



KUZEY KIBRIS TÜRK CUMHURİYETİ

YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İÇ KÖK REZORPSİYON KAVİTELERİNDEKİ KALSIYUM
HİDROKSİTİN FARKLI TEKNİKLERLE UZAKLAŞTIRILMA
ETKİNLİKLERİNİN MİKRO BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ
İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

DİLAN KIRMIZI

DOKTORA TEZİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Doç. Dr. UMUT AKSOY

2021 - LEFKOŞA



KUZEY KIBRIS TÜRK CUMHURİYETİ

YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İÇ KÖK REZORPSİYON KAVİTELERİNDEKİ KALSIYUM
HİDROKSİTİN FARKLI TEKNİKLERLE UZAKLAŞTIRILMA
ETKİNLİKLERİNİN MİKRO BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ
İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

DİLAN KIRMIZI

DOKTORA TEZİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Doç. Dr. UMUT AKSOY

2021 - LEFKOŞA

TEZ ONAYI

YDÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma jürimiz tarafından Endodonti Programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir. Tez savunması online (çevrim içi) yapılmıştır. Jüri üyeleri onaylarını sözlü olarak vermişlerdir. Tüm süreç elektronik ortamda kayıt altına alınmıştır.

Jüri Başkanı:

Prof. Dr. Yaşar Meriç TUNCA

Doğu Akdeniz Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD.

Danışman:

Doç. Dr. Umut AKSOY

Yakın Doğu Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD.

Üye:

Prof. Dr. Feridun ŞAKLAR

Ankara Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD.

Üye:

Prof. Dr. Kaan ORHAN

Ankara Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi AD.

Üye:

Yrd. Doç. Dr. Fatma KERMEOĞLU

Yakın Doğu Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD.

ONAY:

Bu tez, Yakın Doğu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim - Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla kabul edilmiştir.

Prof. Dr. K. Hüsnü Can BAŞER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmayla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim

Dilan KIRMIZI

TEŞEKKÜR

Tüm lisans ve doktora eğitimim boyunca tecrübelerini benden esirgemeyen, her zaman, her konuda ve özellikle tez çalışmamda da çok büyük desteğini gördüğüm, öğrencisi olduğum için her zaman onur duyduğum, bilgi ve başarılarını hep örnek aldığım kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Umut AKSOY'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çok yakın bir zamanda fakültemizdeki görevinden ayrılan, doktora eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve tez sınav jürisinde bulunan değerli hocam eski anabilim dalı başkanımız Prof. Dr. Yaşar Meriç TUNCA'ya; tez sınav jürisinde bulunan değerli hocam Prof. Dr. Feridun ŞAKLAR'a tezime olan katkıları ve harcadıkları değerli vakitleri için çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamda vermiş olduğu destekleri, yardımları ve yönlendirmeleriyle bu çalışmanın başarıyla sonuçlanmasındaki katkıları ve harcadığı değerli vakti için tez sınav jürisinde bulunan kıymetli hocam Prof. Dr. Kaan ORHAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Lisans ve doktora öğrenciliğim boyunca hep örnek aldığım ve kendisinden çok şey öğrendiğim, tez sınav jürisinde bulunan manevi ablam Yrd. Doç. Dr. Fatma KERMEOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Doktora eğitim hayatım boyunca beraber çalışmaktan mutluluk duyduğum, her zaman yanımda olan, desteklerini kalben hissettiğim çalışma arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Mohamad ABDULJALIL'e, Dt. Abdullah SEBAİ'ye ve diğer tüm çalışma arkadaşlarıma yardımları için çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda, attığım tüm adımlarda hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, bana olan güvenlerini ve inançlarını kaybetmeden her zaman yanımda olan, beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştiren ve bugün bu noktada olmamı sağlayan en büyük şansım, aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI

BEYAN

TEŞEKKÜR i

İÇİNDEKİLER ii

TABLolar DİZİNİ vi

RESİMLER DİZİNİ vii

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ix

ÖZET 1

ABSTRACT 2

1. GİRİŞ ve AMAÇ 3

2. GENEL BİLGİLER 6

2.1. Daimi Dış Rezorpsiyonları 6

2.1.1. Dış kök rezorpsiyonları 9

2.1.1.1. İnflamatuar dış kök rezorpsiyonu 9

2.1.1.2. Replasman (yer değiştirme) dış kök rezorpsiyonu 10

2.1.1.3. Servikal dış kök rezorpsiyonu 10

2.1.1.4. Yüzey dış kök rezorpsiyonu 11

2.1.1.5. Geçici apikal yıkım 11

2.1.2. İç kök rezorpsiyonları 12

2.1.2.1. Replasman (yer değiştirme) iç kök rezorpsiyonu 12

2.1.2.2. İnflamatuar iç kök rezorpsiyonu 13

2.1.2.3. İç kök rezorpsiyonlarının etiyolojisi ve patogenezi 13

2.1.2.4. İç kök rezorpsiyonlarının histolojik görünümü	17
2.1.2.5. İç kök rezorpsiyonlarının epidemiyolojisi ve prevalansı	18
2.1.2.6. İç kök rezorpsiyonlarının klinik özellikleri	19
2.1.2.7. İç kök rezorpsiyonlarında radyografik özellikler ve teşhis	20
2.1.2.8. İç kök rezorpsiyonlarının tedavisi	22
2.2. Kalsiyum Hidroksit ve Kalsiyum Hidroksitin İç Kök Rezorpsiyonlu Dişlere Etkisi	26
2.2.1. Kalsiyum hidroksitin kimyasal özellikleri	26
2.2.2. Kalsiyum hidroksitin etki mekanizması	27
2.2.2.1. Mineralizasyona etkisi	27
2.2.2.2. Antimikrobiyal etkisi	28
2.2.2.3. Biyofilm tabakasına etkisi	29
2.2.3. Kalsiyum hidroksitin dentin üzerine etkisi ve dentin kanallarına diffüzyonu	30
2.2.4. Kalsiyum hidroksit taşıyıcıları ve etkileri	31
2.2.5. Kalsiyum hidroksitin kök kanalından uzaklaştırılması	33
2.2.5.1. Kalsiyum hidroksit uzaklaştırılmasında kullanılan irrigasyon solüsyonları	34
2.3. Irrigasyon Solüsyonlarının Aktivasyonunda Kullanılan Teknikler	36
2.3.1. Manuel aktivasyon teknikleri	36
2.3.1.1. Konvansiyonel şırınga irrigasyonu	36
2.3.2. Cihaz destekli aktivasyon teknikleri	37
2.3.2.1. XP-endo finisher eğe	37
2.3.2.2. Sonik aktivasyon	38
2.3.2.3. Ultrasonik aktivasyon	40

2.3.2.4. Lazer ile aktivasyon teknikleri	41
2.3.2.4.1. Erbiyum, krom: itriyum-skandiyum-galyum-garnet lazer (Er,Cr:YSGG)	43
2.3.2.4.2. Erbiyum: itriyum alüminyum garnet lazer (Er:YAG)	44
2.3.2.4.2.1. Foton ile indüklenen fotoakustik dalgalanma (Photon induced photoacousticstreaming-PIPS)	45
2.3.2.4.2.2. Şok dalgası geliştirilmiş emisyon fotoakustik dalgalanma (Shock wave enhanced emission photoacoustic streaming-SWEEPS)	47
2.3.3. Diğer aktivasyon yöntemleri	49
2.3.3.1. Canal brush	49
2.3.3.2. EndoVac irrigasyon sistemi	50
2.3.3.3. Quantec-E irrigasyon sistemi	50
2.3.3.4. RinsEndo Sistem	50
2.4. Kök Kanallarında Kalan Kalsiyum Hidroksit Miktarını Belirleme Yöntemleri	51
2.4.1. Mikro bilgisayarlı tomografi (Mikro-BT)	51
3. GEREÇ ve YÖNTEM	53
3.1. Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması	53
3.2. Kalsiyum Hidroksit Medikamanının Uzaklaştırılması	57
3.2.1. Konvansiyonel şırınga irrigasyonu tekniği (KŞİ)	57
3.2.2. XP-endo finisher eğe tekniği (XP)	58
3.2.3. EndoAktivatör tekniği (EA)	58
3.2.4. Pasif ultrasonik irrigasyon tekniği (PUİ)	59
3.2.5. Er,Cr:YSGG lazerle aktivasyon tekniği (Er,Cr:YSGG)	60
3.2.6. Foton ile indüklenen fotoakustik dalgalanma tekniği (PIPS)	61

3.2.7. Şok dalgası geliştirilmiş emisyon fotoakustik dalgalanma tekniği (SWEEPS)	62
3.3. Mikro-BT Taraması	63
3.4. Görüntüleme Analizi	64
3.5. İstatistiksel Analiz	65
4. BULGULAR	66
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	71
KAYNAKLAR	86
EKLER	113

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 1. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan rezorpsiyon sınıflandırmaları.	8
Tablo 2. Farklı aktivasyon tekniklerinden önce değerlendirilen rezorpsiyon kavitesinin ortalama, medyan, minimum ve maksimum hacmi (mm ³).	66
Tablo 3. Farklı aktivasyon tekniklerinden önce değerlendirilen ortalama, medyan, minimum ve maksimum rezorpsiyon kavitesi yüzey alanı (mm ²).	66
Tablo 4. Farklı aktivasyon tekniklerinden sonra Kruskal-Wallis H testi ve Dunn's post-hoc testi ile değerlendirilen ortalama, medyan, minimum ve maksimum rezorpsiyon kavitesindeki artık kalsiyum hidroksit hacmi (mm ³).	67
Tablo 5. Farklı aktivasyon tekniklerinden sonra Kruskal-Wallis H testi ve Dunn's post-hoc testi ile değerlendirilen ortalama, medyan, minimum ve maksimum rezorpsiyon kavitesindeki artık kalsiyum hidroksit yüzey alanı (mm ²).	67
Tablo 6. Farklı aktivasyon tekniklerinden sonra Kruskal-Wallis H testi ve Dunn's post-hoc testi ile değerlendirilen rezorpsiyon kavitesindeki ortalama, medyan, minimum ve maksimum artık kalsiyum hidroksit materyalinin hacmi (%) (mm ³).	68
Tablo 7. Farklı aktivasyon tekniklerinden sonra Kruskal-Wallis H testi ve Dunn's post-hoc testi ile değerlendirilen rezorpsiyon kavitesindeki ortalama, medyan, minimum ve maksimum artık kalsiyum hidroksitin yüzey alanı (%) (mm ²).	69

RESİMLER DİZİNİ

Resim 1. Osteoklast hücresinin SEM görüntüsü.	14
Resim 2. Enjekte edilebilir kalsiyum hidroksit.	25
Resim 3. Örnek diş ve Eppendorf tüpü.	54
Resim 4. Örneklerin bukkal ve lingual yüzeylerinde su soğutulması altında elmas frezle hazırlanan oluk.	55
Resim 5. Bukko-lingual yönde vertikal olarak çekiç ve keski yardımıyla ikiye bölünen diş kökü.	55
Resim 6. Vertikal olarak ikiye bölünmüş kök yarımalarında oluşturulan simüle iç kök rezorpsiyon kaviteleri.	55
Resim 7. Simüle oluşturulan kavitenin boyutlarını ölçmek ve doğrulamak için alınan dijital radyografi.	56
Resim 8. Eppendorf tüplerine yerleştirilen tüm örnekler.	56
Resim 9. 27-gauge'luk Endo-Eze® 1 irrigator ucu.	57
Resim 10. FKG XP-endo Finisher Eğe.	58
Resim 11. Densply EndoAktivatör cihazı.	58
Resim 12. EMS endodontik ultrasonik uç.	59
Resim 13. Ultrasonik uç kanal duvarlarına temas etmeden pasif şekilde kanal içinde 1 dakikda boyunca 6. güç ayarında aktive edildi.	59
Resim 14. RFT3 Endolase lazer uç, Biolase.	60
Resim 15. RFT3 uç kanal ağzının 1 mm altında yerleştirilerek aktive edildi.	60

Resim 16. Kuvars PIPS 400/14 uç, Fotona.	61
Resim 17. Kuvars PIPS ucu kanalın koronal kısmına yerleştirilip aktive edildi.	61
Resim 18. SWEEPS 600 fiber uç, Fotona.	62
Resim 19. SWEEPS uç kök kanalının koronal kısmına yerleştirilerek aktive edildi.	62
Resim 20. Bruker Skyscan 1275 mikro-BT, Kontich, Belçika.	63
Resim 21. Numunelerin 5 dakikalık entegrasyon süresi içinde 360° döndürülmesi işlemi.	63
Resim 22. Çalışmada numuneleri analiz etmede kullanılan CTAn yazılımı.	64
Resim 23. Mikro BT taraması görüntülerinde (a) Rezorpsiyon boşluğuna sahip dişin eksenel görüntüsünü, (b) görüntülerdeki ROI seçimini, (c, d) thresholding'i göstermektedir. Siyahın kök kanalını, beyaz noktanın rezorpsiyon kavitesindeki boşluğu (e), son thresholding ve gri-seviye histogramı ile görüntünün ikilileştirilmesini göstermektedir.	65
Resim 24. Temsili bir numunenin kalsiyum hidroksit uzaklaştırma işleminin (a) öncesi ve (b) sonrası 3B mikro-BT rekonstrüksiyon.	70

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A Faz	A fazı, Östenitik Faz
+	Artı
±	Artı - Eksi
BaSO ₄	Baryum Sülfat
BT	Bilgisayarlı Tomografi
>	Büyüktür
ÇB	Çalışma boyu
×	Çarpı
cpm	Dakika başına sayım, Counts per Minute
°	Derece
°C	Derece Santigrat
—	Eksi
EA	EndoAktivatör
Er,Cr:YSGG	Erbium, Krom: İttriyum Skandiyum Galyum Garnet
Er:YAG	Erbium: İttriyum Alüminyum Garnet
=	Eşittir
HEDP	Etidronik Asit
EDTA-T	Etilen Diamintetra Asetikasit + % 1,25 Sodyum Lauret Eter Sülfat

