklı üst karakterler (satırlar için ABC, sütunlar için xyz) gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı fark olduğunu göstermektedir (satırlar için $p<0,005$, sütunlar için $p<0,016$ post hoc düzeltme).



Şekil 6. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Alanına Ait Ortalama Değerlerin (μm^2) Grafikselsel Gösterimi

4.2. Kanal Patının Push-out Bağlanma Dayanımı

Tablo 4 ve Şekil 7’de Kİİ, EA, EDDY, PUİ ve kontrol grubuna göre kök kanal patının apikal, orta, koronal üçlüdeki Push-out bağlanma dayanımına ait ortalama±standart sapma ve ortanca (minimum-maksimum) değerleri (MPa) verilmiştir.

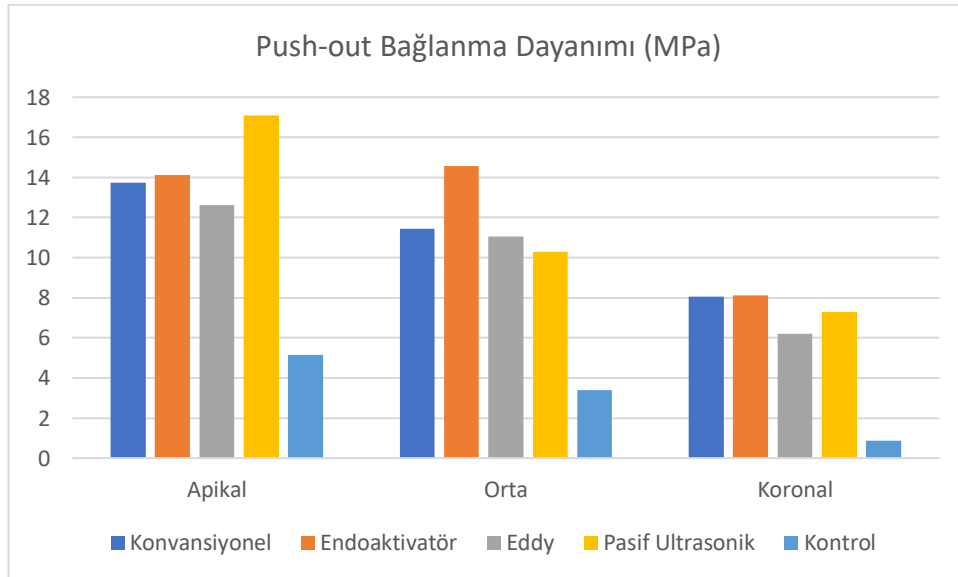
Push-out bağlanma dayanımı değerlerinde apikal, orta ve koronal üçlüde de kontrol grubu ile deney grupları arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p<0,05$), fakat deney gruplarının kendi aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$).

Gruplar kendi içinde kesitlere (apikal, orta, koronal) göre değerlendirildiğinde Kİİ grubunda apikalden koronale doğru bağlanma değerleri azalmaktadır ve bu değerler apikal ve koronal üçlü arası anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,016$). EA, EDDY ve kontrol gruplarında apikal ve orta üçlü koronal üçlüye göre anlamlı olarak daha yüksek bağlanma dayanımı göstermektedir ($p<0,016$). PUİ grubunda apikal üçlü orta ve koronal üçlüye göre anlamlı olarak daha yüksek bağlanma dayanımı göstermektedir ($p<0,016$).

Tablo 4. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Kanal Patı Push-out Bağlanma Dayanımına Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (MPa)

GRUPLAR		APİKAL	ORTA	KORONAL
Kİİ	Ortalama±SS	13,7415±5,043294 ^{A,x}	11,445±4,198523 ^{A,x,y}	8,063±3,9941 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	14,285(3,05-19,55)	10,855(3,39-20,56)	8,24(1,5-14,92)
EA	Ortalama±SS	14,1135±7,680422 ^{A,x}	14,56600±7,353743 ^{A,x}	8,1185±4,937784 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	12,67(2,96-24,46)	14,725(1,44-25,57)	6,6(1,04-19,33)
EDDY	Ortalama±SS	12,631±4,449724 ^{A,x}	11,0635±5,737607 ^{A,x}	6,204±4,304687 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	12,06(6,37-21,6)	10,245(3,17-22,64)	4,78(1,16-12,6)
PUİ	Ortalama±SS	17,156±5,374574 ^{A,x}	10,3935±6,006136 ^{A,y}	7,389±4,652325 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	17,4(6,3-26,2)	8,64(4,03-22,7)	6,8(0,92-16,65)
Kontrol	Ortalama±SS	5,15540±2,482523 ^{B,x}	3,38±,707107 ^{B,x}	0,86±,141421 ^{B,y}
	Ortanca(IQR)	4,75(2,61-9,07)	3,08(2,88-3,68)	0,8(0,76-0,9)

Kİİ: konvansiyonel iğne irrigasyonu; EA: EndoAktivatör; PUİ: pasif ultrasonik irrigasyon; SS: standart sapma; IQR: the interquartile range (minimum-maksimum). Farklı üst karakterler (satırlar için ABC, sütunlar için xyz) gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı fark olduğunu göstermektedir (satırlar için $p<0,005$, sütunlar için $p<0,016$ post hoc düzeltme).



Şekil 7. Farklı İrrigasyon Sistemleri ve Kontrol Grubunun Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Kanal Patı Push-out Bağlanma Dayanımına Ait Ortalama Değerlerin (MPa) Grafikselsel Gösterimi

4.3. Değişkenler Arasındaki Korelasyon

Tablo 5'te kök kanal patının push-out bağlanma dayanımı, dentin tübül penetrasyon yüzdesi, maksimum dentin tübül penetrasyon derinliği ve dentin tübül penetrasyon alanı arasındaki korelasyona ait değerler verildi.

Dentin tübül penetrasyon yüzdesi, maksimum dentin tübül penetrasyon derinliği ve dentin tübül penetrasyon alanı ile push-out bağlanma dayanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı fakat zayıf bir ilişki tespit edildi.

Maksimum penetrasyon derinliği ile penetrasyon yüzdesi arasında istatistiksel olarak anlamlı ve orta düzeyde bir ilişki tespit edildi. Maksimum penetrasyon derinliği ile penetrasyon alanı arasında istatistiksel olarak anlamlı ve kuvvetli düzeyde bir ilişki tespit edildi. Penetrasyon yüzdesi ile penetrasyon alanı arasında istatistiksel olarak anlamlı ve orta düzeyde bir ilişki tespit edildi.

Tablo 5. Değişkenler Arasındaki Korelasyona Ait Değerler

		Bağlanma Dayanımı	Penetrasyon Derinliği	Penetrasyon Yüzdesi	Penetrasyon Alanı
Bağlanma Dayanımı	r	1,000	-,381*	-,371*	-,301*
	p	.	,000	,000	,000
	n	240	240	240	240
Penetrasyon Derinliği	r	-,381*	1,000	,606*	,799*
	p	,000	.	,000	,000
	n	240	240	240	240
Penetrasyon Yüzdesi	r	-,371*	,606*	1,000	,641*
	p	,000	,000	.	,000
	n	240	240	240	240
Penetrasyon Alanı	r	-,301*	,799*	,641*	1,000
	p	,000	,000	,000	.
	n	240	240	240	240

*istatistiksel olarak anlamlılık ($p < 0,05$)

r	Açıklama
0,00-0,19	İlişki yok ya da önemsizlenecek düzeyde düşük ilişki
0,20-0,39	Zayıf ilişki
0,40-0,69	Orta düzeyde ilişki
0,70-0,89	Kuvvetli ilişki
0,90-1,00	Çok kuvvetli ilişki



5. TARTIŞMA

Kanal tedavisinin temel amacı, mikroorganizmaların kök kanal boşluğundan uzaklaştırılması ve oluşabilecek yeni enfeksiyonların önlenmesidir. Kemomekanik hazırlık, enfekte olmuş kök kanal sisteminin tedavisinde en önemli adım olarak kabul edilir; ancak tüm organizmaları kanal boşluğundan tamamen uzaklaştırmak zor hatta imkansızdır (173). Bununla birlikte, kök kanal sistemi karmaşık bir anatomiye sahiptir ve döner eğelerle yapılan kök kanal enstrümantasyonu sonucu kök kanal duvarının %60'ı dokunulmadan kalır (37).

Kök kanal sisteminin prepare edilmeyen kısımları, aksesuar kanalları, apikal dallanmaları ve istmus gibi anatomik karmaşıklıkları kapsamlı kemomekanik dezenfeksiyona rağmen doku kalıntılarının yanı sıra mikroorganizmaları ve zararlı yan ürünlerini barındırabilir (174). Mekanik enstrümantasyon tek başına kök kanalını yeterince temizleyemediğinden, tüm kök kanal sisteminin daha etkili dezenfeksiyonu için antimikrobiyal ajanlarla irrigasyon ve irrigasyonun aktivasyonu gereklidir (52, 175).

Kök kanal patlarının veya dolgu malzemelerinin dentin tübüllerine penetrasyonu kökün sızdırmazlığını makul bir şekilde iyileştirebilir (176). Dentin tübül penetrasyonu sonucunda kök dentini ve dolgu materyali arasındaki temas alanının arttığı, böylelikle kanal dolumunun daha sıkı olduğu düşünülmektedir (100).

Literatürde farklı irrigasyon aktivasyonu sonrası dentin tübül penetrasyonunu karşılaştıran çalışmalar olduğu halde (13, 158, 178), ulaşabildiğimiz veriler dahilinde Kİİ, EA, EDDY ve PUI (Irrisafe) arasındaki dentin tübül penetrasyonunu ve push-out bağlanma dayanımını karşılaştıran bir çalışma yer almamaktadır.

Çalışmamızda çekilmiş insan dişlerini tercih etmemizin sebebi doğal dişlerdeki düzensizlikleri, apikal konstrüksiyonu, klinik koşulları taklit edilebilmesini amaçlamamızdır (179). Ayrıca çalışmanın standardizasyonunun kolay bir şekilde sağlanabilmesi için düz kök kanallı dişlerin tercih edilmesi önerilmektedir (180–182) ve mandibular premolar dişlerin kök kanal morfolojileri daha az karmaşıklığa sahiptir. Biz de bu nedenle yapılan birçok çalışmada olduğu gibi çalışmamızda mandibular premolar dişleri kullandık (14, 183, 184). Dolum aşamasında standardizasyonu

sağlamak amacıyla benzer uzunluktaki dişleri seçtik ve 16 mm olarak kök uzunluklarını eşitledik.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, Ni-Ti döner alet sistemleri ile yapılan preparasyonun geleneksel yöntemlerden daha etkin bir preparasyon gerçekleştirmesi gibi avantajları olduğu görülmüştür (185, 186). Rotasyona kıyasla resiprokal hareketin daha düşük kırılma insidansı, çalışma süresinin kısaltılması, maliyetten tasarruf sağlaması gibi avantajları (187) nedeniyle, çalışmamızda resiprokal hareketle çalışan T-Endo Must eğeleri kullanılmıştır. Çalışmamızda, gruplar arasında standardizasyon sağlamak amacıyla tüm gruplarda aynı döner alet sistemi kullanılarak aynı şekillendirme yöntemi ile kök kanallarının preparasyonu gerçekleştirilmiştir.

Kök kanal tedavisinde preparasyon sonrası apikal boyut ve preparasyon aşamasında kullanılan aletlerin konikliği, kanal irrigasyonu sırasında irrigant çıkışının sağlanmasında etkilidir. Genişletilmesi gereken koniklik ve apikal çap konusunda henüz fikir birliği olmamasına rağmen düz kanallarda ISO #35 veya #40 enstrümantasyon boyutunun yeterli olduğu belirtilmiştir (188, 189). Bu nedenle çalışmamızda yeterli irrigasyonun sağlanabilmesi için tüm örneklerin 40/04 boyutunda T-Endo Must resiprokal eğeler ile preparasyonunu gerçekleştirdik.