EDTA-C	Etilen Diamintetra Asetikasit Cetavlon
EDTA	Etilen Diamintetra Asetikasit
gr	Gram
Hz	Hertz
(OH) ⁻	Hidroksil
2B	İki Boyut
Ca ⁺²	Kalsiyum
Ca (OH) ₂	Kalsiyum Hidroksit
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
CaO	Kalsiyum Oksit
CO ₂	Karbondioksit
kHz	Kilo Hertz
km	Kilometre
CHX	Klorheksidin
KİBT	Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
KŞİ	Konvansiyonel Şırınga İrrigasyonu
<	Küçüktür
LAİ	Lazerle Aktive İrrigasyon
M faz	Martensitik faz
MAF	Master apical file, Ana apikal eğe,
m/sn	Metre / saniye

Mikro-BT	Mikro bilgisayarlı tomografi
μm	Mikrometre
μs	Mikrosaniye
mA	Miliamper
mJ	Milijoule
ml	Mililitre
mm^2	Milimetre kare
mm^3	Milimetre küp
mm	Milimetre
MTA	Mineral Trioksit Agregat
nm	Nanometre
Nd:YAG	Neodimyum Katkılı İttriyum Alüminyum Garnet
N / cm	Newton / santimetre
NiTi	Nikel Titanyum
#	Numara
PIPS	Photon Induced Photoacoustic Streaming
	Foton ile İndüklenen Fotoakustik Dalgalanma
RANKL	Receptor Activator of Nuclear Factor Kappa-B Ligand, Nükleer Faktör-Kappa B reseptör Aktivatör Ligandı
RANK	Nükleer Faktör-Kappa B Reseptör Aktivatörü

RGD	Arginin-Glisin-Aspartik Asit
rpm	Revolutions per Minute, Dakikadaki Devir Sayısı
OPG	Osteoprotegerin
PUI	Pasif Ultrasonik İrrigasyon
kVp	Peak kilovoltage
sn	Saniye
n	Sayı
SEM	Scanning Electron Microscopy, Taramalı Elektron Mikroskobu
NaOCl	Sodyum Hipoklorit
H ₂ O	Su
SWEEPS	Shock Wave Enhanced Emission Photoacoustic Streaming, Şok Dalgası Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Dalgalanma
3B	Üç boyut
W	Watt
XP	XP-endo Finisher Eğe
%	Yüzde

İç Kök Rezorpsiyon Kavitelerindeki Kalsiyum Hidroksitin Farklı Tekniklerle Uzaklaştırılma Etkinliklerinin Mikro Bilgisayarlı Tomografi ile Değerlendirilmesi

Öğrencinin Adı: Dilan Kırmızı

Danışmanı: Doç. Dr. Umut Aksoy

Anabilim Dalı: Endodonti Anabilim Dalı

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, mikro-BT kullanılarak iç kök rezorpsiyon boşluğundan kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılması için irrigasyon solüsyonlarının farklı tekniklerle aktivasyon etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır.

Gereç ve Yöntemler: 70 adet tek kanallı mandibular premolar diş, uygulanacak tekniklere göre seçilerek 7 gruba (n = 10) ayrılmıştır: konvansiyonel şırınga irrigasyonu (KŞİ), pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ), EndoAktivatör (EA), XP -Endo Finisher ege (XP), Er,Cr:YSGG lazerle aktivasyon, PIPS ve SWEEPS. Kök kanalları bir döner ege sistemi kullanılarak enstrümente edilmiştir ve dikey olarak iki eşit parçaya bölünmüştür. İç rezorpsiyon boşlukları elmas rond frezlerle oluşturulmuş ve standardize edilmiştir. Daha sonra kök kanalı içerisine kalsiyum hidroksit yerleştirilmiştir. Tüm örnekler mikro-BT kullanılarak iki farklı aşamada değerlendirilmiştir. Simüle edilmiş boşluklardaki başlangıç ve artık kalsiyum hidroksit hacimleri hesaplanmıştır. Veriler, bir Kruskal-Wallis H testi kullanılarak analiz edilmiştir.

Bulgular: SWEEPS ve PIPS, EA, Er,Cr:YSGG, PUİ, XP ve KŞİ'dan anlamlı derecede daha etkili olduğu saptanmıştır (P < .05). SWEEPS ve PIPS grupları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (P > .05). KŞİ ve XP teknikleri en az etkili aktiviteyi göstermiştir (P < .05).

Sonuçlar: SWEEPS ve PIPS teknikleri, kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında EA, Er,Cr:YSGG, PUİ, XP ve KŞİ tekniklerinden daha etkili olduğu belirlenmiştir. Kullanılan tekniklerin hiçbiri kalsiyum hidroksiti rezorpsiyon kavitelerinden tamamen uzaklaştıramamıştır.

Anahtar Kelimeler: Lazerle aktive edilen irrigasyon, Er:YAG lazer, Fotoakustik dalgalanma, Kalsiyum hidroksit uzaklaştırılması, İç kök rezorpsiyonu, Mikro-BT.

Efficacy of Laser-activated Irrigation and Conventional Techniques in Calcium Hydroxide Removal from Simulated Internal Resorption Cavities: Micro-CT Study

Student Name: Dilan Kırmızı

Advisor Name: Assoc. Prof. Dr. Umut Aksoy

Department: Endodontics

ABSTRACT

Objective: This study aimed to evaluate the effectiveness of different irrigant-activation techniques for removing calcium hydroxide from an internal root canal resorption cavity by using micro-CT.

Materials and Methods: 70 single-canal mandibular premolar teeth were selected and divided into 7 groups (n=10) according to the techniques to be used: syringe irrigation (SI), passive ultrasonic irrigation (PUI), EndoActivator (EA), XP-Endo finisher file (XP), Er,Cr:YSGG laser-activated irrigation, PIPS, and SWEEPS. The root canals were instrumented using a rotary system and divided vertically. Internal resorption cavities were created and standardized through diamond burs. Calcium hydroxide was placed into the root canal space. All specimens were evaluated using micro-CT in two different periods. The initial and residual calcium hydroxide volumes in the simulated cavities were calculated. Data were analyzed using a Kruskal-Wallis H test.

Results: SWEEPS and PIPS were significantly more effective than EA, Er,Cr:YSGG, PUI, XP, and SI ($P<.05$). There was no significant difference between the SWEEPS and PIPS groups ($P>.05$). SI and XP showed the least effective activity ($P<.05$).

Conclusions: The SWEEPS and PIPS techniques were more effective than the EA, Er,Cr:YSGG, PUI, XP, and SI techniques, in removing calcium hydroxide. None of the techniques used entirely removed the calcium hydroxide from the resorption cavities.

Keywords: Laser-activated irrigation, Er:YAG laser, Photoacoustic streaming, Calcium hydroxide removal, Internal root resorption, Micro-CT

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Kök kanal tedavisinde en önemli prosedürlerden biri kanal sisteminin kemomekanik hazırlanmasıdır (Lee ve ark., 2004). Genellikle dört ardışık ilke uygulanmaktadır: iyi bir şekilde enstrümantasyon, etkin bir irrigasyon, kanal içinin dezenfeksiyonu ve sızdırmaz bir şekilde tıkama. Bu işlemlerin herhangi birinin eksik uygulanmasının potansiyel olarak tedavi sonucunu etkileyebileceği düşünülmektedir (Chubb, 2019). Kök kanalı kompleks bir yapıya sahiptir; bu nedenle kanal içi apikal deltalar, istmuslar, lateral kanallar ve iç kök rezorpsiyonu gibi düzensizlikler kanalın preparasyonunu zorlaştırabilmektedir (Haapasalo ve ark., 2010).

Kök rezorpsiyonu, inflamatuvar hücrelerin osteoklastik aktivitesinin bir sonucu olarak diş sert dokularının kaybıdır (Patel ve Pitt, 2007; Keskin ve ark., 2017). Kök rezorpsiyonları fizyolojik veya patolojik nedenlerle ortaya çıkabilir. Primer dentisyon döneminde kök rezorpsiyonu, rezorpsiyonun erken gerçekleşmesi durumu dışında normal, fizyolojik bir süreçtir (Bille ve ark., 2008). Primer dentisyon dönemindeki fizyolojik kök rezorpsiyonunda rol oynayan başlangıç faktörleri tam olarak anlaşılamamasına rağmen, sürecin sitokinler ve kemiğin yeniden şekillenmesinde rol alan transkripsiyon faktörleri tarafından meydana geldiği düşünülmektedir (Harokopakis-Hajishengallis, 2007). Yaşam boyunca sürekli fizyolojik olarak yeniden yapılanmaya maruz kalan kemiğin aksine, daimi dişlerin kök rezorpsiyonu doğal bir süreç değildir ve her zaman inflamasyonun eşlik ettiği patolojik bir durumdur. Bu nedenle tedavi edilmezse, etkilenen dişlerin erken kaybına neden olabilmektedir (Patel ve ark., 2010).

Kök rezorpsiyonları, rezorpsiyon boşluğunun konumuna göre iç (internal) veya dış (ekstrenal) olarak sınıflandırılabilir (Frank ve Torabinejad, 1998). İnternal kök rezorpsiyonları, kronik enfeksiyonlar, travma veya pulpa hücrelerinin inflamatuvar reaksiyonları gibi bazı nedenlerle ortaya çıkmaktadır. İnternal kök rezorpsiyonları genellikle asemptomatiktir ve radyografik inceleme sırasında teşhis edilirler (Patel ve ark., 2010). İnternal kök rezorpsiyonu, erken evrelerinde, kök kanal tedavisiyle rezorpsiyonun kaynağı olan granülasyon dokusu uzaklaştırıldığında iyi bir prognoza sahiptir (Ne ve ark., 1999; Patel ve ark., 2010).

Rezorpsiyon kavitesinin düzensizliği, tedavi sırasında kanal aletlerinin tüm kanal duvarlarına temas edememesinden dolayı kök kanalının etkili temizliğini ve sızdırmaz tıkamayı zorlaştırır (Patel ve ark., 2010; Topçuoğlu ve ark., 2014). Kanal içi granülasyon dokusunun tamamen uzaklaştırılamaması, kanal dolgu materyalini ile kanal duvarları arasındaki bağlantıyı olumsuz etkileyerek bakteri sızıntısına neden olmaktadır (Lee ve ark., 2004). Bu sebeple, kanal içi irrigasyon solüsyonunun rezorpsiyon kavitesi içerisine nüfuz ederek granülasyon dokusu ve kanal içi debrisin uzaklaştırılması için uygulanacak protokoller önem arz etmektedir (Patel ve ark., 2010; Topçuoğlu ve ark., 2014). Konvansiyonel kemomekanik preparasyon yöntemlerinin kısıtlılıkları nedeniyle kanal içi antimikrobiyal ilaçların ve irrigasyon solüsyonlarının kullanımı ve bu ajanların daha ileri tekniklerle aktivasyonuna başvurulmaktadır (Siqueira ve ark., 2002).

Kalsiyum hidroksit [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], temel olarak, çözündükten sonra yüksek pH değeri (yaklaşık 12,5), antibakteriyel ve antiinflamatuvar özellikleri nedeniyle kanal içi ilaç olarak yaygın kullanılmaktadır (Athanassiadis ve ark., 2007). Kalsiyum hidroksitin kanal duvarından uzaklaştırılabilmesi için birçok irrigasyon solüsyonu ve bu solüsyonların aktivasyonu için cihazlar kullanılmıştır. Bunun yanında en sık kullanılan teknik master apikal eğe ile kök kanalının tekrardan şekillendirilerek, sodyum hipoklorit (NaOCl) ve etilen diamintetra asetik asit (EDTA) ile devamlı irrigasyon yapılmasıdır (Lambrianidis ve ark., 2006; Balvedi ve ark., 2010). Avantajlarına rağmen, düzensiz kök kanal duvarlarında artık kalsiyum hidroksit varlığı, kök kanal patının dentin tübüllerine adezyonunu etkileyebilir ve yapılan tedavinin başarısız olmasına neden olabilmektedir (Taşdemir ve ark., 2011). Bu nedenle, kök kanallarını doldurmadan önce kalsiyum hidroksitin kanal duvarlarından tamamen uzaklaştırılması gerekmektedir (Çalt ve Serper, 1999; Keleş ve ark., 2016).

İrrigasyon solüsyonlarının kanal içine ulaştırılması ve solüsyon aktivasyon sistemlerinin geliştirilmesi konusunda endodonti tarihi boyunca pek çok çalışma yapılmıştır (de Groot ve ark., 2009). Günümüz teknolojisinin gelişmesiyle, irrigasyon aktivasyonu sonik, ultrasonik ve lazer enerjisi kullanılarak yapılabilmektedir (Gu ve ark., 2009). Fakat bunun yanı sıra, kalsiyum hidroksitin kök kanal duvarlarından tamamen uzaklaştırılmasında farklı irrigasyon solüsyonlarının ve aktivasyon

tekniklerinin yetersizliği de çeşitli araştırmalarda bildirilmiştir (Arslan ve ark., 2012; apar ve ark., 2014). Özellikle i kök rezorpsiyon vakalarında mevcut olan rezorpsiyon boşluğunun, kalsiyum hidroksitin kanal içerisinden uzaklaştırılmasında ilave bir zorluğa sebebiyet verdiği bilinmektedir (Keskin ve ark., 2017).

Üç boyutlu (3B) görüntüleme yöntemlerinin iki boyutlu görüntüleme yöntemlerine göre tanı ve teşhis açısından daha değerli olduğu kanıtlanmıştır (Fnyad ve ark., 2015). Yüksek çözünürlükte görüntülenen doku örneklerinde doğru bir şekilde modelleme yapmak, analiz etmek, ayrıca hacmi segmentasyonu ve hacim ölçümü de dahil olmak üzere üç boyutlu görüntü analizi için 3B görüntülemeler tercih edilmektedir. Mikro Bilgisayarlı tomografi (mikro-BT), kaya ve metal gibi yoğun malzemelerin X ışını azaltıcı özelliklerinden dolayı yüksek kalitede görüntüleme teknolojisi olarak uzun zamandır kullanılmaktadır. (Senter-Zapata ve ark., 2016). Mikro-BT'nin endodontide kullanımı ile kök kanallarının iç yapısının yüksek çözünürlükte üç boyutlu değerlendirilmesini sağlamak ve hatta farklı kök kanal dolgularında ve tekniklerinde boşluk hacminin varlığını analiz etmek mümkün olmuştur (elikten ve ark., 2015; Huang ve ark., 2017).

Bu nedenle yapılan bu tez çalışmasının amacı, simüle edilmiş kanal içi rezorpsiyon boşluğunda kalan kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında kullanılan farklı irrigasyon tekniklerinin etkinliğini mikro-BT kullanımıyla araştırarak, ideal uzaklaştırma tekniğinin belirlenmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Daimi Diş Rezorpsiyonları

Genel olarak kök rezorpsiyonu, osteoklast hücrelerinin aktivasyonu sonucu diş sert dokularının (dentin, sement veya alveolar kemik gibi) fizyolojik ya da patolojik olarak yıkımıdır (Patel ve Pitt, 2007). Primer dentisyonda oluşan rezorpsiyon fizyolojik bir süreç iken, daimî dentisyondaki dişlerin rezorpsiyonu ise patolojik bir durum olarak kabul edilmektedir (Patel ve ark., 2010).

1830'dan beri kök rezorpsiyonlarından endodontik bir problem olarak bahsedilmektedir (Bell, 1830). Bu nedenle diş rezorpsiyonlarının etiolojisinin yanı sıra klinik belirtileri, histolojik ve radyografik görünümü ve patolojik rezorpsiyon sürecinin tedavisi ayrıntılı olarak birçok araştırmacı tarafından tanımlanmıştır (Lyroudia ve ark., 2002). Mekanik, kimyasal veya termal yaralanma dahil olmak üzere çeşitli yaralanmalardan sonra kök rezorpsiyonu oluşabilmektedir. Daimî dişlerde; travma, pulpa ya da periodontal dokuların veya her ikisinin kronik iltihabı, ortodontik diş hareketleri, tümörler, diş sürmesi veya diş beyazlatma gibi etkenler sebebiyle periodontal ligamentte oluşan basınç sonucu rezorpsiyonlar görülebilmektedir (Fuss ve ark., 2003). Kök rezorpsiyonları genellikle, iç veya dış kök rezorpsiyonu olarak iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (<http://www.aae.org/glossary/>, Erişim tarihi: Mart 2020).

Kök yüzeyinin dış kısmında başlayıp periodontal ligament, sement ve dentini içine alacak şekilde ilerleyen rezorpsiyonlar dış kök rezorpsiyonu, pulpa boşluğundan başlayıp primer olarak dişin iç yüzeyindeki dentin tabakasını etkileyen rezorpsiyonlar iç kök rezorpsiyonu olarak adlandırılmaktadır. Yüzeyel kök rezorpsiyonunun hafif seyretmesi haricindeki olgularda dişteki doku kaybının geri dönüşü yoktur (Andreasen, 1986).

Dış kök rezorpsiyonu ile karşılaştırıldığında, iç kök rezorpsiyonu nispeten daha nadir bir durumdur ve etiyojisi ve patogenezi tam olarak aydınlatılamamıştır. Bununla birlikte, iç kök rezorpsiyonunun teşhisinin sıklıkla dış servikal rezorpsiyon

ile karıştırılması sebebiyle klinisyen açısından daha zor olduğu düşünülmektedir (Haapasalo ve Endal, 2006; Patel ve ark., 2009b). Yanlış tanı bazı vakalarda uygun olmayan tedaviye neden olabilmektedir. Bu nedenle hastalıkların sınıflandırılması doğru teşhis ve tedavi açısından önem taşımaktadır (Heithersay, 2007).

Diş rezorpsiyonlarının sınıflandırılmasında en çok kabul gören Andreasen (1970) tarafından önerilen sınıflandırmadır. Ancak, yapılan çalışmalar sonucunda tüm rezorptif süreçlerin bu sınıflandırmaya dâhil olmaması düşüncesiyle yeni sınıflandırmalara ihtiyaç duyulmuştur (Tablo 1).

Lindskog ve ark. (1985) tarafından yapılan sınıflandırmada kök rezorpsiyonları travma kaynaklı kök rezorpsiyonları, enfeksiyon kaynaklı kök rezorpsiyonları ve hiperplastik invaziv kök rezorpsiyonları olarak 3 farklı gruba ayrılmış; sebebi bilinmeyen kök rezorpsiyonları ise idiopatik rezorpsiyonlar olarak değerlendirilmiştir (Lindskog ve ark., 1985).

Fuss ve ark. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada rezorpsiyonlar; pulpal enfeksiyona bağlı rezorpsiyonlar, periodontal enfeksiyona bağlı rezorpsiyonlar, ortodontik kuvvetlere bağlı rezorpsiyonlar, gömülü diş ve kistlere bağlı rezorpsiyonlar ve ankiloz olarak 5 farklı grupta sınıflandırılmıştır (Fuss ve ark., 2003).

Her kategori arasında basit ve net bir ayırım yapması ve bu nedenle klinik yönetim için pratik bir kılavuz olmasından dolayı Patel ve Saberi (2018) tarafından kök yüzeyi konumuna bağlı olarak kök rezorpsiyonları iç ve dış kök rezorpsiyonları olarak iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Bundan dolayı çalışmamızda da güncel olan bu sınıflandırma tercih edilmiştir.

Tablo 1. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan rezorpsiyon sınıflandırmaları.

Araştırmacılar	Yıl	Sınıflama
Andreasen	1970	1. İç Kök Rezorpsiyonu a. İnflamatuar b. Yer Değiştirme 2. Dış Kök Rezorpsiyonu a. İnflamatuar b. Servikal c. Yer Değiştirme d. Yüzey
Lindskog	1985	1. Travma Kaynaklı Kök Rezorpsiyonu a. Yüzey b. Geçici Apikal İç Kök c. Basınç d. Ortodontik e. Yer Değiştirme 2. Hiperplastik İnvaziv Rezorpsiyonu a. İç Kök İnvaziv (Yer Değiştirme) b. İnvaziv Koronal c. İnvaziv Servikal 3. Enfeksiyon Kaynaklı Kök Rezorpsiyonu a. Dış İnflamatuar b. Kombine İç-Dış İnflamatuar c. İnflamatuar İç Kök i. Apikal ii. İntrradiküler
Tronstad	1988	1. Geçici İnflamatuar Rezorpsiyon 2. Progresif İnflamatuar Rezorpsiyon 3. İç Kök Rezorpsiyonu 4. Dış Kök Rezorpsiyonu a. Progresif İnflamatuar b. Servikal c. Dento-alveolar Ankiloz d. Yer Değiştirme
Heithersay	1994	1. Travma Kaynaklı Kök Rezorpsiyonları a. Geçici Apikal İç Kök b. Yüzey c. Basınç ve Ortodontik d. Yer Değiştirme 2. Enfeksiyon Kaynaklı Kök Rezorpsiyonları a. İç İnflamatuar b. Dış İnflamatuar c. Kombine İç-Dış İnflamatuar 3. Hiperplastik İnvaziv Rezorpsiyon a. İç İnvaziv (Yer Değiştirme) b. İnvaziv Koronal c. İnvaziv Servikal
Benenati	1997	1. İç Kök Rezorpsiyonu a. Yer Değiştirme b. İç İnflamatuar 2. Dış Kök Rezorpsiyonu a. Dış Yüzey b. Dış İnflamatuar i. Servikal ii. Apikal c. Ankiloz d. Dış Yer Değiştirme 3. Geçici Apikal Yıkım 4. Kombine İç-Dış Rezorpsiyon
Gunraj	1997	1. İç Kök Rezorpsiyonu 2. Travmatik Yaralanmalarla İlişkili Dış Kök Rezorpsiyonu a. Yüzey b. İnflamatuar c. Yer Değiştirme 3. Pulpa Nekrozu ve Periradiküler Lezyon Nedeniyle Dış Kök Rezorpsiyonu 4. Periodontal Ligamentteki Basınç Nedeniyle Dış Kök Rezorpsiyonu a. Tümörler b. Kistler c. Ortodonti d. Gömülü Dişler) 5. Servikal Kök Rezorpsiyonu
Benítez ve ark.	2002	1. İç Dentin Rezorpsiyonu a. Travma ve Basınç b. İnfektif c. Sistemik veya İdiyopatik Nedenli Enfeksiyon 2. Dış Sement / Dentin Rezorpsiyonu a. Travma ve Basınç b. İnfektif c. Sistemik veya İdiyopatik Nedenli Enfeksiyon
Fuss	2003	1. Pulpal Enfeksiyon Kaynaklı Rezorpsiyon 2. Periodontal Enfeksiyon Kaynaklı Rezorpsiyon 3. Ortodontik Basınç Kaynaklı Rezorpsiyon 4. Gömülü Diş veya Tümör Basıncı Kaynaklı Rezorpsiyon 5. Ankilotik Kök Rezorpsiyonu
Patel ve ark.	2009b	1. İç Kök Rezorpsiyonu a. Yüzey b. İnflamatuar c. Yer Değiştirme d. Servikal e. Geçici Apikal 2. Dış Kök Rezorpsiyonu a. Yüzey b. İnflamatuar c. Yer Değiştirme d. Servikal e. Geçici Apikal
Santos ve ark.	2011	1. Yüzey Kök Rezorpsiyonu 2. Yer Değiştirme Rezorpsiyonu 3. İnflamatuar Kök Rezorpsiyonu 4. Atipik Rezorpsiyon
Patel ve Saberi	2018	1. İç Kök Rezorpsiyonu a. İnflamatuar b. Yer Değiştirme 2. Dış Kök Rezorpsiyonu a. İnflamatuar b. Yer Değiştirme c. Servikal d. Yüzey e. Geçici Apikal Yıkım

2.1.1. Dış kök rezorpsiyonları

2.1.1.1. İnflamatuar dış kök rezorpsiyonu

Genel olarak inflammatuar dış kök rezorpsiyonları, (Patel ve ark., 2021) kök kanal sisteminin enfekte olarak bakterilerle kontamine olması sonucunda (Abbott, 2016) veya avülse diş replantasyonu (Andreasen ve ark., 1966) ve dental lüksasyon (Andreasen ve ark., 1985) gibi travmatik yaralanmaların ardından, ikincil enfeksiyonun gelişmesi ile karakterize, diş kökünün dış yüzeyini etkileyen bir rezorpsiyon türüdür (Heithersay, 2007). Sementde mekanik hasar meydana gelerek kökün dış yüzeyinin rezorpsiyonu sonucu bir miktar sement kaybolabilmektedir (Abbott, 2016).

Dış kök rezorpsiyonlarında, inflammatuar yanıt doğası gereği kronik olduğundan, enfeksiyon akut hale gelmedikçe genellikle asemptomatiktir. Radyografik olarak inflammatuar dış kök rezorpsiyonu hem diş kökündeki hem de kemik dokuda çanak benzeri radyolüsensi ile teşhis edilebilmektedir (Andreasen ve ark., 1966; Andreasen ve ark., 2002). Rezorpsiyon alanında lamina duranın tamamen kaybı görülmektedir. İlk radyografik belirtiler periodontal dokuları içeren bir travmatik yaralanmadan 3 ila 4 hafta sonra görülebilir ve eğer rezorpsiyon gelişecekse, inflammatuar dış kök rezorpsiyonunun belirtileri genellikle en geç yaralanmadan sonraki 1 yıl içinde ortaya çıkmaktadır (Patel ve ark., 2021). Potansiyel olarak ani bir başlangıcı olan ilerleyici bir durumdur ve hızla ilerleyebilir. Bazı vakalarda diş tedavi edilmezse birkaç ay içinde kök yüzeyinin tamamı rezorbe olabilmektedir (Andreasen ve ark., 1966; Andreasen ve ark., 2002). Sonuç olarak bu durum diş kaybına neden olabilecek bir agresif rezorpsiyon türüdür.

Bununla birlikte, çoğu durumda inflammatuar dış kök rezorpsiyonu doğru tedavi ile durdurulabilmektedir. Enfeksiyonun neden olduğu diğer rezorpsiyon formlarında olduğu gibi, tedavi kök kanal sisteminin kapsamlı preparasyon ve dezenfeksiyonunu içermektedir (Heithersay, 2007).

Banica ve ark. (2018), tarafından yetişkin popülasyondaki kök rezorpsiyon prevalansı üzerine yapılan bir çalışmada % 58,4 inflammatuar dış kök rezorpsiyonuna rastlanılmıştır. Marinescu ve ark. (2019) dijital panoramik radyografi kullanarak farklı

tür rezorpsiyon türlerinin teşhisi üzerine yapılan bir çalışmada en fazla rastlanılan rezorpsiyon türünün inflamatuvar dış kök rezorpsiyonu olduğunu bildirmişlerdir.

2.1.1.2. Replasman (yer değiştirme) dış kök rezorpsiyonu

Diş yapısının alveolar kemik ile kademeli olarak yer değiştirmesini ve bunun sonucunda da diş kaybını içermektedir. Yer değiştirme rezorpsiyonu genellikle avülse olmuş bir dişin geç replantasyonu vakalarında periodontal ligament hücrelerinin ölümünü takiben görülür (Heithersay, 2007).

Ağır travma vakalarında kök yüzeyi kemik dokusunu oluşturan hücreler tarafından sarılabilmekte ve ankiloz olarak adlandırılan durum meydana gelmektedir. Bazı durumlarda kök tamamen yok olup yerini kemik dokusu alabilmektedir. Nadir olarak sağlam bir sement tabakası biyolojik bir bariyer görevi görebilmekte, böylece ankiloz gelişimi gözlenmemekte ve semental bir iyileşme yüzeyi oluşmaktadır (Lindskog ve ark., 1985).

Banica ve ark. (2018), tarafından yapılan çalışmada en sık görülen ikinci rezorpsiyon türünün replasman dış kök rezorpsiyonu olduğu bildirilmiştir.

2.1.1.3. Servikal dış kök rezorpsiyonu

Servikal dış kök rezorpsiyonları aynı zamanda invaziv servikal rezorpsiyon, supraosseöz ekstrakanal invaziv rezorpsiyon, periferik inflamatuvar kök rezorpsiyonu veya subepitelyal eksternal kök rezorpsiyonu olarak da anılırlar (Patel ve ark., 2021). Bu tür rezorpsiyonlar genellikle servikal bölgede dişin epitelyal ataçmanının hemen altında meydana gelmektedirler (Espona ve ark., 2018). Lezyon dentin boyunca uzanır, ancak kök kanalı genellikle etkilenmez. Tek başına veya kombinasyon halinde ortaya çıkabilen travma, ortodontik tedavi ve intrakoronal ağartma gibi potansiyel predispozan faktörler tanımlanmış olmasına rağmen invaziv servikal rezorpsiyonların nedeni tam olarak bilinmemektedir (Heithersay, 2007).