Debris, kanal preparasyonundan sonra kök kanal duvarlarına bağlanmış dentin partikülleri, vital ve nekrotik pulpa dokusu kalıntıları olarak tanımlanır. Smear tabakası, pulpa dokusu kalıntıları, dentin artıkları ve dentin tübüllerini tıkayan mikrobiyal faktörlerden oluşan amorf ve düzensiz bir yapıdır. Her ikisi de mikroorganizmaları ve yan ürünlerini barındırabilir. Ayrıca, smear tabakası, kanal içi dezenfektanların ve kök kanal patlarının dentin tübüllerine girmesine karşı bir bariyer görevi görebilir ve bu, kök kanal duvarları ile dolgu materyalleri arasında mikrosızıntıya yol açabilir. Organik madde çözücüsü olan NaOCl (%0,5-5,25) ve kalsiyum şelatlama ajanı olan EDTA (%15-17)'nin kombine kullanımının smear tabakasının bileşenlerinin çıkarılmasında etkili olduğu bildirilmiştir (82, 190). Biz de bu nedenlerle çalışmamızda final irrigasyon aşamasında %17 EDTA ve %2,5 NaOCl'yi birlikte kullandık.

İrrigasyon iğnelerinden bazıları en uç kısımdan solüsyonu dağıtmak üzere tasarlanırken, bazıları kapalı uçlu ve yandan açılacak şekilde tasarlanmıştır (24). İkinci tasarımın kullanımı, irrigasyon solüsyonunun hidrodinamik aktivasyonunu artırması nedeniyle önerilmiştir (83). Bu nedenle çalışmamızda yandan açılan irrigasyon iğnesi kullanımı tercih edilmiştir.

EA, yakın zamanda tanıtılan bir sonik aktivasyon sistemidir (191). Taşınabilir bir el aleti ve farklı boyutlarda 3 tip tek kullanımlık polimer uçtan oluşur. Bu uçların güçlü ve esnek olduğu ve kolay kırılmadığı iddia edilmektedir. EA sisteminin lateral kanallardaki debrisleri etkili bir şekilde temizleyebildiği, smear tabakasını kaldırabildiği ve molar dişlerin kavisli kanallarının içindeki simüle edilmiş biyofilmleri parçalayabildiği rapor edilmiştir (29). Kullanım sırasında EA ucun hareketi, sıklıkla irrigasyon solüsyonu dolu bir pulpa odası içinde gözlemlenebilen bir hareket bulutu üretir. Ucu titreştirmek, kısa dikey vuruşlarda ucu yukarı ve aşağı hareket ettirmekle birlikte sinerjik olarak güçlü bir hidrodinamik fenomen üretir (192). Dakikada 10.000 siklusun debridmanı sağladığı ve smear tabakası ile biyofilmin parçalanmasını desteklediği gösterilmiştir (8). Bu nedenle çalışmamızda EA 10.000 siklusta çalıştırılarak kullanılmıştır. Üretici firmanın talimatları doğrultusunda çalışma boyundan 2 mm kısa yerleştirerek 2-3 mm vertikal hareketlerde aktivasyon gerçekleştirilmiştir (11).

EDDY, EA'e benzer şekilde sonik irrigasyon aktivasyonu yapan yeni bir uçtur. Ancak EA 33-167 Hz (16) aralığında çalışırken EDDY 6000 Hz (193, 194) frekansta çalışır. Dentinin kesilmesini ve kanal morfolojisinin değişmesini önlemek için esnek poliamid uçlar kullanır; bu debris ve organik dokuların kanal duvarlarından çıkarılmasında fayda sağlar (52, 53). Üretici firmanın talimatlarında EDDY'nin maksimum 30 sn boyunca çalıştırılması önerilmektedir (12).

Ultrasonik cihazların frekansı 25-40 kHz aralığında değişmektedir (60). Çalışmamızda aktivasyon Irrisafe uç için üretici talimatlarında belirtilen 9 numaralı kuvvette gerçekleştirilmiştir.

Sıvı içinde kavitasyon ve akustik akım meydana getiren ultrasonik enerji baloncuklar oluşturarak irrigasyon solüsyonunun etkisini artırır. Ultrasonik

aktivasyon, kanal içerisinde her biri 20 sn olan 3 periotta ve her seferinde solüsyon yenilenerek uygulanmalıdır (60). Yapılan bir çalışmada 30 ve 60 sn uygulanan PUI'nun, kök kanallarındaki debris uzaklaştırması kıyaslanmış ve debrisin en az 30 sn aktivasyon ile uzaklaştırıldığı ve 60 sn'de kök kanallarının tamamen temizlendiği belirtilmiştir (39). Bizim çalışmamızda da tüm bu nedenler ile tüm uçlar çalışma uzunluğundan 2 mm kısa yerleştirilerek, 2-3 mm vertikal hareketler ile uygulanmıştır. Tüm deney gruplarında her biri 20 sn olacak şekilde 3 periotta, 1 dakika boyunca aktivasyon gerçekleştirilmiştir. Gruplarda aktivasyon yöntemleri haricinde farklı bir değişken olmaması ile standardizasyon amaçlanmıştır.

Kök kanal tedavisi başarısını arttırmak amacıyla çeşitli kök kanal dolum teknikleri geliştirilmiştir ve bunların etkinliklerini kıyaslayan çok sayıda çalışma yapılmıştır (195–200). Son zamanlarda farklı materyaller kullanıma sunulsa da kanal patı ile kombine olarak kullanılan güta-perka halen en sık kullanılan kanal dolgu materyalidir. Kanal patlarının sahip olması gereken özellikler; kanala yerleştirme ve kanaldan çıkarma işleminin kolaylığı, yeterli miktarda radyoopasite göstermesi, yeterli çalışma süresine sahip olması, kanalda üç boyutlu olarak lateral yönde de dolum sağlayabilmesi ile patlarda büzülme olmaması ve nemden etkilenmemesidir (201). Kanal patının dentin tübüllerine iyi şekilde penetre olması kanal dolumunun hermetik şekilde yapılmasında etkili olduğundan bu kanal patlarında istenilen önemli özelliklerinden biridir (202, 203).

Kök kanal tedavisinde kanal dolgusu sırasında kullanılan AH Plus, dünyada tüm klinisyenlerin en yaygın olarak kullandıkları kanal dolgu patlarından biridir. Yapılan çalışmalarda; AH Plus'ın diğer patlara kıyasla daha iyi stabiliteye sahip olduğu, büzüşme ve şekil değişikliğinin önemsiz boyutlarda olduğu gösterilmiş, çalışmaların bu pat ile yapılması önerilmiştir (204, 205).

KLTM analizinde, kanal patının görünür olmasını sağlamak için bir floresan boya gereklidir. Önceki çalışmalar, Rhodamin B'nin kanal patının fiziksel özelliklerini değiştirmediğini bildirmiştir (96, 206) ve birçok çalışmada incelenen materyalin KLTM'de görünürlüğünün sağlanabilmesi için Rhodamin B floresan boyası tercih edilmiştir (207–213). Kök kanal dolgu patına çeşitli oranlarda Rhodamin B boyası ilave edilen bir çalışmada, %0,1'den daha yüksek konsantrasyonda eklendiğinde ayırt

etmenin zorlaşmasına ve fazladan floresan görüntülere neden olduğu belirtilmiştir (140). Bu nedenlerle çalışmamızda dentin tübüllerine penetrasyonu göstermek için Rhodamin B boyası tercih edilmiştir. Kesitlerden alınan görüntüyü etkilememesi ve standardizasyonun sağlanabilmesi için her seferinde eşit oranda (%0,1) floresan (Rhodamin B) boya, kanal patı ile hassas terazide homojen şekilde karıştırılmıştır.

Kök kanal dolum yöntemleri kanal tedavisi başarısında büyük önem taşır. Bu yöntemler basitçe sıcak ve soğuk teknikler olarak ayrılır. Soğuk lateral kondenzasyon yöntemi düşük maliyetli olması ve güta-perkanın kontrollü bir şekilde yerleştirilebilmesini sağladığından tüm dünyada diş hekimleri tarafından sıkça tercih edilmektedir (214). Biz de bu yüzden çalışmamızda soğuk lateral kondenzasyon yöntemi ile dolumu tercih ettik.

Kök kanal sisteminin sadece bir bölümünden alınacak kesit ile tüm kanal sistemi hakkında yeterli bilgi elde etmemizin mümkün olmadığını düşünerek, kanal patı dentin tübül penetrasyonu ve push-out bağlanma dayanımlarını incelemek amacıyla her bölgeden (apikal-orta-koronal) birer kesit alındı. Yapılan çalışmalarda kanal dolumu yapılan dişlerden 1-5 mm (15), 2-5 mm (183), 3-6 mm (215), 4-7 mm (216) gibi farklı uzaklıklardan kesitler alınmıştır. Çalışmamızda ise apikal, orta ve koronal bölgelerin değerlendirilebilmesi için birçok çalışmada tercih edilen apikalden 2, 5 ve 8 mm uzaklıklardan $1 \pm 0,1$ mm kalınlığında horizontal kesitler alınmıştır (206, 217–219).

Kanal patı dentin tübül penetrasyonunu değerlendirebilmek için TEM (103–110), ışık mikroskobu (90, 102), stereomikroskop (111–116) ve KLTM (117–124) kullanılır. KLTM görüntüleri, farklı irrigasyon aktivasyonlarından sonra apikal, orta ve koronal bölümlerde kanal patı penetrasyonunu gösterir (103, 104). TEM iki boyutlu bir değerlendirme sunduğu için sadece dentin yüzeyini değerlendirebilir ve pat penetrasyonu hakkında detaylı bilgi veremez (221, 222). Ayrıca yüksek büyütme nedeniyle kanal duvarının yalnızca sınırlı alanlarının değerlendirilmesine izin verir (52, 222) ve numune hazırlama sırasındaki işlemler kanal patının dentin yüzeyinden uzaklaşması nedeniyle penetrasyonun doğru bir şekilde değerlendirilememesine neden olabilir (96, 218). Işık mikroskobu ve stereomikroskop ile kanal patı incelenmesinde, kanal patını dentinden ayırt etmek zordur (98). Çalışmamızda kök kanalının

penetrasyonunu değerlendirmek için KLTM kullanılmıştır. TEM'in aksine, KLTM kök kanal patı penetrasyonunun üç boyutlu olarak değerlendirilmesine izin verir ve diğer yöntemlere kıyasla görüntülerde daha az artefakt ile sonuçlanır. Çalışmalarda KLTM'nin TEM'e kıyasla kök kanal patı penetrasyonunun daha iyi değerlendirilmesine izin verdiği bildirilmiştir (223, 224).

Kanal dolgu patlarının penetrasyonlarını değerlendirmek için ortalama penetrasyon derinliği, maksimum penetrasyon derinliği, penetrasyon yüzey alanı ve penetrasyon yüzdesi kullanılmıştır. Literatürde sadece penetrasyon yüzdesi hesaplanan (225), sadece maksimum penetrasyon derinliği değerlendiren (226), maksimum penetrasyon derinliği ve penetrasyon yüzdesinin hesaplandığı (171, 227) ya da penetrasyon alanı ve penetrasyon yüzdesinin birlikte değerlendirildiği çalışmalar bulunur (49). Literatürdeki çalışmalar ışığında, çalışmamızda maksimum penetrasyon derinliği, penetrasyon alanı ve penetrasyon yüzdeleri birlikte hesaplanarak değerlendirme yapılmıştır.

Çalışmamızda kök kesitleri (apikal, orta, koronal) karşılaştırıldığında apikal üçlü diğer kesitlere göre kontrol ve tüm deney gruplarında anlamlı olarak daha düşük maksimum dentin tübül penetrasyon derinliği, penetrasyon yüzdesi ve penetrasyon alanları göstermektedir. Ayrıca tüm gruplarda kanal patı dentin tübül penetrasyon değerleri apikalden koronale doğru artış göstermektedir. Kanal patlarının dentin tübül penetrasyonlarını inceleyen çalışmalarda apikal üçlüdeki pat penetrasyonu değerleri orta ve koronal üçlünden daha düşük bulunmuştur (13, 184). Chandra ve ark.'nın dört farklı kanal dolgu patının maksimum dentin tübül penetrasyon derinliğini KLTM ile değerlendirdiği çalışmalarında tüm kanal dolgu patlarında en düşük penetrasyonun apikal bölgede olduğu bildirilmiştir (98). Akçay ve ark.'nın 5'er ml %17 EDTA ve %5 NaOCl kullanarak Kİİ, PUİ (Irrisafe) ve PIPS (Foton ile indüklenmiş fotoakustik dalga) yöntemleri ile irrigasyon aktivasyonu gerçekleştirdiği çalışmasında mandibular premolar dişlerde kanal patı penetrasyon alanı değerlendirilmiş ve çalışmamıza paralel biçimde tüm deney gruplarında en düşük penetrasyon alanının apikal üçlüde olduğu belirtilmiştir (14). Generali ve ark.'nın tek köklü dişlerde sırasıyla 1 ml %5,25 NaOCl, 1 ml %17 EDTA, 1 ml %5,25 NaOCl'yi 30'ar saniye kanalda bekleterek Kİİ, EA, SAF, Endovac ve PUİ (Irrisafe) ile aktivasyon gerçekleştirdiği çalışmasında da tübül penetrasyon değerlerinin apikalden koronale artan trend gösterdiği bildirilmiştir (16).