Servikal dış kök rezorpsiyonlarının olağan bir radyografik görünümü yoktur. Lezyon, dişin servikal bölgesinde düzgün veya düzensiz sınırlı olabilmektedir.

Radyografik görünüm, rezorptif kaviteyi kaplayan fibro-osseöz ve fibrovasküler dokunun lokasyonuna ve invazyon miktarına bağlıdır. Tüm servikal dış kök rezorpsiyonları, genellikle etkilenen dişin veya dişlerin servikal bölgesinde, ancak bununla sınırlı olmayan, değişen radyodensitede bir radyolüsensi olarak görüntü verir (Patel ve ark., 2021).

Bu tip lezyonların tedavisi için standart bir protokol bulunmamaktadır. Espona ve ark. (2018) tarafından rezorpsiyonun konumuna bağlı olarak üç farklı tedavi yaklaşımı önerilmiştir. İlk yaklaşım, flep kaldırılıp rezorpsiyon alanına dışsal erişimin sağlanması; ikinci yaklaşım, küçük bir giriş kavitesi açılarak içsel olarak geniş rezorpsiyon alanına ulaşılması ve üçüncü yaklaşım ise ilgili dişin çekimi veya replantasyonu olarak önerilmiştir (Espona ve ark., 2018).

2.1.1.4. Yüzey dış kök rezorpsiyonu

Genellikle küçük bir miktar dentin dahil olmak üzere sementin sığ resorpsiyonu olan yüzey resorpsiyonu, travmanın neden olduğu (enfektif olmayan) rezorpsiyonun en basit şeklidir. Bu tür rezorpsiyonlar kendi kendini sınırlayan geçici bir süreci ifade eder ve bazı travmatik yaralanmaları veya ortodontik tedaviyi takip ederler.

Kök morfolojisinde hiç değişiklik olmaması veya çok az değişiklik olabilmesi, periodontal membran ve ilişkili lamina durada bozulma olmaması nedeniyle yüzey resorpsiyonunun radyografik olarak teşhisi çoğu vakada mümkün değildir (Heithersay, 2007).

2.1.1.5. Geçici apikal yıkım

Geçici apikal yıkım, ilk olarak Andreasen ve Pedersen (1985) tarafından tanımlanmış, travmaya bağlı enfektif olmayan kök rezorpsiyonunun bir türüdür. Bu resorptif süreç, lüksasyon yaralanmalarını takip ederek geçici bir apikal bozulma ile ilişkilidir (Heithersay, 2007). Bu durumu her zaman yüzey rezorpsiyonu ve / veya kök kanalının tıkanması izlemektedir (Ne ve ark.,1999). Radyografik olarak birkaç ay içinde sınırlı bir periapikal radyolüsensiyle fark edilmektedir (Heithersay, 2007; Patel ve Saberi, 2018).

Travmatize olmuş pulpanın iyileşmesine yardımcı olmak için geniş bir vasküler ağ oluşumu sağlanır. Pulpa içi kanamaya bağlı olarak dişte renk değişikliği gözlemlenmektedir. Koronal pulpa odasına revaskülarizasyon ile bu durum kendiliğinden düzelebilir. Uzun vadede, bu süreç geçici olduğundan, apikal kısımdaki rezorpsiyon alanı 12 ay içinde normale dönmektedir (Andreasen, 1986; Heithersay, 2007; Patel ve Pitt, 2007).

2.1.2. İç kök rezorpsiyonları

İç kök rezorpsiyonları, dişin pulpa dokusundan kaynak alan ve kök kanal duvarını etkileyen bir kök rezorpsiyon tipidir (Andreasen ve Andreasen, 1992). Bu tür rezorpsiyonlar, replasman iç kök rezorpsiyonu ve inflamatuvar iç kök rezorpsiyonu olarak iki alt türde sınıflandırılmaktadır. Her iki tür iç kök rezorpsiyonun özellikleri büyük ölçüde benzer olduğundan, bu türler birlikte tartışılmaktadır.

2.1.2.1. Replasman (yer değiştirme) iç kök rezorpsiyonu

Bu tür rezorpsiyonlar, travma veya dişe aşırı ısı uygulanması sonucu, odontoblastik tabakanın ve predentinin olmadığı veya hasar gördüğü bir bölgedeki kronik inflamasyon neticesinde oluşmaktadır. Genellikle kronik geri dönüşümsüz pulpitis veya kısmi nekroz gibi pulpa dokusunun düşük dereceli irritasyonundan kaynak alırlar. Kök kanalındaki replasman rezorpsiyonu, dentin dokusunun rezorbe olarak yerini kemik veya sement benzeri sert dokuya bırakması sürecini içermektedir (Ne ve ark.,1999).

Replasman iç kök rezorpsiyonları tipik olarak asemptomatiktir ve etkilenen dişler termal veya elektrikli pulpa testine normal sınırlar içinde yanıt verebilmektedir. Dişin kök veya kron kısmındaki perforasyon sonucu durum semptomatik hale gelebilmektedir. Radyografik olarak, kanal boşluğunda oval şekilli radyolüsent bir genişleme görünür (Heithersay, 2007). Bu boşluk daha sonra düzensiz radyoopak bir yapı ile dolmakta ve kısmi kanal obliterasyonu görünümü vermektedir (Patel ve ark., 2010).

2.1.2.2. İnflamatuar iç kök rezorpsiyonu

İnflamatuar iç kök rezorpsiyonu, fiziksel veya kimyasal irritasyona bağlı travma veya kronik pulpa iltihabına bağlı bakteriyel enfeksiyon sonucunda meydana gelebilmektedir (Patel ve Saberi, 2018). Bu tip rezorpsiyonlar genellikle asemptomatiktir ve rutin radyografilerde teşhis edilmektedir. Lezyon önemli ölçüde ilerleyene kadar fark edilmeyebilir (Wedenberg ve Lindskog, 1985).

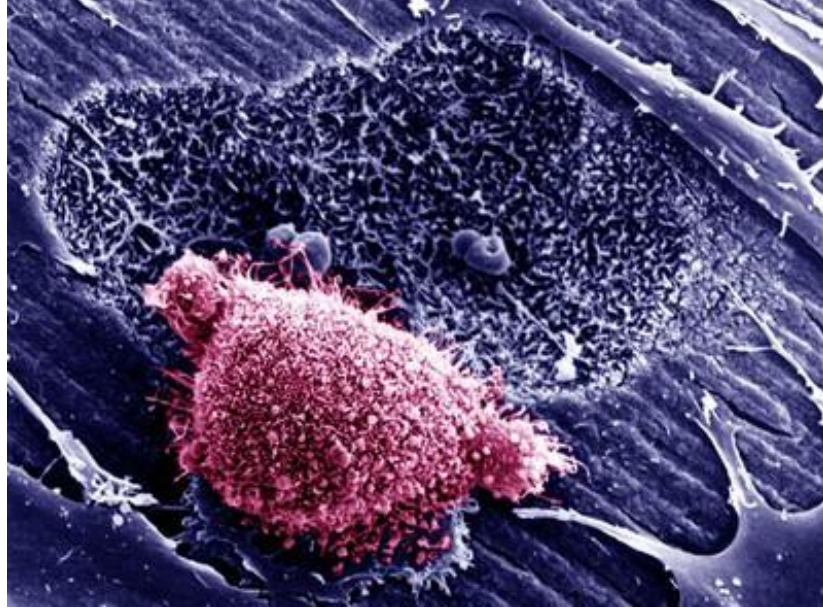
Pulpa dokusunun enfeksiyonu ve takiben nekrozu ile birlikte akut veya kronik apikal periodontitis semptomları görülebilmektedir (Frank ve Weine, 1973). Aktif progresif bir inflammatuar iç kök rezorpsiyonda, koronal kök kanal pulpası nekrotik olurken, canlı apikal pulpa, rezorptif kavitenin ilerlemesini sağlayan odontoklastların beslenmesinden sorumludur. Ancak diş canlılığını tamamen yitirirse rezorpsiyonun ilerlemesi durur. Fakat diş canlılığını yitirir ise rezorpsiyon durmaktadır (Patel ve Saberi, 2018).

2.1.2.3. İç kök rezorpsiyonlarının etiyolojisi ve patogenezi

Genel olarak iç kök rezorpsiyonu, kan yoluyla klastik hücrelerin pulpa boşluğuna ulaşması ve bu hücrelerin etkinliğinin bir sonucu olarak pulpal dokunun iltahaplanması ile oluşan ve dentin kaybıyla karakterize patolojik bir olaydır (Nilsson ve ark., 2013). Osteoklastlar, kemik rezorpsiyonundan sorumlu, hareketli, çok çekirdekli dev hücrelerdir (Resim 1). Kemik öncü hücrelerinden meydana gelen osteoblastlar ve osteositlerin aksine osteoklastlar, dalak veya kemik iliğinden türetilmiş monosit-makrofaj ailesinden olan mononükleer öncü hücrelerinden köken almaktadırlar (Soltanoff ve ark., 2009). Birçok proinflammatuar sitokin salgılamasıyla hasarlı bölgeye ulaşmaktadırlar. Osteoklastlar fonksiyonlarını yerine getirmek için kemik yüzeyine tutunurlar.

Yapılan bazı çalışmalarda osteoklastların polaritesinin aktin hücre iskeleti ile düzenlendiği gösterilmiştir (Saltel ve ark., 2008). Mineralize hücre dışı matrislerle temas halinde ve aktif olan bir osteoklastın aktin sitoskeletonu, sert doku yüzeyi ile yakın temas sağlaması için osteoklastın hücre membranı ile ilişkili organelden fakir (clear zone) alanı oluşturur. Bu alanı, hücre zarının parmak benzeri çıkıntıları

(podozomlar) çevreler. Bu hücre zarının altında kemik rezorpsiyonu meydana gelmektedir. Bu nedenle, organelden fakir bölge içindeki rezorptif alan, hücre dışı ortamdan izole edilir ve sert dokuların rezorpsiyonu için asidik bir mikro ortam yaratmaktadır (Patel ve ark., 2010).



Resim 1. Osteoklast hücresinin SEM görüntüsü.

(<https://classic.europeana.eu/portal>, Erişim tarihi: 9 Haziran 2019)

Odontoklastlar diş sert dokularını rezorbe eden hücrelerdir ve morfolojik olarak analog osteoklastlardır (osteoklastlara benzer hücreler) ve benzer enzimatik özelliklere sahiptirler (Fernandes ve ark., 2013). Odontoklastlar, muhtemelen rezorpsiyon substratlarındaki farklılıklar nedeniyle, boyut olarak daha küçük, daha az çekirdeğe ve daha küçük sızdırmazlık bölgelerine sahip olarak osteoklastlardan farklıdır. Osteoklastlar ve diş rezorbe eden birçok hücrenin (dentinoklastlar, odontoklastlar ve sementoklastlar) tam olarak aynı hücre olup olmadığı bilinmemektedir, ancak birtakım benzerlikler vardır. Osteoklastlar ve odontoklastlar hedef dokularını benzer şekilde rezorbe etmektedirler. Her iki hücre de benzer enzimatik özelliklere sahiptir ve her ikisi de mineralize dokuların yüzeyinde Howship lakunası adı verilen rezorpsiyon sahaları oluşturmaktadırlar (Patel ve ark., 2010).

Mononükleer dendritik hücreler, çok çekirdekli osteoklastlarla aynı hematopoetik soydan kaynaklansalar da, daha önce sadece immünolojik savunma hücreleri olarak kabul edilmişlerdir. Literatürdeki bazı çalışmalar, olgunlaşmamış dendritik hücrelerin osteoklastlara transdiferansiye olma potansiyeline sahip osteoklast öncülleri olarak da işlev gösterdiğini göstermişlerdir (Speziani ve ark., 2007). Bu bilgi ışığında, pulpa dokusunda dendritik hücreler bulunduğundan, odontoklastların öncüsü olarak da işlev görebildiği düşünülmektedir (Patel ve ark., 2010).

Bazı araştırmacılar, moleküler sinyal açısından OPG / RANKL /RANK-transkripsiyon faktör sistemini kök rezorpsiyonunda tanımlamışlardır (Boyce ve Xing, 2008). Osteoklastların mineralize olmayan kollajen matrislerine yapışmadıkları bilinmektedir. Dentin (odontoblast tabakası ve predentin) içinde kollajenöz olmayan, organik bir bileşenin varlığının kök kanal duvarının rezorbe olmasını önlediği fikri bazı araştırmacılar tarafından öne sürülmüştür (Wedenberg, 1987).

Osteopontin molekülü, çıplak dentin içindeki apatitlere bağlanan ve klastik hücrelerin plazma zarlarındaki integrin reseptörlerine bağlanan farklı alanlar içerir. Bu nedenle osteopontin, aktin sitoskeletonunun yeniden düzenlenmesine aracılık ederek klastik hücrenin mineralize dokulara bağlanmasını optimize eden bir bağlayıcı molekül olarak işlev görmektedir (Patel ve ark., 2010). Predentin içindeki RGD (arginin-glisin-aspartik asit) peptitlerinin eksikliğinin odontoklastların bağlanmasını azalttığı, böylece kanal duvarlarının iç kök rezorpsiyonuna karşı direnç kazandığı da düşünülmektedir (Chung ve ark., 2008).

İç kök rezorpsiyonunun meydana gelmesi için, en dıştaki koruyucu odontoblast tabakası ve kanal duvarındaki predentinin hasar görmesi gerekmektedir, bu da alttaki mineralize dentinin odontoklastlara maruz kalmasına neden olmaktadır (Wedenberg ve Lindskog, 1985; Patel ve ark., 2010).

İç kök rezorpsiyonu, dış kök rezorpsiyonu ile karşılaştırıldığında nispeten nadir bir durumdur (Nilsson ve ark., 2013) ve etiyojisi ve patogenezi tam olarak açıklanamamıştır (Patel ve ark., 2010). Travma, çürük ve periodontal enfeksiyonlar, daimi dişlerde restoratif işlemler sırasında oluşan aşırı ısı, kalsiyum hidroksit uygulamaları, daimi diş kök rezeksiyonları, anakorezis, ortodontik tedavi, çatlak dişler

veya normal pulpalardaki idiyopatik distrofik değişiklikler predentin kaybına sebep olan bazı etiyolojik faktörlerdendir (Patel ve ark., 2010). Pulpanın bakteriler tarafından daimi enfeksiyonu, pulpa odasının duvarlarının makrofaj benzeri hücreler tarafından kolonizasyonuna neden olur. Bu tür hücrelerin bağlanması ve yayılması, kök rezorpsiyonunun başlatılması için temel ön koşuldur (Nilsson ve ark., 2013).

Literatürdeki bazı çalışmalarda, travmanın ve pulpal inflamasyon/enfeksiyonun iç kök rezorpsiyonun başlamasına katkıda bulunan en önemli faktörler olduğu görüşü de desteklenmiştir (Andreasen, 1970; Wedenberg ve Zetterqvist, 1987; Wedenberg ve Lindskog, 1987). Çalışkan ve Türkün (1997) tarafından iç kök rezorpsiyonlu 25 diş üzerinde yapılan bir çalışmada, incelenen vakaların % 43'ünden sorumlu olan en yaygın predispozan faktörün travma olduğu, diğer vakalarda ise; çürük lezyonlar (% 25) ve çürük / periodontal lezyonlar (% 14) sonucu oluşan inflamasyon olduğu bulunmuştur. Bunun yanında geriye kalan dişlerdeki iç rezorpsiyonun nedeninin bilinmediği rapor edilmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi, iç kök rezorpsiyonunun başlaması için odontoblast tabakasına ve kanal duvarının ön yüzeyine zarar verilmesi bir ön koşuldur (Wedenberg ve Lindskog, 1987). Bununla birlikte, iç kök rezorpsiyonunun ilerlemesi, sert doku rezorpsiyonunda rol oynayan klastik hücrelerin bakteriyel uyarılmasına bağlıdır. Bu uyarım olmadan, rezorpsiyon kendi kendini sınırlar (Andreasen ve ark., 1995).

Rezorpsiyon sürecinin devam etmesi için, rezorptif lezyonun apikalindeki pulpa dokusunun yeterli kanlanmaya sahip olması gerekir. Bu sayede klastik hücreler beslenmekte ve enfekte nekrotik koronal pulpa dokusu bu klastik hücreleri uyarmaktadır (Tronstad, 1988). Bakteriler, dentin tübülleri, çürük kavimleri, çatlaklar, kırıklar ve lateral kanallar aracılığıyla kök kanalına ulaşabilmektedirler. Bakteriyel bir uyarının yokluğunda, rezorpsiyon geçici olmakta ve klinik ve radyografik olarak teşhis edilebilecek kadar ilerlememektedir. Bu nedenle, rezorptif lezyonun ilerlemesi için rezorpsiyon bölgesinin apikalindeki pulpanın vitalitesi önem taşımaktadır. Tedavi edilmeyen iç kök rezorpsiyonunda, rezorptif defekti dolduran iltihaplı bağ dokusu dejenere olmakta ve lezyon apikal yönde ilerlemektedir. Daha ileriki safhada, rezorptif lezyonun apikalindeki pulpa dokusunun nekroza uğrayarak bakterilerin tüm kök kanal sistemini enfekte etmesiyle apikal periodontitis meydana gelmektedir (Ricucci, 1998).

2.1.2.4. İç kök rezorpsiyonlarının histolojik görünümü

Wedenberg ve Zetterqvist (1987) tarafından, progresif iç kök rezorpsiyonu nedeniyle çekilen primer ve daimi dişler üzerinde rezorpsiyon süreci olarak incelenmiştir. Histolojik taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve immunohistokimyasal çalışması yapılmıştır. Çalışmada, SEM ve immunohistokimyasal kesitlerinin her iki grup için aynı olduğu ancak rezorptif sürecini süt dişlerinde daha hızlı gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Pulpa dokusunun bazı nötrofillerle birlikte baskın olarak lenfositler ve makrofajlardan oluşan inflamatuvar infiltrat ile dolu olduğu pulpal bağ dokusunun sağlıklı pulpa dokusuna göre daha az vasküler ve nispeten daha fazla hücre ve lif içeren periodontal membran bağ dokusuna benzediği bildirilmiştir. Odontoblast tabakası ve predentin, rezorpsiyon lakunalarını işgal eden büyük, çok çekirdekli odontoklastlar tarafından etkilenen dentin duvarlarında bulunmadığı da rapor edilmiştir. Odontoklastların aktif rezorpsiyonun bir kanıtı olduğu ve bunlara, rezorpsiyon bölgesine bitişik olan bağ dokusunu dolduran odontoklast öncüleri olduğuna inanılan mononükleer hücrelerin eşlik ettiği görülmüştür. Araştırmacılar, çalışmanın bulgularından en ilginç olanının ise, incelenen tüm dişlerin kök kanal duvarında kemiğe veya semente benzeyen mineralize dokunun eksikliği olarak bildirilmiştir. Ayrıca, benzer yapıdaki kalsifiye doku adaları, vakaların sadece üçünde pulpal boşluğu işgal etmekte olduğunu bildirmişlerdir (Wedenberg ve Zetterqvist, 1987). Kök kanal boşluğunu kaplayan mineralize doku adaları, replasman iç kök rezorpsiyonunun tanımlayıcı bir özelliğidir (Andreasen ve Andreasen, 1992). Araştırmacılar, osteoblastların etkilenen bölgeye çekilerek kemik oluşumuna katıldığı bir rezorpsiyon süreci sonundaki birleşme aşamasının bir parçasının mineralize doku birikimi olabileceğini öne sürmektedirler (Wedenberg ve Zetterqvist, 1987).

2.1.2.5. İç kök rezorpsiyonlarının epidemiyolojisi ve prevalansı

Yapılan bazı çalışmalarda, iç rezorpsiyonun erkeklerde, kadınlardan daha sık görüldüğü bildirilmiştir. İntraradiküler iç rezorpsiyonun oluşumunda ırksal farklılıkların etkili olup olmadığını belirlemek için ileri epidemiyolojik çalışmalar gerekmektedir (Patel ve ark., 2010).

Literatürde yapılan bir çalışmada 1000 dişten 1'inde iç kök rezorpsiyonu gözlemlenmiştir (Gabor ve ark., 2012). Fakat Cabrini ve ark. (1957) tarafından yapılan bir çalışmada, kalsiyum hidroksit pulpotomisinden 49 ila 320 gün sonra 28 dişten 8'inde (% 28) histolojik inceleme ile iç kök rezorpsiyonu tespit etmişlerdir. 33 ototransplante edilmiş maksiller kanin üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise, dişlerin 17'sinde (% 55) 6 yıllık takip süresi boyunca iç rezorpsiyon geliştiği bildirilmiştir (Ahlberg ve ark., 1983). Bazı çalışmalarda iç rezorpsiyonun oluşma oranı % 0,01 ile % 1 arasında olduğu tahmin edilmektedir (Haapasalo ve Endal, 2006).

Genel olarak çalışmaların sonuçları, inflamasyonun iç rezorpsiyon etiolojisinde önemli bir faktör olduğuna işaret etmektedir. Wedenberg ve Lindskog (1985, 1987) tarafından yapılan klasik hayvan çalışmalarında, inflamasyonun aynı zamanda iç rezorpsiyonun birincil nedeni olduğu rapor edilmiştir. Apikal granülomlu ve kistli dişlerde rezorpsiyon üzerine histolojik ve taramalı elektron mikroskopik bir çalışmada, apikal rezorpsiyonun yaygın bir bulgu olduğunu ve intrakanal rezorpsiyonun sıklıkla bulunduğunu göstermiştir. Çalışmada, kanal içi rezorpsiyonun oldukça yaygın olabileceği sonucuna varılırken; kesin sayılar verilmemiştir (Delzangles, 1989). Yüksek büyütme bir taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak sağlıklı ve hastalıklı pulpalı dişlerde iç rezorpsiyon oluşumunu inceleyen başka bir çalışmada, pulpitis ve pulpa nekrozu olan dişlerde sıklıkla iç rezorpsiyon saptandığı bildirilmiştir. Ayrıca; küçük boyutları nedeniyle lezyonların geleneksel klinik veya radyografik yöntemlerle tespit edilmesinin olası olmadığı ve tam pulpa nekrozunun gelişiminin, rezorpsiyonun ilerlemesini durdurduğu da rapor edilmiştir (Gabor ve ark., 2012).

Travmatik yaralanmadan sonra bile intraradiküler iç kök rezorpsiyonu nispeten nadir bir klinik durum olmasına rağmen (Andreasen, 1970), durumun daha yüksek bir prevalansı, ototransplantasyon gibi spesifik tedavi prosedürlerinden geçmiş dişlerle ilişkilendirilmiştir (Ahlberg ve ark., 1983). Çalışkan ve Türkün (1997) tarafından yapılmış bir çalışmada iç kök rezorpsiyonundaki travmanın incelenen olguların % 45'inden sorumlu olan en yaygın predispozan faktör olduğu bulunmuştur. Fakat çalışmalardaki küçük örnek boyutları, iç kök rezorpsiyonunun yaygınlığı hakkında kesin sonuçların çıkarılmasını engellemiştir.

2.1.2.6. İç kök rezorpsiyonlarının klinik özellikleri

İç kök rezorpsiyonunun klinik özellikleri büyük ölçüde etkilenen pulpanın histolojik durumuna, rezorpsiyon sürecinin neden olduğu sert doku yıkımının derecesine ve kök kanal boşluğundaki rezorpsiyon boşluğun konumuna bağlıdır (Patel ve ark., 2021). Pulpanın durumuna veya kökün perforasyonuna bağlı olarak ağrı oluşabilir ve periodontal hasarla sonuçlanabilir (Çalışkan ve Türkün, 1997).

Vitalite testlerine (termal ve elektriksel) yanıt, lezyonun boyutu önemli ölçüde büyüyene ve bir perforasyona neden olana kadar pozitifdir. Resorpsiyonun aktif aşamasında, vital pulpa dokusunun bakteriyel kontaminasyonu sonucu pulpitisin klinik semptomlarını gösteren bir akut inflamatuvar yanıt meydana gelmektedir. İç kök rezorpsiyon boşluğunu dolduran iltihaplı bağ dokusu dejenere olup, nekroza uğrayarak apikal periodontitisi tetiklemektedir (Nilsson ve ark., 2013). Pulpa nekrozunun başlangıcı ve kök kanal boşluğundaki bakteriyel kolonizasyon nedeniyle akut veya kronik apikal periodontitisle ilişkili klinik belirti ve semptomlar gelişebilmektedir (Patel ve ark., 2021). Periapikal dokularda veya sert doku yıkımına neden olan kök kanal duvarının perforasyon bölgesinde süpürasyonla (püy) ilişkili bir fistül yolu gözlemlenebilmektedir (Patel ve ark., 2021).

Koronal pulpa kaynaklı iç kök rezorpsiyon vakalarında, etkilenen dişin kron kısmından görülebilen Mummery'nin pembe dişi olarak tanımlanan pembe veya kırmızı renk değişikliğine neden olabilir (Lyroudia ve ark., 2002; Silveira ve ark., 2009). Pembe renk, rezorptif defektin içerisinde yer alan granülomatöz dokudan kaynaklanmaktadır. Pulpa nekrotik hale geldiğinde ise bu renk gri ya da koyu griye döner (Silveira ve ark., 2009). Genellikle bu pembe nokta görünümü, rezorptif sürecin ortak bir klinik bulgusu olmasına rağmen, aslında iç kök rezorpsiyon vakalarında nadirdir. Pembe nokta görünümü, servikal dış kök rezorpsiyonu vakalarında nispeten daha sık gözlenmektedir. Çoğunlukla etkilenen dişler asemptomatik olup, klinik belirtileri bulunmamaktadır (Patel ve ark., 2021).

Pulpanın bir kısmının vital kaldığı durumda rezorpsiyon süreci aktiftir, bu nedenle pulpa vitalite testi pozitif olabilmektedir. Bunun yanında, koronal pulpa nekrotik iken

apikal pulpa dokusu vital kalabilmektedir; bu da pulpal testin yalancı negatif yanıt vermesi ile sonuçlanır (Ne ve ark., 1999).

2.1.2.7. İç kök rezorpsiyonlarında radyografik özellikler ve teşhis

Klinik olarak iç kök rezorpsiyonunun çeşitli şekillerde ortaya çıkabileceği göz önüne alındığında, durumun teşhisinde öykü ve klinik bulgudan elde edilen tamamlayıcı bilgilerle birlikte öncelik radyografik muayeneye dayanmaktadır. Çoğu inflamatuvar iç kök rezorpsiyonu klinik olarak asemptomatiktir ve rutin dış radyografik muayeneleri sırasında tesadüfen tespit edilir (Ne ve ark., 1999).

Literatürdeki eski çalışmaların çoğunda iç rezorpsiyon tanısında, 2 boyutlu radyografik görüntülemenin kullanıldığı bildirilmiştir. Bu durum görüntülerin sınırlı olmasına ve anatomik yapıların süperpozisyonu sebebiyle yanlış tanıya ve dolayısıyla yanlış tedaviye sebep olmaktaydı (Patel ve ark., 2009a; Bhuva ve ark., 2011). Bunun yanı sıra, iç kök rezorpsiyonunu, dış kök rezorpsiyonundan ayırt etmedeki zorluk literatürde birçok çalışmada vurgulanmıştır (Tronstad, 1988; Patel ve ark., 2007). Her iki lezyon da benzer radyografik görünüme sahip olabilmektedir (Patel ve ark., 2010). Tanıdaki zorluk, özellikle dış kök rezorpsiyon kavitesine sond ile erişilemediğinde ve iki boyutlu radyolojik görüntüleme yöntemleri kullanıldığında ortaya çıkmaktadır (Tronstad, 1988; Patel ve ark., 2007; Patel ve ark., 2010).

Gartner ve ark. (1976), radyografik olarak ayırıcı tanı için bir kılavuz bildirmişlerdir. Bu kılavuza göre iç kök rezorpsiyon lezyonlarının, pürüzsüz, tekdüze bir yoğunluğa sahip radyolünsensi ile genellikle köke simetrik olarak dağılan, pulpa odası veya kök kanalının ana hatları lezyon boyunca izlenemeyen ve genellikle dışın koronal veya radiküler kısmında, kök kanal duvarı ile ilişkili, sınırlı, oval genişleme (radyolüsens) olarak görüldüğü bildirilmiştir. Bazı iç kök rezorpsiyonu vakaları bu radyografik özelliklerin bir kısmına veya tümüne sahip olsa da, çoğu vakada bu özellikler görülmeyebilmektedir. Bu nedenle tanı konulmadan önce her vaka ayrı ayrı değerlendirilmelidir (Patel ve ark., 2021).