Çalışmamızdaki veriler bu çalışmalar ile uyumlu olup bu durum orta ve koronal üçlüdeki dentin tübül ağzlarının apikal üçlüye göre daha yoğun ve geniş olması (100), apikalden koronale gittikçe dentin tübül sayısının artması ve mineralizasyonun azalması nedeniyle olduğunu düşünmekteyiz (100, 228–230). Ayrıca, dolum sırasında koronal ve orta üçlülere daha büyük kompressive kuvvet uygulanması sonuçları etkileyebilir (228).

Çalışmamızda tüm bölümlerde (apikal, orta, koronal) kontrol grubu deney gruplarına kıyasla daha düşük dentin tübülü penetrasyon yüzdesi, maksimum penetrasyon derinliği ve penetrasyon alanı değerlerine sahiptir. Bu konvansiyonel, sonik ve ultrasonik aktivasyon yöntemlerinin kanal patı dentin tübül penetrasyonunu arttırması ile açıklanabilir (13, 158). Smear tabakası, kanal içi dezenfektanların ve kök kanal patlarının dentin tübüllerine girmesine karşı bir bariyer görevi görebilir ve bu, kök kanal duvarları ile dolgu materyalleri arasında mikrosızıntıya yol açabilir. Organik madde çözücü olan NaOCl (%0,5-5,25) ve kalsiyum şelatlama ajanı olan EDTA (%15-17)'nin kombine kullanımının smear tabakası bileşenlerinin uzaklaştırılmasında etkili olduğu bildirilmiştir (82, 190). Bir çalışmada EDTA kullanımının dentin tübül penetrasyonunu önemli ölçüde arttırdığı belirtilmiştir (231). Bu nedenle kontrol grubunda final irrigasyonunun uygulanmamış olması bu sonuçların nedenlerinden biri olabilir. Ayrıca sonik ve ultrasonik aktivasyon ile vapor lock etkisinin azalmasının da sonuçları etkilediği düşünülmektedir (49).

Çalışmamızda Kİİ grubu ile EA, EDDY ve PUİ grupları arasında, penetrasyon yüzdesinin orta üçlüsü hariç, tüm parametreler (maksimum dentin tübül penetrasyonu, penetrasyon yüzdesi ve penetrasyon alanı) ve tüm kesitlerde istatistiksel olarak anlamlı farklılık mevcut değildi ($p>0,05$). Bu bulguların nedeninin smear tabakasının kaldırılmasında en önemli adımın yapılan aktivasyon yöntemi değil, kullanılan irrigasyon solüsyonu (EDTA)'na bağlı olduğunu düşünmekteyiz (171, 219). Ayrıca, Bolles ve ark. da tek kanallı çekilmiş dişlerde 3 ml %17 EDTA ardından 3 ml %6 NaOCl kullanarak Kİİ, EA, Vibringe sistemleri ile aktivasyon gerçekleştirdikleri çalışmada bizim çalışmamıza benzer olarak kök kanal patı maksimum derinliği ve penetrasyon yüzdesinin EA ve Kİİ gruplarında benzer olduğunu bildirmiştir (15).

Diğer yandan çalışmamızda, KIİ grubu deney gruplarından istatistiksel olarak anlamlı olmasa da daha düşük penetrasyon değerlerine sahiptir. Yılmaz ve ark.'nın molar dişlerin mezyobukkal kökünde 3 ml %17 EDTA ve 3 ml %5,25 NaOCl solüsyonlarını MDİ, KIİ, EA, PUI (Endoultra) sistemlerini kullanarak aktive ettiği ve kanal patının maksimum dentin tübül penetrasyon derinliği ve dentin tübül penetrasyon yüzdesini değerlendirdiği çalışmasında, KIİ grubu tüm deney gruplarından istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha düşük penetrasyon değerleri göstermiştir. Bu sonuçlar literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (48, 157). Ayrıca bu, ultrasonik aktivasyon yöntemlerinin akustik dalgalanma, sonik aktivasyon yöntemlerinin ise salınımlı mekanik titreşimler meydana getirerek kanal patı dentin tübül penetrasyonunu arttırması ile açıklanabilir (116, 158).

Çalışmamızda sonik aktivasyonu kullanan yöntemlerden biri olan EA, tüm dentin tübül penetrasyonu parametrelerinde (maksimum penetrasyon derinliği, penetrasyon yüzdesi ve penetrasyon alanı) ve tüm kesitlerde diğer sonik sistem olan EDDY ve ultrasonik sistem olan PUI ile benzer penetrasyon değerleri göstermektedir. Machado ve ark.'nın maksiller molar dişlerin palatinal kanallarında 2,5'ar ml %17 EDTA ve %5 NaOCl kullanarak KIİ, EA, Endovac, PUI (Irrisafe) ile irrigasyon aktivasyonu gerçekleştirdiği çalışmasında, 3 mm'de EA ve PUI arasında anlamlı fark yokken, 5 mm'de EA'nın PUI'a göre daha yüksek penetrasyon değerleri gösterdiği bildirilmiştir (49). Machado ve ark.'nın çalışması ile bizim çalışmamızın sonuçları her ne kadar 3 mm'deki EA ve PUI gruplarında benzer gözükse de diğer kesitteki farklılıkların Machado ve ark.'nın çalışmasında 35/.04 boyutlarında EA ucu ve 60 sn boyunca aktivasyon tercih edilmişken bizim çalışmamızda 25/.04 boyutlu EA uç ve 20 sn 3 periot olacak şekilde irrigasyon aktivasyonunu tercih etmemizden kaynaklandığını düşünmekteyiz.

Generali ve ark.'nın KIİ, EA, SAF, Endovac ve PUI (Irrisafe) ile irrigasyon aktivasyonu gerçekleştirdiği çalışmasında, kök kanal patının dentin tübüllerine penetrasyonu maksimum, ortalama ve yüzde olarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak dentin tübüllerine kanal patı penetrasyonunun çalışmada kullanılan farklı aktivasyon yöntemleri ile anlamlı fark göstermediğini belirtmişlerdir (16). Bu sonuçlar bizim

çalışmamızda da kullanılan Kİİ, EA ve PUI (Irrisafe) sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

Akçay ve ark.'ı tek kanallı dişlerde PUI (Irrisafe), EA ve Er: YAG lazer sistemlerini kullanarak dentin penetrasyonunu değerlendirdikleri çalışmalarında, floresan boya (Rhodamin) eklenen 5 ml %5 NaOCl ile final irrigasyonu gerçekleştirmişlerdir. Pasif ultrasonik aktivasyonun sonik aktivasyona (EA) göre anlamlı olarak daha yüksek irrigasyon penetrasyon alanı gösterdiğini belirten çalışmanın sonuçları ile bizim çalışmamızın sonuçları farklılık göstermektedir. Bunun en büyük nedeni bizim çalışmamızda irrigasyon solüsyonu penetrasyonu değil, kanal patı penetrasyonunu değerlendirmemizdir. Ayrıca, Akçay ve ark.'nın 1 dk boyunca sürekli aktivasyon gerçekleştirirken bizim 20 sn 3 periot halinde aktivasyon gerçekleştirmemiz veya PUI (Irrisafe)'nin P5 Newtron XS cihazının 11 numaralı mavi kuvvette kullanılırken bizim 9 numaralı sarı kuvvette kullanmamızdan kaynaklandığını düşünmekteyiz (184).

Güncel bir sonik aktivasyon sistemi olan EDDY, çalışmamızda tüm penetrasyon parametrelerinde ve tüm kesitlerde diğer sonik sistem olan EA ve ultrasonik sistem olan PUI ile benzer penetrasyon değerleri göstermektedir. Buna rağmen, EDDY geleneksel kullanılan Kİİ'na göre tüm parametrelerde benzer penetrasyon sonuçları gösterirken, sadece penetrasyon yüzdesinin orta üçlüsünde anlamlı olarak daha yüksek değerler göstermiştir. Uğur Aydın ve ark.'nın 45 adet mandibular premolar dişte, her seferinde 3 ml %2,5 NaOCI kullanarak 3 periotta toplam 9 ml solüsyon ile EDDY, PUI ve Kİİ kullanarak aktivasyon gerçekleştirdikleri çalışmalarında, KLTM ile kanal patı maksimum penetrasyon derinliği, penetrasyon alanı ve penetrasyon yüzde değerlerini karşılaştırmışlardır. Penetrasyon derinliği EDDY grubunda Kİİ'na göre apikal ve orta üçlüde, PUI'a göre apikal üçlüde anlamlı olarak daha yüksek değerler göstermiştir. Penetrasyon alanı EDDY grubunda Kİİ'na göre tüm kesitlerde, PUI'a göre koronal kesitte anlamlı olarak daha yüksek değerler göstermiştir. Penetrasyon yüzdesine baktığımızda EDDY grubu Kİİ'na göre tüm kesitlerde, PUI'a göre koronal kesitte anlamlı olarak daha yüksektir (13). Çalışmamızdaki bulguların farklı olması, bizim çalışmamızda 2, 5, 8 mm uzaklıklardan kesit alınması, NaOCl-EDTA solüsyonu kombinasyonu kullanılması,

PUİ grubunda 9 numaralı kuvvette aktivasyon gerçekleştirilmesi ve Kİİ grubunda 30-gauge iğne ile aktivasyon yapılır iken, Uğur Aydın ve ark.'nın çalışmasında 3, 5, 7 mm uzaklıklardan kesit alınması, EDTA kullanılmadan sadece NaOCl kullanılması, PUİ grubunda 4 numaralı kuvvette aktivasyon gerçekleştirilmesi ve Kİİ grubunda 31-gauge iğne ile aktivasyon yapılması ile açıklanabilir.

Rius ve ark.'nın 70 adet tek kanallı dişte EDDY, EA, PUİ (Irrisafe) ve Ultrasonik (Endoultra) aktivasyon sistemlerinin smear tabakasını uzaklaştırmalarını değerlendirdikleri çalışmalarında, son irrigasyon aşamasında 3,5 ml %5,25 NaOCl ile 60 sn, 1 ml %17 EDTA açık uçlu sistemle 20 sn, kapalı sistemle 2 dk ve son olarak 2,5 ml %5,25 NaOCl ile 20 sn boyunca irrigasyon gerçekleştirmişlerdir. Apikal ve orta üçlüde Irrisafe ile aktivasyonun istatistiksel olarak EDDY'den, yine apikal üçlüde EA ile aktivasyonun EDDY'den daha iyi sonuçlar gösterdiği bildirilmiştir (50). Rius ve ark.'nın görüntüleme yöntemi olarak tercih ettikleri TEM yüksek büyütme nedeniyle kanal duvarının yalnızca sınırlı alanlarının değerlendirilmesine izin verir. Çalışmamızda tercih ettiğimiz KLTM, TEM'e kıyasla daha az artefakt ile daha net görüntüler elde etmemizi sağlamıştır (223, 224).