İç kök rezorpsiyonları, kök kanal sisteminde herhangi bir yerde oluşabilmekte ve radyografik olarak kök kanalına göre değişken şekil, radyodensite, ana hat ve simetriye

sahip bir radyolüsensi olarak ortaya çıkabilmektedirler. İnflamatuar iç kök rezorpsiyon lezyonları üniform bir radyolüsensiye sahipken; replasman (metaplastik) iç kök rezorpsiyonunda, lezyonu kaplayan kalsifiye materyalin radyoopak yapısının bir sonucu olarak lezyon biraz bulanık bir görünüme sahiptir (Patel ve ark., 2010). Dış kök rezorpsiyon lezyonları yoğun granülomatöz doku, yoğun kalsifiye doku veya ikisinin bir karışımını içerebilirler ve her iki tip iç kök rezorpsiyonuna benzer bir radyodensiteye sahip olabilirler. Bu durum da teşhisin karmaşıklığına yol açmaktadır (Patel ve ark., 2021).

Gartner ve ark.'nın (1976) da belirttiği gibi, teşhis için en iyi uygulama kök kanal duvarının ana hatlarını izlemektir. İç kök rezorpsiyon boşluğu normal kök kanal duvarlarının bir uzantısı olduğundan süreklilik göstermektedir. Örneğin, iç kök rezorpsiyonuna sahip dişlerde kanal duvarları defekt boyunca izlenememektedir. Oysa bu durumun tam tersi olarak, dış kök rezorpsiyonlarında, geleneksel radyografilerle görüntülenen bukkal veya palatal/lingual kısma uzanan defekt kök kanal sistemi üzerine süperpoze olmaktadır. Böylece, rezorptif alandaki kanal duvarları, normal seyrini korumakta ve lezyon içerisinde izlenmektedir. Bununla birlikte, birden fazla kanallı olan dişlerde, iç kök rezorpsiyonundan etkilenmeyen bir kanalın geleneksel radyografilerde rezorptif defekt üzerine süperpoze olabileceği de unutulmamalıdır (Patel ve ark., 2021).

Rezorptif süreç hakkında daha fazla bilgi elde etmek için her zaman paralaks tekniği kullanılmalıdır. Paralel periapikal radyografiye ek olarak, röntgen tüpünün görüntü reseptörüne göre açısında 10 - 15 derecelik yatay bir hareketle radyografi alınmalıdır. İç kök rezorpsiyon lezyonları, açılı görüntülemeye kök kanal sistemine göre konumlarını korurlar. Oysa dış kök rezorpsiyon lezyonları, palatinal /lingual yerleşimli ise x-ışını tüpü ile aynı yönde hareket ederken; bukkal yerleşimli ise ters yönde hareket eder (Gartner ve ark., 1976). Ayrıca, iç kök rezorpsiyonları, labial veya lingual yerleşimli yüzeyel dış kök rezorpsiyonu ile benzer bir görünüme sahip olabildiğinden; söz konusu bölgenin yerini belirlemek için mezial ve distal açılardan alınan ek radyografiler önerilmektedir (Ne ve ark., 1999).

Konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT), diş ve çevre dokuların aksiyal, koronal, parasagittal görünümüleriyle rezorpsiyon defektinin üç boyutlu olarak değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Kesitsel görüntülerde, rezorpsiyonun boyutu ve konumu açıkça belirlenebilmektedir (Nilsson ve ark., 2013). Bu da klinisyenlere, düşük dozda, yüksek kaliteli üç boyutlu görüntüleme ile kök rezorpsiyonlarının erken aşamalarında kolay teşhis imkanı sağlamaktadır (Bhuva ve ark., 2011).

Patel ve ark. (2009a), kök rezorpsiyonu lezyonlarının tespiti ve yönetimi için intraoral periapikal radyografinin doğruluğunu KIBT ile karşılaştırmıştır. Sonuçta kök rezorpsiyonu lezyonlarını değerlendirmek için KIBT'nin doğruluğunun intraoral periapikal radyografilere göre daha üstün olduğunu bildirmişlerdir.

Nilsson ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada iç kök rezorpsiyonlarının etiyolojisini, prevalansı ve klinik bulgulara ek olarak, KIBT'nin iç kök rezorpsiyonların tanı ve tedavisi üzerine etkisini değerlendirmiştir. Sonuç olarak da KIBT'nin üstün teşhis doğruluğu ve iç rezorpsiyonuna sahip dişlerde rezorsiyon defektinin tedavi yönetimi üzerinde üstün etkisinin olduğunu bildirmişlerdir.

Khojastepour ve ark. (2015), çalışmalarında KIBT görüntülemenin doğruluğunu simüle edilmiş iç kök rezorpsiyon boşluklarındaki küçük perforasyonların saptanmasında değerlendirmiş ve bu görüntüleme tekniğinin etkili olduğunu bildirmişlerdir.

2.1.2.8. İç kök rezorpsiyonlarının tedavisi

İç kök rezorpsiyonlarının teşhisinden sonra, sert doku tahribatının boyutu değerlendirilmeli ve etkilenen dişin prognozu hakkında klinik bir karar verilmelidir. Tedaviye karar verme sürecinde birkaç kriter dikkate alınmalıdır (Nilsson ve ark., 2013). Bu kriterler:

- Hastanın yaşı
- Dişin konumu
- Kronun şekli

- Oklüzyon
- Rezorpsiyon yeri
- Rezorpsiyon genişliği
- Kök perforasyonunun varlığı veya yokluğu ve varsa bunların genişliği
- Kalan kök sert dokusunun direnci / zayıflığı
- Periodontal durum
- İlgili dişin restore edilebilirliği

Literatürdeki makalelerin çoğu, rezorpsiyonun tedavisine vurgu yapan vaka raporlarıdır (Bhuva ve ark., 2011). Rezorptif sürecin teşhisi ve kapsamının belirlenmesi zor olduğundan uygun tedavinin sağlanması da komplike olmaktadır (Khojastepour ve ark., 2015). Rezorpsiyon teşhis edilemeyip tedavi edilmezse, potansiyel olarak ilerleyebilir ve sonunda kökün perforasyonuna sebep olabilmektedir. İç kök rezorpsiyonu erken teşhis edildiğinde, tedavi genellikle başarılıdır ve etkilenen dişin uzun vadeli prognozu iyidir. Ancak fazla miktarda sert dokunun hasar gördüğü ve/veya rezorpsiyon marjinal kemiğe yakın olduğu (kökün üçte birlik koronal) vakalarda diş yapısının zayıflaması tedavinin prognozunu olumsuz etkileyecektir (Gabor ve ark., 2012).

Klinik muayene ve KIBT ile toplanan bilgiler ışığında birkaç tedavi seçeneği düşünülebilir (Nilsson ve ark., 2013):

- Enfeksiyon ve semptomların yokluğunda terapötik çekimserlik ve takip
- Ortograd kök kanal tedavisi, radiküler duvarda perforasyonun olup olmamasına bağlı olarak üç seçenek ile; Perfore olmamış lezyonlarda gutta perka ile tam kök kanal dolgusu, kök kanalında kombine gutta perka ve perforasyon alanı için MTA ile dolum, kısa kök uzunluğuna sahip apikal perforasyon lezyonlarda, bioaktif materyal (MTA veya Biodentin) ile tam dolum.
- Retrograd apikal tedavi.
- Çekim ve implant uygulaması: diş tedavi edilemeyecek kadar zayıflamışsa endikedir.

Kök kanal tedavisi, klastik hücrelerin bulunduğu granülasyon dokusunu ve kan akışını ortadan kaldırdığı için iç kök rezorpsiyonuna sahip vakalarda da tercih edilen tedavi yöntemidir. İç kök rezorpsiyona sahip kök kanallarının preparasyon ve dolum aşamalarında bir takım zorluklar ortaya çıkmaktadır. Giriş kavitesi hazırlığı, diş yapısını korumak ve hâlihazırda riskli olan dişin daha fazla zayıflamasını önlemek için olabildiğince konservatif olmalıdır. Aktif kanama, apikal pulpa dokusu çıkarılınca kadar aktif iç kök rezorpsiyon lezyonlarına sahip dişlerde kanal içi görünüşü engellemektedir. Bir apeks bulucu ile çalışma uzunluğu tespiti rezorpsiyonun perforasyona sebep olduğu vakalarda mümkün değildir (Patel ve ark., 2010).

Genellikle rezorpsiyon defektinin şekli sebebiyle, rezorptif alana doğrudan mekanik preparasyonla erişilememektedir (Patel ve ark., 2010). Bu nedenle irrigasyon ve çok seanslı endodontik tedaviye daha fazla önem verilmelidir. Kanal duvarlarındaki rezorpsiyon defektlerinin, kullanılan kanal aletleri ile mekanik olarak temizlenmeyeceği varsayılmakta; bunun yanında da rezorpsiyondan dolayı kanal içi dentin duvarlarının incilmesi nedeniyle perforasyon riski ortaya çıkmaktadır (Patel ve ark., 2010). Bu nedenle nekrotik doku içeren rezorpsiyon kavitelerinin etkin irrigasyonla derin dezenfeksiyonu hedeflenmektedir (Gabor ve ark., 2012). Literatürde inflamatuvar iç kök rezorpsiyonu ile ilgili paylaşılmış pek çok vaka raporu olmasına rağmen, rutinde kabul edilmiş bir kemomekanik dezenfeksiyon protokolü bulunmamaktadır (Patel ve ark., 2010). Vital ve nekrotik pulpa dokusunun uzaklaştırılmasında sodyum hipoklorit ile kimyasal olarak irrigasyon yapılmasının önem taşıdığı bildirilmiştir (Nilsson ve ark., 2013).

Göz önünde bulundurulması gereken bir diğer durum ise, iç kök rezorpsiyonuna sahip dişlerin düzensiz kanal yapıları nedeniyle, şırınga ile yapılan irrigasyonun yeterli dezenfeksiyonu sağlamaması ve organik dokunun uzaklaştırılmasında yetersiz kalmasıdır. Bu nedenle, irrigasyon solüsyonlarının aktivasyon yöntemlerinin tedavi sürecinde kullanılması önem taşımaktadır (Siqueira ve ark., 2002). Kullanılan irrigasyon solüsyonunun etkinliği ultrasonik / sonik cihazlarla artırılabilir ve daha geniş kanallarda interdental fırçalar kullanılabilir (Burleson ve ark., 2007; Darcey ve Qualtrough, 2016). Bununla birlikte, Burleson ve ark., (2007) yardımcı yöntemler kullanılmasına rağmen kemomekanik preparasyondan sonra bakterilerin rezorptif

alanlarda kalabileceğini bildirmişlerdir. Bu nedenle, mikrobiyal yükü daha da azaltmak ve dezenfeksiyonu geliştirmek için kanal içi antibakteriyel medikamanların kullanımı önerilmektedir (Siqueira ve ark., 2002).

Kanal içi medikaman olarak kalsiyum hidroksit kullanımı, dezenfeksiyon prosedürlerinin etkisini en üst düzeye çıkarmaktadır (Nilsson ve ark., 2013). Kalsiyum hidroksit, hazır preparatların esnek uçları yardımı ile kanala enjekte edilebilmektedir (Resim 2). Kalsiyum hidroksit yerleştirilmesini takiben alınan bir radyografi, lezyonun boyutunun ve şeklinin daha doğru olarak belirlenmesini sağlar (Darcey ve Qualtrough, 2016). İç kök rezorpsiyonuna sahip dişlerde kalsiyum hidroksit kullanımının iki önemli sebebi vardır. Kalsiyum hidroksit kanal içi kanamayı kontrol etmektedir (Haapasalo ve Endal, 2006). Ayrıca kanal içi organik debrisin uzaklaştırılmasına yardımcı olduğu ve kök kanalı içerisinde bekletilen kalsiyum hidroksitinin sodyum hipoklorit ile sinerjik etki yaratarak etkisini güçlendirdiği de yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Andersen ve ark., 1992; Türkün ve Cengiz, 1997). Bu kanıta dayanarak araştırmacılar, kök kanal sisteminin geleneksel kemomekanik preparasyonunu desteklemek için kanal içi antibakteriyel bir medikaman olarak kalsiyum hidroksit kullanımını savunmaktadırlar (Patel ve ark., 2010).



Resim 2. Enjekte edilebilir kalsiyum hidroksit.

Endodontik tedavinin temel amaçlarından biri de, dezenfekte edilmiş kök kanalının uygun bir materyal ile tamamen doldurulmasıdır. İç kök rezorpsiyonlarında, resorptif sürecin neden olduğu sert doku defektinin tamamen doldurulması oldukça

zordur. Rezorptif defekt alanını doldurmak için kök kanal dolgu materyalinin akışkan olması gerekmektedir (Patel ve ark., 2021). Bunun için termoplastik güta-perka teknikleri, MTA gibi biyoaktif materyaller ve bir çok yeni uygulamalar dahil olmak üzere çeşitli materyal ve yöntemler kullanılmaktadır (Heithersay, 2007; Bhuva ve ark., 2011; Nilsson ve ark., 2013).

2.2. Kalsiyum Hidroksit ve Kalsiyum Hidroksitin İç Kök Rezorpsiyonlu Dişlere Etkisi

Kalsiyum hidroksit'e ait ilk referans 1838'de Nygren'in "Fistula Dentalis" tedavisinde kullanımı olmuştur. Ancak; 1920'de Hermann tarafından endodontik tedavide iyileşmeyi hızlandırmak amacıyla kullanılmaya başlandıktan sonra kalsiyum hidroksit popüler hale gelmiştir. Daha sonra kalsiyum hidroksitin pulpal iyileşmede etkili olduğu birçok çalışma yayınlanmış ve sert doku oluşumunda, pulpal ve periapikal dokuların iyileşmesini hızlandırmada, pulpa kapaklama ajanı olarak, kök kırıklarının tedavisinde, perforasyonlarda, apeksifikasyonda ve kök rezorpsiyonlarının tedavisinde kullanılan en iyi medikament olarak kabul görmüştür (Farhad ve Mohammadi, 2005).

İç kök rezorpsiyonlu dişlerde kanal içi medikaman olarak kullanılan kalsiyum hidroksit, genel olarak dezenfeksiyon prosedürlerinin etkisini en üst düzeye çıkarır, kanamayı kontrol etmeye yardımcı olur ve vital pulpa dokusunu nekrotize eder (Haapasalo ve Endal, 2006).

2.2.1. Kalsiyum hidroksitin kimyasal özellikleri

Kalsiyum hidroksit; kireçtaşının (CaCO_3) 900 – 1200 °C'ye kadar ısıtılmasıyla ortaya çıkan sönmemiş kirecin (CaO), su (H_2O) ile birleşmesi sonucu oluşur. Molekül ağırlığı 74,08 gr (40 gr Ca, 34,08 gr OH) olan kalsiyum hidroksitin % 54,11'i kalsiyum (Ca^{+2}), % 45.89'u hidroksildir (OH^-) (Farhad ve Mohammadi, 2005). Bu iyonlar, sert doku depozisyonunda ve antibakteriyel etkinlikte önemli rol oynarlar. 25 °C'de 1 lt suda 1,2 gr çözünen kalsiyum hidroksitin pH'sı 12,5 - 12,8 dir ve alkolde çözünmez (Siqueira ve Lopes, 1999).

Kalsiyum hidroksitin etki mekanizması tam olarak anlaşılamamakla birlikte bu etkinin Ca^{+2} ve $(\text{OH})^-$ iyonlarına ayrışmasıyla olduğu savunulmuştur. Kalsiyum hidroksit, su bazlı likitler ile temasında iyonlarına ayrışır. Esas işlevi, Ca^{+2} ve $(\text{OH})^-$ iyonlarının ayrışmasından ortaya çıkmaktadır. Vital dokularda sert doku oluşumunun indüklenmesini ve antibakteriyel etkinliği sağlar. Vital dokular ile temas etmesine rağmen uzun süre çözünmemesi de arzu edilen bir klinik özellik olup medikamanın uzun süre etki etmesini sağlar (Farhad ve Mohammadi, 2005).

Radyografik görüntüde belirgin olmadıkları için baryum sülfatla (BaSO_4) karıştırılır. Baryum sülfat rezidüel radyoopasite bırakabilmektedir. Bu nedenle radyografik görünürlük için kalsiyum hidroksit diatrizoat veya iothalamate gibi maddelerle de karıştırılabilir (Alaçam ve ark., 1990).

2.2.2. Kalsiyum hidroksitin etki mekanizması

2.2.2.1. Mineralizasyona etkisi

Kalsiyum hidroksit içerisinde bulunan hidroksil grubu, alkali bir ortam oluşturarak, onarım ve kalsifikasyondan sorumludur. Alkali ortam sayesinde, dentin minerallerinin çözünmesi önlenerek, osteoklastların ürettiği laktik asit nötralize olur ve sert doku oluşumunu sağlayan alkalen fosfataz aktive edilmektedir (Farhad ve Mohammadi, 2005). Bağ dokusuna temas eden kalsiyum hidroksit, protein denatürasyonuna sebep olmaktadır. Hücreler arası maddede değişime neden olan bu durum sonucunda glikoproteinlerde kopmalar meydana gelir ve nekroz bölgeleri oluşur (Mohammadi ve Dummer, 2011). Yapılan bir çalışmada, bağ dokusu ile temas eden kalsiyum hidroksit nedeniyle 7 - 10 gün arasında mineralize doku oluşumu meydana geldiği bildirilmiştir. Ayrıca, nekroz bölgesi ile derin granüloz alan arasındaki yüzeysel granüloz alan bölgesinde büyük bir granülasyon dokusu bulunduğu da rapor edilmiştir. Bu yapılar kalsiyum tuzları ve kalsiyum-protein komplekslerinden oluşmaktadır. Derin granülasyon bölgesinin altında hücresel proliferasyon bölgesi ve normal pulpa dokusu bulunur (Mohammadi ve Dummer, 2011)

2.2.2.2. Antimikrobiyal etkisi

Kalsiyum hidroksit, fiziksel ve kimyasal olarak bakterisidal etki mekanizmasında rol alır. Hidroksil iyonlarının doğrudan etkisi ile bakterinin sitoplazmik membranında hasar meydana getirerek, hücrenin enzim aktivitesinin engellenmesi ve hücre metabolizmasının bozulmasına sebep olur ve hücre DNA'sının bölünerek çoğalmasının önlenmesiyle kimyasal etki göstermektedir. Kanalı doldurarak fiziksel bir bariyer görevi görüp, bakterinin kanal içerisindeki ilerleyişine engel olur. Böylece bakterilerin ihtiyacı olan substrata ulaşamamaları ve çoğalmak için yeterli alanlarının olmaması sebebiyle ölmelerine neden olur (Siqueira ve Lopes, 1999).

Byström ve ark. (1985) hidroksil iyonlarının salınarak etki göstermesi için, kök kanal sisteminin kalsiyum hidroksit ile iyi bir şekilde doldurulması gerekliliğini savunmuşlardır. Stevens ve Grossman (1983), optimum antibakteriyel etkiyi elde etmek için kalsiyum hidroksitin direkt olarak temas etmesi gerekliliğini vurgulayarak, mikroorganizmaların çoğalmasını önlemede etkili olduğunu bildirmişlerdir. Sjögren ve ark. (1991), yedi günlük kalsiyum hidroksit uygulamasının, kanal içi bakterilerden negatif bir kültür elde etmek için yeterli olduğunu göstermişlerdir. Shuping ve ark. (2000), kalsiyum hidroksitin en az 1 hafta süreyle yerleştirilmesinin kanalların % 92,5'ini bakterisiz hale getirdiğini göstermişlerdir. Han ve ark. (2001), dentin tübüllerinde *E. faecalis*'in eliminasyonunda kalsiyum hidroksitin etkili olduğunu bildirmişlerdir. Portenier ve ark. (2005), *E. faecalis* hücrelerinin kalsiyum hidroksite en fazla proliferasyon fazında duyarlı oldukları ve üç saniye ile on dakika içinde ölebildikleri sonucuna varmışlardır. Zancan ve ark.'nın (2016) kanal içi medikamanı olarak kullanılan kalsiyum hidroksitin antimikrobiyal etkisi üzerine yürüttüğü çalışmada ise, en yüksek $(OH)^-$ iyon salınımının 3. ile 30. günler arasında olduğu gözlemlenmiş ve bu sayede kalsiyum hidroksitin antimikrobiyal etki gösterdiği bildirilmiştir.

2.2.2.3. Biyofilm tabakasına etkisi

Tükürükte bulunan planktonik mikroorganizmalar biyofilm oluşumunda rol almaktadır. Endodontide biyofilm kavramı, esas olarak nekrotik ve enfekte pulpalı

dişlerin veya pulpasız ve enfekte kök kanal sisteminin apikal kısmında yer alan bakteriler çerçevesinde tartışılmaktadır. Bu bakteriler, dirençli apikal periodontitisin ana sebebi olmaktadır. Yapılan çalışmalarda, enfekte olmuş kök kanallarının duvarlarında bakteriyel yoğunlaşmalar (biyofilmler) gözlemlendiği bildirilmiştir (Nair, 1987; Molven ve ark., 1991; Svensater ve Bergenholtz, 2004). Bazı çalışmalarda kök kanalının neredeyse tüm bölgelerinde yüksek oranda bakteri ile yoğun bir biyofilm varlığı rapor edilmiştir (Nair, 1987; Şen ve ark., 1995; Nair ve ark., 2005).

Antimikrobiyal ajanlar sıklıkla tek bir mikroorganizma içeren, hızlı büyüyen, dağılık popülasyonlara karşı geliştirilmiş ve optimize edilmişlerdir (Svensater ve Bergenholtz, 2004). Fakat bu ajanlar tek çeşit bakterileri ortadan kaldırmak için geliştirilseler de biyofilmdeki mikrobiyal gruplar nedeniyle daha dirençli bakteriyel enfeksiyonlar gelişebilir. Literatürde, antimikrobiyal ajan olarak kullanılan kalsiyum hidroksitin biyofilmlere etkisinin araştırıldığı birçok çalışmada birbirinden farklı sonuçlar elde edilmiştir. Biyofilmlerde üreyen mikroorganizmaların, aynı organizmaların karşılık gelen planktonik formundan 2 kat ila 1000 kat daha dirençli olabileceğini ortaya koyan raporlar vardır (Svensater ve Bergenholtz, 2004). Kalsiyum hidroksit kullanımıyla kök kanallarında *E. faecalis*'i % 100 elimine edildiği rapor edilirken (Chai ve ark., 2007) bunun aksine bir çalışmada *E. faecalis* biyofilmine üstün etki gösteremediği bildirilmiştir (Distel ve ark., 2002). Bu nedenle kalsiyum hidroksitin biyofilm üzerine etkisinin anlaşılması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Zancan ve ark. (2019) kanal içi medikamanların hem *E. faecalis* hem de *Candida albicans* biyofilmine karşı antimikrobiyal aktivitesini incelemişler ve kök kanalına bir hafta boyunca uygulanan kalsiyum hidroksitin kök kanalındaki *E. faecalis*'in % 55'ini, *C. albicans*'ın ise % 44'ünü elimine ettiği bildirilmiştir. Buna karşın, Eslami ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada, kalsiyum hidroksitin kök kanal sistemindeki *E. faecalis* ve *C. albicans* biyofilmi üzerindeki antimikrobiyal etkisi incelenmiş ve kalsiyum hidroksitin, *E. faecalis* ve *C. albicans* biyofilmi üzerine üstün etkisinin olmadığı bildirilmiştir.

2.2.3. Kalsiyum hidroksitin dentin üzerine etkisi ve dentin kanallarına diffüzyonu

Dentinin esnekliği, hidroksiapatit ile kollojen ağı ilişkisine bağlıdır. Fosfat ve karboksil grup içeren proteoglikanlar ve proteinlerden oluşan organik matriks kollojen ağ ile hidroksiapatiti birbirine bağlar (Andreasen ve ark., 2002). Andreasen ve ark. (1989) tarafından yapılan bir çalışmada, kalsiyum hidroksit uygulamasının 1 yıl takibi sonucunda dentinin kırılma direncinin % 50 azaldığı gösterilmiştir. Petri kaplarında 5 hafta tutulan sığır dentinine ilişkin yapılan bir çalışmada, kalsiyum hidroksitin kırılma direncini % 32 oranında azalttığı sonucuna varılmıştır (White ve ark., 2002). Rosenberg ve ark. (2007), kalsiyum hidroksitin dişlerin mikrotensil kırılma direnci üzerindeki etkisini ölçmüş ve 7 - 84 günlük uygulamanın ardından direncin yaklaşık % 50 oranında azaldığını bildirmişlerdir. Kawamoto ve ark. (2008), kalsiyum hidroksit uygulamasının dentin dokusunun ortalama elastik modülünü önemli ölçüde artırdığını ve böylece kırılmaya daha yatkın hale geldiğini bildirmişlerdir.

Kalsiyum hidroksitin kanal içi medikaman olarak mikroorganizmalara etkili bir şekilde nüfuz etmesi için hidroksil iyonlarının dentin tübüllerine diffüzyonu gerekmektedir. Bu durum suya benzer bir şekilde gerçekleşmektedir. Bunun nedeni dentinden diffüzyonun esas olarak moleküler ağırlık ile belirlenmesidir (Nerwich ve ark., 1993). Hidroksil iyonlarının dentin yoluyla diffüzyonu, dentin tübüllerinin çapına, anatomisine, çözünen maddenin fiziksel özelliklerine, dentin yüzeyine temas süresine ve smear tabakasının uzaklaştırılmasına bağlıdır (Mohammadi ve Dummer, 2011). Hidroksil iyonları aynı zamanda dentinin tamponlama, soğurma ve elektrik yükünden etkilenmektedir. Böylece, hidroksil iyonlarının dentine nüfuz etmesini sağlamaktadır. Yaklaşık 2 - 3 hafta sonra tüm dentin kalınlığı boyunca hidroksil iyonları diffüze olmakta ve dentinin dış yüzeyindeki pH yükselmektedir (Farhad ve Mohammadi, 2005; Mohammadi ve Dummer, 2011). Ayrıca, hidroksil iyonlarının asidik pH'a sahip kök rezorpsiyon alanlarına diffüzyonuyla rezorpsiyon defektinin ilerlemesi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Mohammadi ve Dummer, 2011).

2.2.4. Kalsiyum hidroksit taşıyıcıları ve etkileri

Kalsiyum hidroksit tozunun bir taşıyıcı ile karıştırılarak kök kanalı içerisine uygulanması gerekmektedir. Kanal içi medikaman olarak kullanılan kalsiyum hidroksit etkisini Ca^{+2} ve OH^- iyonlarına ayrılarak göstermektedir (Camargo ve ark., 2006). Kullanılan taşıyıcılar, medikamanın periapikal dokular tarafından ve kök kanalı içerisinde farklı hızlarda çözünmesini sağlayarak iyonik ayrışmanın hızını belirledikleri için önemli bir rol oynarlar (Mohammadi ve Dummer, 2011).

Hidroksil iyonlarının dentin tübüllerine difüzyonu sayesinde kalsiyum hidroksit tedavi edici etki göstermektedir (Mohammadi ve Shalavi, 2016). Kademeli ve yavaş iyon salınımı, doku sıvılarında çözünmemesi, dokulara yavaş difüzyonu sağlayarak, sert doku yapımını uyarması ideal bir taşıyıcı özelliğidir. Farklı taşıyıcılar, kalsiyum hidroksit patlarının çözünme hızındaki farklılıklara sebep olmaktadır. Viskozite ne kadar düşükse iyonik ayrışma o kadar fazla olacaktır (Fava ve Saunders, 1999; Mohammadi ve Dummer, 2011; Mohammadi ve Shalavi, 2016). Taşıyıcıların yüksek moleküler ağırlığı sayesinde, kalsiyum hidroksitin dokulara dağılması en aza indirilir. Bu sayede, medikaman istenilen alanda daha uzun süre tutulmaktadır (Athanassiadis ve ark., 2007).

Genel olarak, aköz, visköz ve yağlı olmak üzere 3 farklı tip taşıyıcı kullanılmaktadır (Fava ve Saunders, 1999; Mohammadi ve Dummer, 2011);

- Aköz (suda çözünebilen) taşıyıcılar: Su, salin, anestezik çözeltiler, karboksimetilselüloz, metilselüloz ve Ringer's çözeltisi.
- Visköz taşıyıcılar: Gliserin, polietilenglikol (PEG) ve propilen glikol.
- Yağlı taşıyıcılar: Zeytinyağı, silikon yağı, kâfur (kambri paroklorofenol yağı), bazı yağ asitleri (oleik, linoleik ve izostearik asitler dahil), öjenol ve metakresilasetat.