Push-out bağlanma dayanımı testi genellikle restoratif materyallerin (232, 233), intraradiküler postların (234, 235) ve kanal dolgu materyallerinin (236–238) bağlanma dayanımlarının test edilmesinde kullanılır. Bu amacı gerçekleştirmek için gerilme veya çekme bağlanma testi gibi başka yöntemler de önerilmiştir (156, 157). Ancak, laboratuvar çalışmalarında en yaygın push-out bağlanma dayanımı testi kullanılmaktadır (239–241). Push-out bağlanma dayanımı testi dentin-bonding bağlantı yüzeyine paralel kırıklar meydana getirir. Bu nedenle makaslama testlerine göre bağlanma dayanımını daha iyi değerlendirir (242). Push-out bağlanma dayanımı testinin avantajlarından biri, bağlanma dayanımı değerleri düşük olduğunda dahi ölçüme olanak sağlamasıdır (243). Bu nedenlerle çalışmamızda bağlanma dayanımını test etmek için Push-out bağlanma dayanımı testi kullanılmıştır.

Çalışmamızda push-out bağlanma dayanımları değerlendirildiğinde kontrol grubu ile deney grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark mevcutken ($p < 0,05$) deney grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı ($p > 0,05$). Wiesse ve ark.'nın çalışmasında aktivasyon uygulanan deney gruplarında bağlanma dayanımı

değerleri çalışmamıza paralel şekilde kontrol grubundan yüksek değerlere sahiptir (166). Bu durumun sebebinin, irrigasyon aktivasyon sistemlerinin kanal patının dentin tübüllerine ulaşmasını sağlayarak, pat ile dentin arasındaki artan yüzey teması olduğu düşünülmektedir (244).

Çalışmamızda gruplar kendi içinde kesitlere (apikal, orta, koronal) göre değerlendirildiğinde, Kİİ grubunda apikalden koronale doğru push-out bağlanma değerleri azalmaktadır ve bu değerler apikal ve koronal üçlü arası anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,016$). EA, EDDY ve kontrol gruplarında apikal ve orta üçlü, koronal üçlüye göre anlamlı olarak daha yüksek push-out bağlanma dayanımı göstermektedir ($p<0,016$). PUİ grubunda apikal üçlü, orta ve koronal üçlüye göre anlamlı olarak daha yüksek push-out bağlanma dayanımı göstermektedir ($p<0,016$). Genel olarak tüm gruplarda apikalden koronale gidildikçe push-out bağlanma dayanımı değerleri azalmaktadır. Bem ve ark.'nın çeşitli kök kanal patlarının ultrasonik aktivasyonunun bağlanma dayanımı üzerine etkisini değerlendirdiği çalışmalarında apikalden koronale gidildikçe azalan push-out bağlanma dayanımı değerleri bulunmuştur (245). Bu sonuç çalışmamızda elde edilenler ile uyumludur. Buna karşılık kök kanalının koronalindeki yüksek dentin tübül yoğunluğuna bağlı daha uzun rezin uzantılarının meydana gelmesi nedeniyle daha yüksek bağlanma dayanımı gösteren çeşitli çalışmalar da mevcuttur (246, 247). Bu durumun aldığımız ilk kesit olan 2 mm'deki örneklerde push-out bağlanma dayanımı testleri uygulanırken plungerların bazı bölgelerde dentine temas etmesinin sebep olabileceği düşünülmektedir.

Kanal patlarının dentin tübülü penetrasyonları ve push-out bağlanma dayanımları arasındaki korelasyonu değerlendiren çeşitli çalışmalar mevcuttur. Jain ve ark. (248) dentin tübüllerindeki pat penetrasyonunun kanal patlarının bağlanma dayanımlarını etkileyen unsurlardan biri olmadığı sonucuna varmıştır. Kök kanal dolgu patları dentin tübülleri açık olduğunda bile penetre olmayabilir. Penetre olabilenler ise yüksek bağlanma dayanımı göstermeyebilirler (249). Dolayısıyla patların tübüllere penetrasyonu ile gerçekleşen mikromekanik bağlantı kök kanal dolgu patlarının bağlanmasında çok önemli bir etken değildir (250). Bazı çalışmalarda, kök kanalının koronalindeki yüksek dentin tübül yoğunluğuna bağlı daha uzun rezin

uzantılarının meydana gelmesinden kaynaklanan daha yüksek bağlanma dayanımları ölçülmüştür (246, 247) fakat diğer araştırmacılar bağlanma dayanımı ve tübül penetrasyonu arasında bir ilişki bulamamışlardır (251, 252). Bu durum, patların dentin duvarlarıyla bağlantısının sadece dentin tübüllerine nüfuz etme derinliğine bağlanamayacağını gösteren diğer çalışmaları desteklemektedir (70, 253, 254). Bu çalışmalara paralel olarak çalışmamızda push-out bağlanma dayanımı ile penetrasyon derinliği, penetrasyon yüzdesi ve penetrasyon alanı arasında istatistiksel olarak anlamlı fakat zayıf bir ilişki tespit edildi (0,20-0,39 Zayıf ilişki).

Dentin tübül sklerozunun mezyo-distal ve bukko-lingual yönlerde farklılık göstermesi, dentinin farklı tonlarına neden olarak köklerin enine kesitlerinde karakteristik bir kelebek şekli göstermektedir (255). Skleroze dentin normal dentine kıyasla translusent görünür (256, 257). Çalışmamızda birçok örnekte patların bukko-lingual yönde mezyo-distal yöne kıyasla daha fazla penetrasyon gösterdiği görülmüştür. Bunun literatürde belirtilen şekilde (100) skleroze dentin yoğunluğu ve dentin tübül yoğunluğunun daha az olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmanın limitasyonlarından biri örneklerin KLTM'da incelenebilmesi için kesit alınmasını gerektirmesidir. Bir diğer limitasyon, sadece tek köklü dişlerde değerlendirme yapılması sayılabilir. Daha karmaşık anatomik özelliklere sahip dişlerin endodontik tedaviye ihtiyacı olduğunda bu sonuçları araştırmak için daha ileri çalışmalar yapılmalıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kİİ, EA, EDDY, PUİ ile irrigasyon aktivasyonunun kök kanal patı dentin tübül penetrasyonu ve push-out bağlanma dayanımı üzerine etkisinin incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Sıfır hipotezi reddedildi.
2. Örneklerin hazırlanma sürecinin pratik oluşu, küçük büyütmede geniş alanların incelenebilmesi, örneklere zarar vermemesi böylece gerektiğinde yeniden kullanılabilmesi ve Rhodamin eklenmesi ile yüksek çözünürlüklerde kanal patının net olarak ayırt edilebilmesi sebepleriyle KLTM'nin uygun bir görüntüleme sistemi olduğu görülmüştür.
3. Çalışmamızdaki bütün aktivasyon yöntemlerinde kanal patı dentin tübül penetrasyon değerleri tüm parametrelerde (maksimum tübül penetrasyon derinliği, penetrasyon alanı ve yüzdesi) apikalden koronale doğru artış göstermektedir.
4. Çalışmamızdaki aktivasyon gruplarının kontrol grubuna göre daha yüksek kanal patı dentin tübül penetrasyonu ve push-out bağlanma dayanımı değerlerine sahip olduğu bulunmuştur.
5. Yeni sonik bir aktivasyon sistemi olan EDDY ile diğer aktivasyon sistemlerinin kıyaslandığı daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

7. KAYNAKÇA

1. Schilder H (1967). Filling root canals in three dimensions. *Dental Clinics of North America* 11: 723-744.
2. Alaçam T. (2000). Kök kanal tedavisinin endikasyon ve kontrendikasyonları “Endodonti” pp 153–157.
3. Sjögren U, Hägglund B, Sundqvist G, Wing K (1990). Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *Journal of Endodontics* 16: 498-504.
4. Chatterjee S, Desai PD, Mukherjee S, Mazumdar P, Sengupta P (2021). Evaluation of debris and smear layer formation using three different NI-TI rotary instrument systems: An in vitro scanning electron microscope study. *Journal of Conservative Dentistry* 24: 568-575.
5. Brännström M, Glantz PO, Nordenvall KJ (1979). The effect of some cleaning solutions on the morphology of dentin prepared in different ways: an in-vivo study. *Journal of Dentistry for Children* 46: 291-295.
6. Whitworth J (2005). Methods of filling root canals: principles and practices. *Endodontic Topics* 12: 2-24.
7. Çapar ID, Aydinbelge HA (2014). Effectiveness of various irrigation activation protocols and the self-adjusting file system on smear layer and debris removal. *Scanning* 36: 640-647.
8. Gu L sha, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR (2009). Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of Endodontics* 35: 791-804.
9. Van der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR (2007). Passive ultrasonic irrigation of the root canal: A review of the literature. *International Endodontic Journal* 40: 415-426.
10. Neuhaus KW, Liebi M, Stauffacher S, Eick S, Lussi A (2016). Antibacterial efficacy of a new sonic irrigation device for root canal disinfection. *Journal of Endodontics* 42: 1799-1803.
11. EndoActivator® Brochure Available from <https://www.dentsplysirona.com/en-us/categories/endodontics/endoactivator.html> (2009).
12. EDDY brochure, Endo Easy Efficient ® Sonic Powered Endo Irrigation, Available from: <https://www.vdw-dental.com/en/products/detail/eddy/> (n.d.).

13. Uğur Aydın Z, Koşumcu S, Meşeci B (2021). Effect of different irrigation activation techniques on sealer penetration: A Confocal Laser Microscopy Study. *The Chinese journal of dental research : the official journal of the Scientific Section of the Chinese Stomatological Association* 24: 113-118.
14. Akcay M, Arslan H, Durmus N, Mese M, Capar ID (2016). Dentinal tubule penetration of AH Plus, iRoot SP, MTA fillapex, and Guttatflow bioseal root canal sealers after different final irrigation procedures: A confocal microscopic study. *Lasers in Surgery and Medicine* 48: 70-76.
15. Bolles JA, He J, Svoboda KKH, Schneiderman E, Glickman GN (2013). Comparison of Vibringe, Endoactivator, and Needle Irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *Journal of Endodontics* 39: 708-711.
16. Generali L, Cavani F, Serena V, Pettenati C, Righi E, Bertoldi C (2017). Effect of different irrigation systems on sealer penetration into dentinal tubules. *Journal of Endodontics* 43: 652–656.
17. Gluskin AH (2009). Anatomy of an overfill: a reflection on the process. *Endodontic Topics* 16: 64–81.
18. Ford TP, Rhodes JS FH (2004). *Endodontics: problem-solving in clinical practice* 147–208.
19. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng Y-L (2005). Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics* 10: 103-122.
20. Schilder H. (1974). Cleaning and shaping the root canal. *Dental Clinics of North America* 18: 269–296.
21. Sönmez IŞ, Sönmez D, Almaz ME (2013). Evaluation of push-out bond strength of a new MTA-based sealer. *European Archives of Paediatric Dentistry* 14: 161-166.
22. Boutsoukakis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E, Bekiaroglou P (2007). Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *International Endodontic Journal* 40: 504-513.
23. Pasricha SK, Makkar S, Gupta P (2015). pressure alteration techniques in endodontics- a review of literature. *Journal of Clinical and Diagnostic Research* 9: ZE01-ZE06.

24. Gliksberg J (1995). An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *Journal of Endodontics* 21: 277–280.
25. De Gregorio C, Arias A, Navarrete N, Cisneros R, Cohenca N (2015). Differences in disinfection protocols for root canal treatments between general dentists and endodontists: A Web-based survey. *Journal of the American Dental Association* 146: 536-543.
26. Van der Sluis LWM, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR (2006). The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *International Endodontic Journal* 39: 472-476.
27. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y (2014). Irrigation in endodontics. *British Dental Journal* 216: 299-303.
28. Saber SED, Hashem AAR (2011). Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *Journal of Endodontics* 37: 1272-1275.
29. Caron G, Nham K, Bronnec F, MacHtou P (2010). Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *Journal of Endodontics* 36: 1361-1366.
30. Huang TY, Gulabivala K, Ng YL (2008). A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *International Endodontic Journal* 41: 60-71.
31. Gu L sha, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR (2009). Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of Endodontics* 35: 791-804.
32. Keir DM, Senia ES, Montgomery S (1990). Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *Journal of Endodontics* 16: 323–327.
33. Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U, Saad AY (2006). Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics* 32: 1181-1184.
34. Setlock J, Fayad MI, BeGole E, Bruzick M (2003). Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: A comparative scanning electron microscope study. *Oral*

- Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics* 96: 614-617.
35. Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG (2002). Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *Journal of Endodontics* 28: 837-839.
 36. Metzger Z (2014). The self-adjusting file (SAF) system: An evidence-based update. *Journal of Conservative Dentistry* 17: 401–419.
 37. Metzger Z, Zary R, Cohen R, Teperovich E, Paqué F (2010). The quality of root canal preparation and root canal obturation in canals treated with rotary versus self-adjusting files: a three-dimensional micro-computed tomographic study. *Journal of Endodontics* 36: 1569–1573.
 38. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA (1987). Ultrasonic debridement of root canals: An insight into the mechanisms involved. *Journal of Endodontics* 13: 93-101.
 39. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW (2003). A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of Endodontics* 29: 674–678.
 40. Jensen SA, Walker TL, Hutter JW, Nicoll BK (1999). Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of Endodontics* 25: 735–738.
 41. Kaloustian MK, Nehme W, el Hachem C, Zogheib C, Ghosn N, Mallet JP, Diemer F, Naaman A (2019). Evaluation of two shaping systems and two sonic irrigation devices in removing root canal filling material from distal roots of mandibular molars assessed by micro CT. *International Endodontic Journal* 52: 1635-1644.
 42. Chandran A, Gaffoor F, Gopakumar R, Girish S, Soumya S, Nair M (2021). Comparison of the efficacy of K-File, canal brush technique, and sonic irrigation technique in the retrievability of calcium hydroxide and metapex intracanal medicaments from root canals: An in vitro cone-beam computed tomography analysis. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* 13: 496-500.
 43. Rödiger T, Bozkurt M, Konietzschke F, Hülsmann M (2010). Comparison of the vibringe system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *Journal of Endodontics* 36 :1410-1413.
 44. EndoActivator® Brochure Available from: <https://www.endoruddle.com/EndoActivator> (n.d.).

45. Özlek E, Eroğlu MG (2016). In vitro investigation of the effect of different irrigation systems connection strength of the canal filling material to the root canal. *Van Medical Journal* 23: 252-258.
46. Ruddle CJ (2007). Hydrodynamic disinfection tsunami endodontics. *Dentistry Today* 26: 114-117.
47. Kanter V, Weldon E, Nair U, Varella C, Kanter K, Anusavice K, Pileggi R (2011). A quantitative and qualitative analysis of ultrasonic versus sonic endodontic systems on canal cleanliness and obturation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology* 112: 809-813.
48. Desai P, Himel V (2009). Comparative Safety of Various Intracanal Irrigation Systems. *Journal of Endodontics* 35: 545-549.
49. Machado R, Cruz ATG, de Araujo BM de M, Klemz AA, Klug HP, da Silva Neto UX (2018). Tubular dentin sealer penetration after different final irrigation protocols: A confocal laser scanning microscopy study. *Microscopy Research and Technique* 81: 649-654.
50. Rius L, Arias A, Aranguren JM, Romero M, de Gregorio C (2020). Analysis of the smear layer generated by different activation systems: an in vitro study. *Clinical Oral Investigations* 25: 211-218.
51. EDDY brochure, Endo Easy Efficient ® Sonic Powered Endo Irrigation, Available from: <https://www.vdw-dental.com/en/products/detail/eddy/> (n.d.).
52. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S (2017). Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clinical Oral Investigations* 21: 2681-2687.
53. Plotino G, Grande NM, Mercade M, Cortese T, Staffoli S, Gambarini G, Testarelli L (2019). Efficacy of sonic and ultrasonic irrigation devices in the removal of debris from canal irregularities in artificial root canals. *Journal of Applied Oral Science* 27: e20180045.
54. Conde AJ, Estevez R, Loroño G, Valencia de Pablo, Rossi-Fedele G, Cisneros R (2017). Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *International Endodontic Journal* 50: 976-982.
55. Richman RJ (1957) "The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection." *Med Dent J* 12: 12-8.

56. Martin H, Cunningham WT, Norris JP, Cotton WR (1980). Ultrasonic versus hand filing of dentin: A quantitative study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 49: 79-81.
57. Laird WRE, Walmsley AD (1991). Ultrasound in dentistry. Part 1-biophysical interactions. *Journal of Dentistry* 19: 14-17.
58. Walmsley AD (1989). The oscillatory pattern of sonically powered endodontic files. *International Endodontic Journal* 22: 125-132.
59. Stock CJ (1991). Current status of the use of ultrasound in endodontics. *International Dental Journal* 4: 175-182.
60. Plotino G, Pameijer CH, Maria Grande N, Somma F (2007). Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *Journal of Endodontics* 33: 81–95.
61. Walmsley AD, Williams AR (1989). Effects of constraint on the oscillatory pattern of endosonic files. *Journal of Endodontics* 15: 189-194.
62. Acteon brochure, Available from: https://www.valid.hu/PDF/katalogusok/Acteon_katalogus_2018.pdf (n.d.).
63. Weller RN, Brady JM, Bernier WE (1980). Efficacy of ultrasonic cleaning. *Journal of Endodontics* 6: 740-743.
64. Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR (2004). The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *International Endodontic Journal* 37: 672-678.
65. Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR (2004). The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. *International Endodontic Journal* 37: 607-612.
66. Lev R, Reader A, Beck M, Meyers W (1987). An in vitro comparison of the step-back technique versus a step-back/ultrasonic technique for 1 and 3 minutes. *Journal of Endodontics* 13: 523-530.
67. Archer R, Reader A, Nist R, Beck M, Meyers WJ (1992). An in vivo evaluation of the efficacy of ultrasound after step-back preparation in mandibular molars. *Journal of Endodontics* 18: 549-552.
68. Goodman A, Reader A, Beck M, Melfi R, Meyers W (1985). An in vitro comparison of the efficacy of the stepback technique versus a step-back/ultrasonic technique in human mandibular molars. *Journal of Endodontics* 11: 249-256.

69. Martin H, Cunningham WT (1982). An evaluation of postoperative pain incidence following endosonic and conventional root canal therapy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 54: 74-76.
70. Haragushiku GA, Teixeira CS, Furuse AY, Sousa YTS, de Sousa Neto MD, Silva RG (2012). Analysis of the interface and bond strength of resin-based endodontic cements to root dentin. *Microscopy Research and Technique* 75: 655-661.
71. Cunningham WT, Martin H (1982). A scanning electron microscope evaluation of root canal débridement with the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 53: 527-531.
72. Cunningham WT, Martin H, Forrest WR (1982). Evaluation of root canal débridement by the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 53: 401-404.
73. Cunningham WT, Martin H, Pelleu GB, Stoops DE (1982). A comparison of antimicrobial effectiveness of endosonic and hand root canal therapy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 54: 238-241.
74. Lumley PJ, Walmsley AD, Walton RE, Rippin JW (1992). Effect of precurving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. *Journal of Endodontics* 18: 616-619.
75. Changing concepts in endodontic therapy. (1985). *Journal of the American Dental Association (1939)* 110: 470-480.
76. Van der Sluis LWM, Wu MK, Wesselink PR (2005). A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed dentine debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation. *International Endodontic Journal* 38: 593-596.
77. Abbott PV, Heijkoop PS, Cardaci SC, Hume WR (1991). An SEM study of the effects of different irrigation sequences and ultrasonics. *International Endodontic Journal* 24: 308-316.
78. Sarno MU, Sidow SJ, Looney SW, Lindsey KW, Niu LN, Tay FR (2012). Canal and isthmus debridement efficacy of the VPro endosafe negative-pressure irrigation technique. *Journal of Endodontics* 38: 1631-1634.
79. Khan S, Niu LN, Eid AA, Looney SW, Didato A, Roberts S, Pashley DH, Tay FR (2013). Periapical pressures developed by nonbinding irrigation needles at various irrigation delivery rates. *Journal of Endodontics* 39: 529-533.

80. Nielsen BA, Craig Baumgartner J (2007). Comparison of the EndoVac System to needle irrigation of root canals. *Journal of Endodontics* 33: 611-615.
81. Kara Tuncer A, Ünal B (2014). Comparison of sealer penetration using the endovac irrigation system and conventional needle root canal irrigation. *Journal of Endodontics* 40: 613-617.
82. Turkel E, Onay EO, Ungor M (2017). Comparison of Three Final Irrigation Activation Techniques: Effects on canal cleanness, smear layer removal, and dentinal tubule penetration of two root canal sealers. *Photomedicine and Laser Surgery* 35: 672-682.
83. Hauser V, Braun A, Frentzen M (2007). Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo®). *International Endodontic Journal* 40: 644-652.
84. McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng YL (2008). The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen “bio-molecular film” from an ex vivo model. *International Endodontic Journal* 41: 602-608.
85. Peng Q, Juzeniene A, Chen J, Svaasand LO, Warloe T, Giercksky KE, Moan J (2008). Lasers in medicine. *Reports on Progress in Physics* 71: 056701.
86. Stabholz A, Sahar-Helft S, Moshonov J (2004). Lasers in endodontics. *Dental Clinics of North America* 48: 809-832.
87. Do QL, Gaudin A (2020). The efficiency of the ER: YAG laser and photon-induced photoacoustic streaming (PIPS) as an activation method in endodontic irrigation: A literature review. *Journal of Lasers in Medical Sciences* 11: 316-334.
88. Sulewski JG (2000). Historical survey of laser dentistry. *Dental clinics of North America* 44: 717-752.
89. Olivi G, Divito E (2012). Photoacoustic Endodontics using PIPS™: experimental background and clinical protocol. *Journal of the Laser and Health Academy* 2012: 22–25.
90. Galler KM, Grubmüller V, Schlichting R, Widbiller M, Eidt A, Schuller C, Wölflick M, Hiller KA, Buchalla W (2019). Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *International Endodontic Journal* 52: 1210-1217.

91. Lukac N, Muc BT, Jezersek M, Lukac M (2017). Photoacoustic Endodontics using the novel SWEEPS Er:YAG Laser modality. *Journal of the Laser and Health Accademy* 2017 1: 1-7.
92. Wright CR, Glickman GN, Jalali P, Umorin M (2019). Effectiveness of gutta percha/sealer removal during retreatment of extracted human molars using the GentleWave System. *Journal of Endodontics* 45: 808–812.
93. Ford MW (2018). Utilizing the GentleWave® system for debridement of undetected apical anatomy. *Journal of Contemporary Dental Practice* 19: 345-351.
94. Chan R, Versiani MA, Friedman S, Malkhassian G, Sousa-Neto MD, Leoni GB, Silva-Sousa YTC, Basrani B (2019). Efficacy of 3 supplementary irrigation protocols in the removal of hard tissue debris from the mesial root canal system of mandibular molars. *Journal of Endodontics* 45: 923-929.
95. Choi HW, Park SY, Kang MK, Shon WJ (2019). Comparative analysis of biofilm removal efficacy by multisonic ultracleaning system and passive ultrasonic activation. *Materials* 12: 3492.
96. Russell A, Friedlander L, Chandler N (2018). Sealer penetration and adaptation in root canals with the butterfly effect. *Australian Endodontic Journal* 44: 225–234.
97. McMichael GE, Primus CM, Opperman LA (2016). Dentinal tubule penetration of tricalcium silicate sealers. *Journal of Endodontics* 42: 632–636.
98. Chandra SS, Shankar P, Indira R (2012). Depth of penetration of four resin sealers into radicular dentinal tubules: A confocal microscopic study. *Journal of Endodontics* 38: 1412-1416.
99. Weis MV, Parashos P, Messer HH (2004). Effect of obturation technique on sealer cement thickness and dentinal tubule penetration. *International Endodontic Journal* 37: 653-663.
100. Kuçi A, Alaçam T, Yavaş Ö, Ergul-Ulger Z, Kayaoglu G (2014). Sealer penetration into dentinal tubules in the presence or absence of smear layer: A confocal laser scanning microscopic study. *Journal of Endodontics* 40: 1627-1631.

101. Assouline LS, Fuss Z, Mazor Y, Weiss EI (2001). Bacterial penetration and proliferation in root canal dentinal tubules after applying dentin adhesives in vitro. *Journal of Endodontics* 27: 398-400.
102. De Deus GA, Gurgel-Filho ED, Maniglia-Ferreira O, Coulinho-Filho T (2004). The influence of filling technique on depth of tubule penetration by root canal sealer: A study using light microscopy and digital image processing. *Australian Endodontic Journal* 30: 23-28.
103. Rouhani A, Ghoddusi J, Naghavi N, Al-Lawati G (2013). Scanning electron microscopic evaluation of dentinal tubule penetration of Epiphany in severely curved root canals. *European Journal of Dentistry* 7: 423-428.
104. Shokouhinejad N, Sabeti M, Gorjestani H, Saghiri MA, Lotfi M, Hoseini A (2011). Penetration of epiphany, epiphany self-etch, and ah plus into dentinal tubules: a scanning electron microscopy study. *Journal of Endodontics* 37: 1316-1319.
105. Mathew J, Theruvil R, Baby A, George S, Paul M, Jacob J, Pius A (2019). evaluation and comparison of the marginal adaptation of an epoxy, calcium hydroxide-based, and bioceramic-based root canal sealer to root dentin by sem analysis: an in vitro study. *Conservative Dentistry and Endodontic Journal* 4: 6-13.
106. Ozasir T, Eren B, Gulsahi K, Ungor M (2021). The Effect of Different Final Irrigation Regimens on the Dentinal Tubule Penetration of Three Different Root Canal Sealers: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study in Vitro. *Scanning* 2021: 8726388.
107. Retamal CAC (2020). Dentinal tubule penetration and adaptation of Bio-C Sealer and AH-Plus: A comparative SEM evaluation. *European Endodontic Journal*. 6: 216-220.
108. Schmidt S, Schäfer E, Bürklein S, Rohrbach A, Donnermeyer D (2021). Minimal dentinal tubule penetration of endodontic sealers in warm vertical compaction by direct detection via sem analysis. *Journal of Clinical Medicine* 10: 4440.
109. De Macedo LMD, Silva-Sousa Y. da Silva SRC, Baratto SSP, Baratto-Filho F, Rached-Júnior FJA (2017). Influence of root canal filling techniques on sealer penetration and bond strength to dentin. *Brazilian Dental Journal* 28: 380-384.

110. Singh C, Rao SA, Chandrashekar V (2012). An in vitro comparison of penetration depth of two root canal sealers: An SEM study. *Journal of Conservative Dentistry* 15: 261-264.
111. Mannocci F (1998). Stereomicroscopic and scanning electron microscopic study of roots obturated with vertically condensed gutta-percha, epoxy resin cement, and dentin bonding agent. *Journal of Endodontics* 24: 397-400.
112. Piazza B, Rivera-Peña ME, Alcalde MP, de Vasconcelos BC, Duarte MAH, de Moraes IG, Vivan RR (2018). The influence of humidity on intra-tubular penetration and bond strength of AH plus and MTA fillapex: An in vitro study. *European Endodontic Journal* 3: 48-54.
113. Alcalde MP, Bramante CM, Vivan RR, Amoroso-Silva PA, de Andrade FB, Duarte MAH (2017). Intradental antimicrobial action and filling quality promoted by ultrasonic agitation of epoxy resin-based sealer in endodontic obturation. *Journal of Applied Oral Science* 25: 641-649.
114. Ghorbanzadeh A, Aminsobhani M, Sohrabi K, Chiniforush N, Ghafari S, Shamshiri AR, Noroozi N (2016). Penetration depth of sodium hypochlorite in dentinal tubules after conventional irrigation, passive ultrasonic agitation and Nd: YAG laser activated irrigation. *Journal of Lasers in Medical Sciences* 7: 105-111.
115. De-Deus G, Brandão MC, Leal F, Reis C, Souza EM, Luna AS, Paciornik S, Fidel S (2012). Lack of correlation between sealer penetration into dentinal tubules and sealability in nonbonded root fillings. *International Endodontic Journal* 45: 642-651.
116. Tungawat P, Arunrukthavorn P, Phuntusuntorn P, Opatragoon S, Sirirangsee P, Inklub S (2021). Comparison of the effect of three irrigation techniques and root canal preparation size on sodium hypochlorite penetration into root canal dentinal tubules. *International Journal of Dentistry* 2021: 6612588.
117. Piai GG, Duarte MAH, Nascimento AL do, Rosa RA da, Marcus Vinícius Reis S, Vivan RR (2018). Penetrability of a new endodontic sealer: A confocal laser scanning microscopy evaluation. *Microscopy Research and Technique* 81: 1246-1249.
118. Ch T, Shaik I, Khan M, Parvekar P, Mirza M, Mustafa M, Tiwari H (2021). The sealer penetration into the dentinal tubules: An appraisal of different irrigation

- systems: Original research. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* 13: 1280-1285.
119. Aksel H, Küçükkaya Eren S, Puralı N, Serper A, Azim AA (2017). Efficacy of different irrigant protocols and application systems on sealer penetration using a stepwise CLSM analysis. *Microscopy Research and Technique* 80: 1323-1327.
 120. Aksel H, Arslan E, Puralı N, Uyanık Ö, Nagaş E (2019). Effect of ultrasonic activation on dentinal tubule penetration of calcium silicate-based cements. *Microscopy Research and Technique* 82: 624-629.
 121. Keskin G, Çiloğlu M (2021). Efficacy of antimicrobial photodynamic therapy and Er,Cr:YSGG laser-activated irrigation on dentinal tubule penetration of MTA-based root canal sealer: a confocal microscopy study. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy* 36: 102584.
 122. Coronas VS, Villa N, Nascimento AL do, Duarte PHM, da Rosa RA, Só MVR (2020). Dentinal tubule penetration of a calcium silicate-based root canal sealer using a specific calcium fluorophore. *Brazilian Dental Journal* 31: 109-115.
 123. Giardino L, Pedullà E, Cavani F, Bisciotti F, Giannetti L, Checchi V, Angerame D, Consolo U, Generali L (2021). Comparative evaluation of the penetration depth into dentinal tubules of three endodontic irrigants. *Materials* 14: 5853.
 124. Cheng X, Wang X, Liu N, Guan Q, Yu Q, He W (2021). Effect of various laser-activated irrigation protocols on endodontic sealer penetration into the dentinal tubules: A confocal laser scanning microscopy study. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery* 39: 544-549.
 125. Sae-Lim V, Indulekha D, Lim BK, Lee HL (2000). Effectiveness of ProFile .04 Taper rotary instruments in endodontic retreatment. *Journal of Endodontics* 26: 100-104.
 126. Donnermeyer D, Bunne C, Schäfer E, Dammaschke T (2018). Retreatability of three calcium silicate-containing sealers and one epoxy resin-based root canal sealer with four different root canal instruments. *Clinical Oral Investigations* 22: 811-817.
 127. Generali L, Campolongo E, Consolo U, Bertoldi C, Giardino L, Cavani F (2018). Sodium hypochlorite penetration into dentinal tubules after manual dynamic agitation and ultrasonic activation: a histochemical evaluation. *Odontology* 106: 454-459.

128. Siegel JA, Saukko PJ (2012). *Encyclopedia of forensic sciences: Second edition*.
129. Ni C (2013). Scanning Electron Microscopy (SEM). *Encyclopedia of Tribology*.
130. Simsek N, Keles A, Ahmetoglu F, Ocak MS, Yologlu S (2014). Comparison of different retreatment techniques and root canal sealers: a scanning electron microscopic study. *Brazilian Oral Research* 28: 1806-1832.
131. Turkyilmaz A, Erdemir A (2020). Comparison of dentin penetration ability of different root canal sealers used with different obturation methods. *Microscopy Research and Technique* 83: 1544-1551.
132. Xu LL, Zhang L, Zhou XD, Wang R, Deng YH, Huang DM (2012). Residual filling material in dentinal tubules after gutta-percha removal observed with scanning electron microscopy. *Journal of Endodontics* 38: 293-296.
133. Mamootil K, Messer HH (2007). Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. *International Endodontic Journal* 40: 873-881.
134. Peterson DA (2010). Confocal Microscopy. *Encyclopedia of Movement Disorders* 250–252.
135. Paddock SW (2000). Principles and practices of laser scanning confocal microscopy. *Applied Biochemistry and Biotechnology - Part B Molecular Biotechnology* 16: 127-149.
136. Wnek GE., Bowlin GL, (2004). Encyclopedia of biomaterials and biomedical engineering *Choice Reviews Online* 42.
137. Sari ZB (2021). Lazer Taramalı Konfokal Mikroskobun Prensipleri ve Tıpta Kullanım Alanları. *Akdeniz Medical Journal*. 7: 457-462
138. García-Herraiz A, Leiva-García R, Cañigral-Ortiz A, Silvestre FJ, García-Antón J (2012). Confocal laser scanning microscopy for the study of the morphological changes of the postextraction sites. *Microscopy Research and Technique* 75: 513–519.
139. Patel DV, Sherriff M, Ford TRP, Watson TF, Mannocci F (2007). The penetration of RealSeal primer and Tubliseal into root canal dentinal tubules: A confocal microscopic study. *International Endodontic Journal* 40: 67-71.
140. Gharib SR, Tordik PA, Imamura GM, Baginski TA, Goodell GG (2007). A Confocal Laser Scanning Microscope Investigation of the Epiphany Obturation System. *Journal of Endodontics* 33: 957-961.

141. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Graeff MSZ, del Carpio Perochena A, Vivan RR, Camargo EJ, Garcia RB, Bernardineli N, Gutmann JL, de Moraes IG (2009). Depth and percentage of penetration of endodontic sealers into dentinal tubules after root canal obturation using a lateral compaction technique: A confocal laser scanning microscopy study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology* 108: 450–457.
142. Kabasawa M, Ejiri S, Hanada K, Ozawa H (1995). Histological observations of dental tissues using the confocal laser scanning microscope. *Biotechnic and Histochemistry* 70: 66-69.
143. Mallya L, Kundabala M, Jathanna V (2019). Confocal LASER scanning microscopy (CLSM) for evaluation of endodontic microflora-a review. *Indian Journal of Public Health Research and Development* 10: 69-73.
144. Rashid H (2014). Application of confocal laser scanning microscopy in dentistry. *Journal of Advanced Microscopy Research* 9: 245-252.
145. Dem K, Wu Y, Kaminga AC, Dai Z, Cao X, Zhu B (2019). The push-out bond strength of polydimethylsiloxane endodontic sealers to dentin. *BMC Oral Health* 19: 181.
146. Alipour M, Faraji Gavgani L, Ghasemi N (2022). Push-out bond strength of the calcium silicate-based endodontic cements in the presence of blood: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Clinical and Experimental Dental Research* 8: 571-582.
147. Sirisha K, Rambabu T, Shankar YR, Ravikumar P (2014). Validity of bond strength tests: A critical review: Part I. *Journal of Conservative Dentistry* 17: 305–311.
148. Rasmussen ST (1996). Analysis of dental shear bond strength tests, shear or tensile? *International Journal of Adhesion and Adhesives* 16: 147-154.
149. Watanabe LG, Marshall GW, Marshall SJ (1996). Dentin shear strength: effects of tubule orientation and intratooth location. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials* 12: 109-115.
150. Lin A, McIntyre NS, Davidson RD (1992). Studies on the adhesion of glass-ionomer cements to dentin. *Journal of Dental Research* 71: 1836-1841.
151. Wrbas KT, Schirrmester JF, Altenburger MJ, Agrafioti A, Kielbassa AM (2007). Influence of adhesive systems on bond strength between fiber posts and

- composite resin cores in a pull-out test design. *Dental Materials Journal* 26: 401-408.
152. Tian Y, Mu Y, Setzer FC, Lu H, Qu T, Yu Q (2012). Failure of fiber posts after cementation with different adhesives with or without silanization investigated by pullout tests and scanning electron microscopy. *Journal of Endodontics* 38: 1279-1282.
 153. Aleisa K, Habib SR, Ansari AS, Altayyar R, Alharbi S, Alanazi SAS, Alduaiji KT (2021). Effect of luting cement film thickness on the pull-out bond strength of endodontic post systems. *Polymers* 13: 3082.
 154. Arslan H, Yilmaz CB, Karatas E, Barutçigil C, Topcuoglu HS, Yeter KY (2015). Efficacy of different treatments of root canal walls on the pull-out bond strength of the fiber posts. *Lasers in Medical Science* 30: 863-868.
 155. Roydhouse RH (1970). Punch-shear test for dental purposes. *Journal of Dental Research* 49: 131–136.
 156. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso PC, Tay F, Ferrari M (2004). The adhesion between fiber posts and root canal walls: Comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *European Journal of Oral Sciences* 112: 353-361.
 157. Goracci C, Grandini S, Bossù M, Bertelli E, Ferrari M (2007). Laboratory assessment of the retentive potential of adhesive posts: A review. *Journal of Dentistry* 35: 827–835.
 158. Yilmaz A, Yalcin TY, Helvacioğlu-Yigit D (2020). Effectiveness of various final irrigation techniques on sealer penetration in curved roots: a confocal laser scanning microscopy study. *BioMed Research International* 2020: 8060489.
 159. Duke ES, Lindemuth J (1991). Variability of clinical dentin substrates. *American Journal of Dentistry* 4: 241-246.
 160. Patierno JM, Rueggeberg FA, Anderson RW, Weller RN, Pashley DH (1996). Push-out strength and SEM evaluation of resin composite bonded to internal cervical dentin. *Endodontics and Dental Traumatology* 12: 227-236.
 161. Alkhudhairy FI, Yaman P, Dennison J, McDonald N, Herrero A, Bin-Shuwaish MS (2018). The effects of different irrigation solutions on the bond strength of cemented fiber posts. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry* 10: 221-230.

162. Cakici F, Cakici EB, Ceyhanli KT, Celik E, Kucukekenci FF, Gunseren AO (2016). Evaluation of bond strength of various epoxy resin based sealers in oval shaped root canals. *BMC Oral Health* 16: 106.
163. Farag HA, Etman WM, Alhadainy HA, Darrag AM (2015). Effect of different irrigating protocols on push-out bond strength of Resilon/Epiphany obturation system. *Tanta Dental Journal* 10: 296-302.
164. Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, Krejci I, Meyer JM, Pashley DH (2003). Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dental Materials* 19: 199-205.
165. Pashley DH (2001). Evaluation of regional bond strength of resin cement to endodontic surfaces. *Journal of Endodontics* 27: 321-324.
166. Wiese PEB, Silva-Sousa YT, Pereira RD, Estrela C, Domingues LM, Pécora JD, Sousa-Neto MD (2018). Effect of ultrasonic and sonic activation of root canal sealers on the push-out bond strength and interfacial adaptation to root canal dentine. *International Endodontic Journal* 51: 102-111.
167. Paixão S, Rodrigues C, Grenho L, Fernandes MH (2022). Efficacy of sonic and ultrasonic activation during endodontic treatment: a Meta-analysis of in vitro studies *Acta Odontologica Scandinavica* 17: 1–8.
168. Schneider SW (1971). A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 32: 271-275.
169. Eymirli A, Sungur DD, Uyanik O, Purali N, Nagas E, Cehreli ZC (2019). Dentinal tubule penetration and retreatability of a calcium silicate–based sealer tested in bulk or with different main core material. *Journal of Endodontics* 45: 1036-1040.
170. Kok D, Duarte MAH, da Rosa RA, Wagner MH, Pereira JR, Só MVR (2012). Evaluation of epoxy resin sealer after three root canal filling techniques by confocal laser scanning microscopy. *Microscopy Research and Technique* 75: 1277-1280.
171. Matos F de S, da Silva FR, Paranhos LR, Moura CCG, Bresciani E, Valera MC (2020). The effect of 17% EDTA and QMiX ultrasonic activation on smear layer removal and sealer penetration: ex vivo study. *Scientific Reports* 10: 10311.
172. Michida S, Dal Piva AM de O, Tribst JPM, Souza ROA, Lombardo G, Bottino MA, Valandro LF (2017). Resin push-out bonding strength to root canal dentin:

- effect of the irrigation solution application prior to post cementation. *Brazilian Dental Science* 20: 1426.
173. Peters LB, van Winkelhoff AJ, Buijs JF, Wesselink PR (2002). Effects of instrumentation, irrigation and dressing with calcium hydroxide on infection in pulpless teeth with periapical bone lesions. *International Endodontic Journal* 35: 13-21.
 174. Nair PNR, Henry S, Cano V, Vera J (2005). Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after “one-visit” endodontic treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology* 99: 231-252.
 175. Rödiger T, Döllmann S, Konietschke 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 Endodontics* 36: 1983-1987.
 176. White RR, Goldman M, Lin PS (1984). The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by plastic filling materials. *Journal of Endodontics* 10: 558-562.
 177. Wu MK, de Gee AJ, Wesselink PR (1998). Effect of tubule orientation in the cavity wall on the seal of dental filling materials: An in vitro study. *International Endodontic Journal* 31: 526-532.
 178. Ch T, Shaik I, Khan M, Parvekar P, Mirza M, Mustafa M, Tiwari H (2021). The sealer penetration into the dentinal tubules: An appraisal of different irrigation systems: Original research. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* 13: 1280-1285.
 179. Rödiger T, Kupis J, Konietschke F, Dullin C, Drebenstedt S, Hülsmann M (2014). Comparison of hand and rotary instrumentation for removing gutta-percha from previously treated curved root canals: A microcomputed tomography study. *International Endodontic Journal* 47: 173-182.
 180. De Azevêdo Rios M, Villela AM, Cunha RS, Velasco RC, de Martin AS, Kato AS, da Silveira Bueno CE (2014). Efficacy of 2 reciprocating systems compared with a rotary retreatment system for gutta-percha removal. *Journal of Endodontics* 40: 543-546.

181. Yılmaz K, Özyürek T (2017). Apically extruded debris after retreatment procedure with Reciproc, Protaper Next, and Twisted file adaptive instruments. *Journal of Endodontics* 43: 648-651.
182. Özyürek T, Demiryürek EÖ (2016). Efficacy of different nickel-titanium instruments in removing gutta-percha during root canal retreatment. *Journal of Endodontics* 42: 646-649.
183. De Almeida Barbosa M, de Oliveira KV, dos Santos VR, da Silva WJ, Tomazinho FSF, Baratto-Filho F, Gabardo MCL (2020). Effect of vehicle and agitation methods on the penetration of calcium hydroxide paste in the dentinal tubules. *Journal of Endodontics* 46: 980-986.
184. Akcay M, Arslan H, Mese M, Durmus N, Capar ID (2017). Effect of photon-initiated photoacoustic streaming, passive ultrasonic, and sonic irrigation techniques on dentinal tubule penetration of irrigation solution: a confocal microscopic study. *Clinical Oral Investigations* 21: 2205-2212.
185. Sennain S, Wassel M, Awad B (2021). Evaluation of cleaning efficacy and instrumentation time of manual k- files and two different rotary systems (ProTaper Next and Pro AF Rotary Files) in pulpectomy of primary molars: an in vitro study. *Egyptian Dental Journal* 67: 2865–2874.
186. Katge F, Patil D, Poojari M, Pimpale J, Shitoot A, Rusawat B (2014). Comparison of instrumentation time and cleaning efficacy of manual instrumentation, rotary systems and reciprocating systems in primary teeth: An in vitro study. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry* 32: 311-316.
187. Prichard J (2012). Rotation or reciprocation: A contemporary look at NiTi instruments? *British Dental Journal* 212: 345-346.
188. De Gregorio C, Arias A, Navarrete N, del Rio V, Oltra E, Cohenca N (2013). Effect of apical size and taper on volume of irrigant delivered at working length with apical negative pressure at different root curvatures. *Journal of Endodontics* 39: 119-124.
189. Brunson M, Heilborn C, Johnson DJ, Cohenca N (2010). Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *Journal of Endodontics* 36: 721-724.

190. Arslan D, Guneser MB, Dincer AN, Kustarci A, Er K, Siso SH (2016). Comparison of smear layer removal ability of qmix with different activation techniques. *Journal of Endodontics* 42: 1279-1285.
191. Ruddle C (2015). Endodontic disinfection: Tsunami irrigation. *Saudi Endodontic Journal* 5: 1-12.
192. Tomson PL, Simon SR (2016). Contemporary cleaning and shaping of the root canal system. *Primary Dental Journal* 5: 46-53.
193. Zeng C, Willison J, Meghil MM, Bergeron BE, Cutler CW, Tay FR, Niu L, Ma J (2018). Antibacterial efficacy of an endodontic sonic-powered irrigation system: An in vitro study. *Journal of Dentistry* 75: 105-112.
194. Rödig T, Koberg C, Baxter S, Konietschke F, Wiegand A, Rizk M (2019). Micro-CT evaluation of sonically and ultrasonically activated irrigation on the removal of hard-tissue debris from isthmus-containing mesial root canal systems of mandibular molars. *International Endodontic Journal* 52: 1173-1181.
195. Lea CS, Apicella MJ, Mines P, Yancich PP, Parker MH (2005). Comparison of the obturation density of cold lateral compaction versus warm vertical compaction using the continuous wave of condensation technique. *Journal of Endodontics* 31: 37-39.
196. Lea CS, Apicella MJ, Mines P, Yancich PP, Parker MH (2005). Comparison of the obturation density of cold lateral compaction versus warm vertical compaction using the continuous wave of condensation technique. *Journal of Endodontics* 31: 37-39.
197. Silver GK, Love RM, Purton DG (1999). Comparison of two vertical condensation obturation techniques: Touch 'n Heat modified and System B. *International Endodontic Journal* 32: 287-295.
198. Starkey DL, Anderson RW, Pashley DH (1993). An evaluation of the effect of methylene blue dye pH on apical leakage. *Journal of Endodontics* 19: 435-439.
199. Gilbert SD, Witherspoon DE, Berry CW (2001). Coronal leakage following three obturation techniques. *International Endodontic Journal* 34: 293-239.
200. Lipski M (2005). Root surface temperature rises during root canal obturation, in vitro, by the continuous wave of condensation technique using System B HeatSource. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology* 99: 505-510.

201. Gutmann J (2016). Grossman's Endodontic Practice 13 th Edition. *Journal of Conservative Dentistry* 19: 494.
202. Shen C (1992). Effect of different sealers on thermoplasticized gutta-percha root canal obturations. *Journal of Endodontics* 18: 363-366.
203. Limkangwalmongkol S, Burtscher P, Abbott PV, Sandler AB, Bishop BM (1991). A comparative study of the apical leakage of four root canal sealers and laterally condensed gutta-percha. *Journal of Endodontics* 17: 495-499.
204. Flores DSH, Rached-Júnior FJA, Versiani MA, Guedes DFC, Sousa-Neto MD, Pécora JD (2011). Evaluation of physicochemical properties of four root canal sealers. *International Endodontic Journal* 44: 126-135.
205. Versiani MA, Pécora JD, Sousa-Neto MD (2013). Microcomputed tomography analysis of the root canal morphology of single-rooted mandibular canines. *International Endodontic Journal* 46: 800-807.
206. Kara Tuncer A, Tuncer S (2012). Effect of different final irrigation solutions on dentinal tubule penetration depth and percentage of root canal sealer. *Journal of Endodontics* 38: 860-863.
207. Hirai VHG, Machado R, Budziak MCL, Piasecki L, Kowalczyk A, Neto UXDS (2020). Percentage of gutta-percha-, sealer-, and void-filled areas in oval-shaped root canals obturated with different filling techniques: a confocal laser scanning microscopy study. *European Journal of Dentistry* 14: 8-12.
208. Krishna Muppalla J, Harikumar V, Sarathchandra P, Reddy S, Rajani P (2020). Effect of modulated photoactivation of bulkfill composite on microleakage in fluorosed and nonfluorosed teeth: A confocal laser scanning microscopy study. *Journal of Conservative Dentistry* 23: 180-184.
209. Machado MEL, Veintimilla Lozada VN, Carrillo Rengifo KJ, Guillén REG, Caballero-Flores H, Nabeshima CK (2021). Confocal laser scanning microscopic analysis of the penetration of an epoxy resin-based sealer into dentinal tubules after calcium hydroxide dressing. *Australian Endodontic Journal* 47: 480-486.
210. Uzunoglu-Özyürek E, Erdoğan Ö, Aktemur Türker S (2018). Effect of calcium hydroxide dressing on the dentinal tubule penetration of 2 different root canal sealers: a confocal laser scanning microscopic study. *Journal of Endodontics* 44: 1018-1023.

211. Kanmaz F, Altunbaş D (2021). Evaluation of the effect of calcium hydroxide paste on sealer penetration into dentinal tubules by confocal laser scanning microscopy. *Australian Endodontic Journal* 48: 82-90
212. Abusteit OE (2021). Evaluation of resin sealer penetration of dentin following different final rinses for endodontic irrigation using confocal laser scanning microscopy. *Australian Endodontic Journal* 47: 195-201.
213. Özdemir O, Koçak S, Hazar E, Sağlam BC, Coşkun E, Koçak MM (2021). Dentinal tubule penetration of gutta-percha with syringe-mix resin sealer using different obturation techniques: A confocal laser scanning microscopy study. *Australian Endodontic Journal Online*.
214. Al Raisi H, Dummer PMH, Vianna ME (2019). How is Endodontics taught? A survey to evaluate undergraduate endodontic teaching in dental schools within the United Kingdom. *International Endodontic Journal* 52: 1077-1085.
215. Nikhil V, Bansal P, Sawani S (2015). Effect of technique of sealer agitation on percentage and depth of MTA Fillapex sealer penetration: A comparative in-vitro study. *Journal of Conservative Dentistry* 18: 119-123.
216. Jeong JW, DeGraft-Johnson A, Dorn SO, di Fiore PM (2017). Dentinal tubule penetration of a calcium silicate-based root canal sealer with different obturation methods. *Journal of Endodontics* 43: 633-637.
217. Keles A, Kamalak A, Keskin C, Akçay M, Uzun İ (2016). The efficacy of laser, ultrasound and self-adjustable file in removing smear layer debris from oval root canals following retreatment: A scanning electron microscopy study. *Australian Endodontic Journal* 42: 104-111.
218. Balguerie E, van der Sluis L, Vallaëys K, Gurgel-Georgelin M, Diemer F (2011). Sealer penetration and adaptation in the dentinal tubules: A scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics* 37: 1576-1579.
219. Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM (2010). Effectiveness of the EndoActivator System in Removing the Smear Layer after Root Canal Instrumentation. *Journal of Endodontics* 36: 308-311.
220. Hachem R el, le Brun G, le Jeune B, Pellen F, Khalil I, Abboud M (2018). Influence of the EndoActivator irrigation system on dentinal tubule penetration of a novel tricalcium silicate-based sealer. *Dentistry Journal* 6: 45.

221. Celikten B, Uzuntas CF, Orhan AI, Orhan K, Tufenkci P, Kursun S, Demiralp KÖ (2016). Evaluation of root canal sealer filling quality using a single-cone technique in oval shaped canals: An in vitro Micro-CT study. *Scanning* 38: 133-140.
222. Al-Ali M, Sathorn C, Parashos P (2012). Root canal debridement efficacy of different final irrigation protocols. *International Endodontic Journal* 45: 898-906.
223. Tedesco M (2018). Comparison of two observational methods, scanning electron and confocal laser scanning microscopies, in the adhesive interface analysis of endodontic sealers to root dentine. *Clinical Oral Investigations* 22: 2353-2361.
224. De-Deus G, Reis C, di Giorgi K, Brandão MC, Audi C, Fidel RAS (2011). Interfacial adaptation of the Epiphany self-adhesive sealer to root dentin. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology* 111: 381-386.
225. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Bernardineli N, Graeff MSZ, Garcia RB, de Moraes IG, Debelian G (2009). A preliminary study of the percentage of sealer penetration in roots obturated with the Thermafil and RealSeal-1 obturation techniques in mesial root canals of mandibular molars. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology* 108: 961-968.
226. El Hachem R, Khalil I, le Brun G, Pellen F, le Jeune B, Daou M, el Osta N, Naaman A, Abboud M (2019). Dentinal tubule penetration of AH Plus, BC Sealer and a novel tricalcium silicate sealer: a confocal laser scanning microscopy study. *Clinical Oral Investigations* 23: 1871-1876.
227. D'costa V, Rodrigues A, Bangerla M, Bhat P, Rai R (2021). A confocal microscopic study on percentage penetration of different sealers into dentin. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* 13: 725-730.
228. Vasiliadis L, Darling AI, Levers BGH (1983). The histology of sclerotic human root dentine. *Archives of Oral Biology* 28: 693-670.
229. Mjör IA, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F (2001). The structure of dentine in the apical region of human teeth. *International Endodontic Journal* 34: 346-353.
230. Carrigan PJ, Morse DR, Furst ML, Sinai IH (1984). A scanning electron microscopic evaluation of human dentinal tubules according to age and location. *Journal of Endodontics* 10: 359-363.

231. Moon YM, Shon WJ, Baek SH, Bae KS, Kum KY, Lee WC (2010). Effect of final irrigation regimen on sealer penetration in curved root canals. *Journal of Endodontics* 36: 732-736.
232. Mathew VB, Ramachandran S, Indira R, Shankar P (2011). Comparison of the push-out shear bond strength of four types of glass ionomers when used to bond amalgam: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry* 14: 337-340.
233. Cunha LG, Alonso RCB, Pfeifer CSC, Correr-Sobrinho L, Ferracane JL, Sinhoreti MAC (2007). Modulated photoactivation methods: Influence on contraction stress, degree of conversion and push-out bond strength of composite restoratives. *Journal of Dentistry* 35: 318-324.
234. Ekambaram M, Yiu CKY, Matinlinna JP, Chang JWW, Tay FR, King NM (2014). Effect of chlorhexidine and ethanol-wet bonding with a hydrophobic adhesive to intraradicular dentine. *Journal of Dentistry* 42: 872-882.
235. Reginato CF, Oliveira AS, Kaizer MR, Jardim PS, Moraes RR (2013). Polymerization efficiency through translucent and opaque fiber posts and bonding to root dentin. *Journal of Prosthodontic Research* 57: 20-23.
236. Rocha AW, de Andrade CD, Leitune VCB, Collares FM, Samuel SMW, Grecca FS, de Figueiredo JAP, dos Santos RB (2012). Influence of endodontic irrigants on resin sealer bond strength to radicular dentin. *The Bulletin of Tokyo Dental College* 53: 1-7.
237. Sagsen B, Ustün Y, Demirbuga S, Pala K (2011). Push-out bond strength of two new calcium silicate-based endodontic sealers to root canal dentine. *International Endodontic Journal* 44: 1088-1091.
238. Stiegemeier D, Baumgartner JC, Ferracane J (2010). Comparison of push-out bond strengths of resilon with three different sealers. *Journal of Endodontics* 36: 318-321.
239. Donnermeyer D, Dornseifer P, Schäfer E, Dammaschke T (2018). The push-out bond strength of calcium silicate-based endodontic sealers. *Head and Face Medicine* 14: 13.
240. Collares FM, Portella FF, Rodrigues SB, Celeste RK, Leitune VCB, Samuel SMW (2015). The influence of methodological variables on the push-out resistance to dislodgement of root filling materials: A meta-regression analysis. *International Endodontic Journal* 49: 836-849.

241. Soares CJ, Santana FR, Castro CG, Santos-Filho PCF, Soares PV, Qian F, Armstrong SR (2008). Finite element analysis and bond strength of a glass post to intraradicular dentin: Comparison between microtensile and push-out tests. *Dental Materials* 24: 1405-1411.
242. Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A (1999). Fatigue behaviour of different dentin adhesives. *Clinical Oral Investigations* 3: 11-17.
243. Ungor M, Onay EO, Orucoglu H (2006). Push-out bond strengths: The Epiphany-Resilon endodontic obturation system compared with different pairings of Epiphany, Resilon, AH Plus and gutta-percha. *International Endodontic Journal* 39: 643-647.
244. Topçuoğlu HS, Tuncay Ö, Demirbuga S, Dinçer AN, Arslan H (2014). The effect of different final irrigant activation techniques on the bond strength of an epoxy resin-based endodontic sealer: A preliminary study. *Journal of Endodontics* 40: 862-866.
245. De Bem IA, de Oliveira RA, Weissheimer T, Bier CAS, Só MVR, Rosa RA da (2020). Effect of ultrasonic activation of endodontic sealers on intratubular penetration and bond strength to root dentin. *Journal of Endodontics* 46: 1302-1308.
246. Mallmann A, Jacques LB, Valandro LF, Mathias P, Muench A (2005). Microtensile bond strength of light- and self-cured adhesive systems to intraradicular dentin using a translucent fiber post. *Operative Dentistry* 30: 500-506.
247. Kurtz JS, Perdigão J, Geraldeli S, Hodges JS, Bowles WR (2003). Bond strengths of tooth-colored posts, effect of sealer, dentin adhesive, and root region. *American Journal of Dentistry* 16: 31-36.
248. Jainan A, Palamara JEA, Messer HH (2008). The effect of a resin-based sealer cement on micropunch shear strength of dentin. *Journal of Endodontics* 34: 1215-1218.
249. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo MP, Ørstavik D (2003). Adhesion of endodontic sealers: Scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. *Journal of Endodontics* 29: 595-601.

250. Okşan T, Aktener BO, Sen BH, Tezel H (1993). The penetration of root canal sealers into dentinal tubules. A scanning electron microscopic study. *International Endodontic Journal* 26: 301-305.
251. Tay FR, Pashley DH (2001). Aggressiveness of contemporary self-etching systems. I: Depth of penetration beyond dentin smear layers. *Dental Materials* 17: 296-308.
252. Kremeier K, Fasen L, Klaiber B, Hofmann N (2008). Influence of endodontic post type (glass fiber, quartz fiber or gold) and luting material on push-out bond strength to dentin in vitro. *Dental Materials* 24: 660-666.
253. Machado R, da Silva Neto UX, Carneiro E, Fariniuk LF, Westphalen VPD, Cunha RS (2014). Lack of correlation between tubular dentine cement penetration, adhesiveness and leakage in roots filled with gutta percha and an endodontic cement based on epoxy amine resin. *Journal of Applied Oral Science* 22: 22-28.
254. Tedesco M, Chain MC, Felipe WT, Alves AMH, Garcia LDFR, Bortoluzzi EA, Cordeiro MR, Teixeira CS (2019). Correlation between bond strength to dentin and sealers penetration by push-out test and CLSM analysis. *Brazilian Dental Journal* 30: 555-562.
255. Vasiliadis L, Darling AI, Levers BGH (1983). The amount and distribution of sclerotic human root dentine. *Archives of Oral Biology* 28: 645-649.
256. Burke FM, Samarawickrama DYD (1995). Progressive changes in the pulpo-dentinal complex and their clinical consequences. *Gerodontology* 12: 57-66.
257. Van Huysen G (1960). The microstructure of normal and sclerosed dentine. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 10: 976-982.

8. EKLER

EK 1. ETİK KURUL ONAY BELGESİ

	T.C. KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ TIP FAKÜLTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU
Sayı: 24237859- <i>806</i> Konu:	16 Kasım 2021
Sayın; Dr. Öğr. Üyesi Tuğba KOŞAR Endodonti ABD	
"Eğitilmiş Kanallarda Farklı İrrigasyon Sistemlerinin Kök Kanal Patı Dentin Tübül Penetrasyonu ve Push-Out Bağlanma Dayanımı Üzerine Etkisinin İncelenmesi" başlıklı 2020/343 protokol numarasıyla daha önce onay almış olan tez çalışmanız ile ilgili etik kurula sunmuş olduğunuz dilekçede yer alan; Çalışmanın yönteminde hiçbir değişiklik yapılmadan molar diş sayısındaki yetersizlikten dolayı çekilmiş maksiller ve mandibular molar dişler yerine çekilmiş mandibular premolar dişler kullanılacaktır. Bu nedenle çalışma başlığının "Farklı İrrigasyon Sistemlerinin Kök Kanal Patı Dentin Tübül Penetrasyonu ve Push-Out Bağlanma Dayanımı Üzerine Etkisinin İncelenmesi" olarak değiştirilmesi talebiniz; Etik Kurul'un 16 Kasım 2021 tarihli toplantısında görüşülerek; toplantıya katılan üyelerin oy birliği ile uygun bulunmuştur. Bilgilerinize ve gereğini rica ederim.	
Prof. Dr. Faruk AYDIN Etik Kurul Başkanı	
61080 – Trabzon / TÜRKİYE Tel: +90 (462) 377 5403	Faks: +90(462)325 2270 Elektronik Adres: www.ktu.edu.tr
Ayrıntılı Bilgi İçin İrtibat Şerafettin YILMAZ e-posta: serafettinyilmaz@ktu.edu.tr	