Kalsiyum hidroksit tozunun tek başına kanal içerisine gönderilmesi zor olduğundan bir taşıyıcıyla birleştirilmesi gereklidir. Aköz solüsyonlar hızlı iyon salınımı gerçekleştirdiklerinden diğer taşıyıcılara oranla daha çok tercih edilmektedirler (Mohammadi ve Dummer, 2011). Çoğunlukla taşıyıcı solüsyon olarak

steril su veya salin tercih edilmektedir. Safavi ve Nakayama'ya (2000) göre % 10 - 30 gliserol - su karışımı ile % 10 - 40 propilen glikol karışımının kalsiyum hidroksitin pH etkisi üzerinde en iyi sonucu vermektedir. Ayrıca bu taşıyıcıların daha yüksek konsantrasyonda kullanılmasının kalsiyum hidroksitin etkinliğini azalttığını da bildirmişlerdir (Safavi ve Nakayama, 2000). Kalsiyum hidroksit, asitten minimum düzeyde etkilenen güçlü bir bazdır. Dental lokal anestetik çözeltiler asidik bir pH'a sahip olmalarına rağmen (4 ile 5 arasında) kalsiyum hidroksit için uygun bir taşıyıcı olabileceği bildirilmiştir (Athanassiadis ve ark., 2007).

Visköz taşıyıcılar, kalsiyum ve hidroksil iyonlarının daha yavaş ve daha uzun sürede salınımını sağlayan suda çözünür maddelerdir (Gomes ve ark., 2002). Visköz bir taşıyıcı birkaç ay boyunca kök kanallarında kalabildiğinden kök kanal tedavisi ara seanslarında uygulanan medikaman için gereken randevu sayısı azalmaktadır (Fava ve Saunders, 1999). Buna ek olarak visköz taşıyıcıların kalsiyum hidroksitin antimikrobiyal aktivitesi üzerine etkisi vardır. Behnen ve ark. (2001), yoğun kıvamlı kalsiyum hidroksit ve su ($1 \text{ g ml}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) karışımı kullanımının, akışkan kıvamdaki bir karışıma kıyasla dentin tübüllerinde *E. faecalis*'e karşı antibakteriyel aktivitede önemli bir azalma sağladığını bildirmiştir. Polietilen glikol (PEG), en sık kullanılan taşıyıcılardan biridir ve düşük toksisite, sulu çözeltilerde yüksek çözünürlük ve düşük immünojenite ve antijenite gibi ideal bir dizi özelliğe sahiptir (Athanassiadis ve ark., 2007).

Yağlı taşıyıcıların uzaklaştırılması zor olduğundan ve kanal duvarlarında artık kalıntı bıraktıklarından kanal içi uygulamaları kısıtlıdır. Kanal duvarlarından uzaklaştırılmasının zorluğu nedeniyle kanal dolum materyallerinin dentin duvarlarına yapışmasını olumsuz etkileyeceğinden, bu tür taşıyıcıların kullanımı önerilmemektedir (Fava ve Saunders, 1999).

Özetle, kalsiyum hidroksit taşıyıcısı, patın fiziksel ve kimyasal özelliklerini ve dolayısıyla klinik uygulamalarını etkilemektedir. Aköz ajanlarla karşılaştırıldığında, visköz ve yağlı taşıyıcılar kalsiyum hidroksitin etkisini uzatmaktadır ancak ilişkili olumsuz yan etkilere de sahip olabilmektedirler (Mohammadi ve Dummer, 2011).

2.2.5. Kök kanalındaki kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılması

Kalsiyum hidroksit, esas olarak çözüldükten sonra çevresinde oluşturduğu yüksek pH değeri (yaklaşık 12,5) sayesinde sahip olduğu antibakteriyel ve antiinflamatuvar özellikleri nedeniyle yaygın olarak tercih edilen bir kanal içi medikamandır. Fakat avantajlarına rağmen kanal içi medikaman olarak kullanılan kalsiyum hidroksitin kök kanal dolumu yapılmadan önce kök kanalından uzaklaştırılması gerekmektedir (Çalt ve Serper, 1999). Literatürdeki bazı çalışmalara göre, kök kanalı içerisindeki kalsiyum hidroksit artıklarının kök kanal dolgu materyali olan kanal patlarına olumsuz etkileri olduğu bildirilmiştir (Barbizam ve ark., 2008; Ghabraei ve ark., 2017; Uzunoğlu Özyürek ve ark., 2018).

Margelos ve ark. (1997) tarafından kalsiyum hidroksit ile temas halindeki çinko oksit-öjenol esaslı kanal patlarının, özellikle kök kanalının apikal kısmında dentin tübüllerine penetrasyonunun olumsuz etkilendiği bildirilmiştir. Çeşitli teknikler kullanılarak uzaklaştırılan kanal içi kalsiyum hidroksitin çinko oksit öjenol esaslı kanal patları üzerine etkisini inceleyen bir başka çalışmada (Kim ve Kim, 2002), artık kalsiyum hidroksitin çinko oksit öjenol esaslı patları granüler hale getirdiği ve apikal sızıntıya sebep olduğu rapor edilmiştir. Hosoya ve ark. (2004) kanal içi kalsiyum hidroksitin dört farklı kanal patının fiziksel özellikleri ve sızdırmazlık yeteneği üzerine etkisini araştırdıkları bir çalışmada, kalsiyum hidroksitin çinko oksit öjenol esaslı kanal patların sızdırmazlık yeteneğini olumsuz etkilediği bildirilmiştir.

Barbizam ve ark. (2008), kanal içi medikaman olarak kullanılan kalsiyum hidroksit uygulamasından sonra rezin içerikli kanal patlarının dentin duvarına bağlanma kuvvetini değerlendirmişlerdir. Sonuç değerlerinin literatüre göre kabul edilebilir aralıkta olmasına rağmen yine de kalsiyum hidroksitin rezin esaslı patların adezyonunu olumsuz etkilediği bildirilmiştir. Benzer bir çalışma da Guiotti ve ark. (2014) tarafından yapılmış ve kanal içi kalsiyum hidroksit uygulamasından sonra üç farklı türde kanal patının dentin duvarına bağlanma kuvveti değerlendirilmiştir. Sonuçta, kalsiyum hidroksitin, kanal patlarının dentin duvarına bağlanmasına negatif etkisi olduğu ve özellikle rezin içerikli kanal patlarının adezyonunda başarısızlık elde edildiği rapor edilmiştir.

Ghabraei ve ark. (2017), ultrasonik irrigasyon ve el eğesi kullanılarak uzaklaştırılan kanal içi kalsiyum hidroksit artıklarının kalsiyum silikat esaslı patların basma kuvvetine karşı direncini incelemişlerdir. Kalsiyum hidroksit artıklarının kalsiyum silikat esaslı patların tıkama özelliğine negatif etkisi olduğunu rapor etmişlerdir (Ghabraei ve ark., 2017).

Sokhi ve ark. (2017), kanal içi medikaman olarak kullanılan kalsiyum hidroksitin epoksi rezin içerikli bir kanal patının apikal sızdırmazlığının değerlendirilmesi üzerine yaptıkları bir çalışmada, kalsiyum hidroksitin bu patların apikal sızdırmazlık yeteneğini önemli ölçüde etkilediğini bildirmişlerdir. Uzunoğlu Özyürek ve ark. (2018) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, epoksi rezin içerikli kanal patlarının dentin tübüllerine penetrasyon derinliği incelenmiş ve kalsiyum hidroksitin bu patlar üzerine olumsuz etkileri olduğu bildirilmiştir. Daha güncel benzer bir başka çalışma da Machado ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilmiş, kalsiyum hidroksit medikamanı uygulamasından sonra epoksi rezin içerikli kanal patlarının dentin tübüllerine penetrasyon derinliği incelenmiş ve önceki çalışmalarla benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Bu çalışmaların sonuçları, kanal dolum işleminden önce, kanal duvarlarından kanal içi medikamanların tamamen çıkarılması gerekliliğini göstermektedir. Kalsiyum hidroksitin kök kanalı duvarlarından uzaklaştırılmasında farklı irrigasyon solüsyonları ve aktivasyon yöntemleri kullanılmaktadır.

2.2.5.1. Kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında kullanılan irrigasyon solüsyonları

Literatürde yapılan çalışmalar, kalsiyum hidroksitin kök kanal duvarlarından tamamen uzaklaştırılması için çeşitli irrigasyon solüsyonları ve tekniklerin yetersizliğini bildirmiştir (Arslan ve ark., 2012; Çapar ve ark., 2014).

Margelos ve ark.'nın (1977) yaptığı çalışmanın sonuçlarına göre EDTA veya NaOCl'nin tek başına kök kanal duvarından kalsiyum hidroksit uzaklaştırmada etkili olmadıkları ancak bu solüsyonların el ile preparasyonda etkili olduğunu savunmuşlardır. Ayrıca artık kalsiyum hidroksitin kök kanal patı ile etkileşime girip sızdırmazlığına etki ettiğini de rapor etmişlerdir (Margelos ve ark., 1977).

Çalt ve Serper'in (1999) yaptığı bir çalışmada, sadece NaOCl kullanılan kanallarda kalsiyum hidroksit artıklarının gözlendiğini ancak NaOCl + EDTA kombinasyonunun kullanımının kalsiyum hidroksiti uzaklaştırmada daha etkili olduğu rapor edilmiştir.

Lambrianidis ve ark. (1999), salin, % 3 NaOCl ve % 3 NaOCl + % 17 EDTA irrigasyon solüsyonlarının el ile preparasyonu sonucu kalsiyum hidroksit uzaklaştırılma etkinliğini incelemişler ve sonuç olarak kullanılan irrigasyon solüsyonlarının hiçbirinin kalsiyum hidroksitin tamamını uzaklaştırmada etkili olmadığı ve kök kanalının % 45'inde artık kalsiyum hidroksit varlığını rapor etmişlerdir. Ayrıca; kullanılan kalsiyum hidroksit taşıyıcısının sonucu etkilediğini de bildirmişlerdir (Lambrianidis ve ark., 1999).

Lambrianidis ve ark. (2006) tarafından yürütülen bir başka çalışmada ise kalsiyum hidroksit $[Ca(OH)_2]$ / klorheksidin (CHX) jel, $Ca(OH)_2$ / CHX solüsyon ve $Ca(OH)_2$ / salin medikamanlarının enstrümantasyon ve NaOCl ve EDTA ile irrigasyonu ile uzaklaştırılma etkinliği incelenmiştir. Kullanılan irrigasyon solüsyonundan bağımsız olarak iğne ile irrigasyonda etkin bir uzaklaştırma elde edilememesi nedeniyle farklı aktivasyon yöntemlerinin tercih edilmesini önermişlerdir.

Salgado ve ark. (2009) yaptıkları bir çalışmada % 0,5 NaOCl, % 17 EDTA-C, sitrik asit, % 17 EDTA-T ve ana apikal eğe (MAF) ile enstrümantasyondan sonra % 0,5 NaOCl ile % 17 EDTA-T kullanarak kalsiyum hidroksit uzaklaştırma etkinliğini karşılaştırmışlardır. Irrigasyon solüsyonları ile kombinasyon halinde ana apikal eğenin tekrarlanması, tek başına irrigasyondan daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Rödig ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, sitrik asit, EDTA, NaOCl, distile su ve şelatörlerin NaOCl ile kombinasyonunun, kök kanalı içerisinde sonradan oluşturulan oluklardan kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılma etkinliği karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak hiçbir irrigasyon solüsyonu veya kombinasyonunun kalsiyum hidroksit uzaklaştırmada tamamen etkili olmadığı; ancak şelasyon yapan ajanların NaOCl'den daha iyi uzaklaştırma sağladığı rapor edilmiştir.

2.3. İrrigasyon Solüsyonlarının Aktivasyonunda Kullanılan Teknikler

2.3.1. Manuel aktivasyon teknikleri

Manuel olarak aktive edilen irrigasyon teknikleri, mevcut endodontik enstrümanları kullanarak basit ve uygun maliyetlidirler.

2.3.1.1. Konvansiyonel şırınga irrigasyonu

Şırınga irrigasyonu, uzun yıllardır endodontik tedavinin temelini oluşturan en yaygın yöntemdir. Literatürdeki birçok çalışma, şırınga irrigasyonunun kök kanal sisteminin dezenfeksiyon ve preparasyonunu sağladığını göstermiştir (Holliday ve Alani, 2014). Teknik, solüsyonun çalışma boyu uzunluğuna yakın bir yere yerleştirilmiş bir şırınga iğnesi ile kök kanalı içerisine verilmesidir. Bu yöntem genellikle, kök kanalının apikal üçte birlik kısmında pozitif bir basıncın gelişmesi nedeniyle pozitif basınçlı bir irrigasyon yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Boutsioukis ve van der Sluis, 2015). İrrigasyon ekstrüzyon kazası veya hipoklorit kazası pozitif basınçlı irrigasyon yönteminin bir dezavantajıdır. Bunun yerine negatif basınçlı irrigasyon yöntemi kullanılarak apikal foramen yoluyla irrigant ekstrüzyon riski en aza indirgenmiştir (Konstantinidi ve ark., 2017).

İğne ucunun apekse yakınlığı, irrigasyon solüsyonu hacmi ve küçük boyutlu irrigasyon iğneleri gibi faktörler irrigasyon verimliliğini artırabilmektedir. Şırınga iğnesinin kök kanalı içerisinde ileri geri hareketi, korono-apikal yönde kanal içerisindeki irrigan sıvısının karıştırılmasını ve kanal duvarları üzerindeki kayma gerilimini artırmaktadır (Holliday ve Alani, 2014). Bunun yanında, şırınga irrigasyonu kullanımında bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Yapılan çalışmalarda, irrigasyon solüsyonunun iğne ucunun 1 mm ötesine ulaşabildiği ve kanal içerisinde yıkanmayan bölgeler kaldığını göstermiştir (Gulabivala ve ark., 2010).

Şırınga irrigasyonu için farklı tipte iğne uçları bulunmaktadır. Açık uçlu düz iğneler daha iyi apikal penetrasyon sağlarken, irriganın apikal ekstrüzyon riski nedeniyle kullanımı tercih edilmemektedir (Holliday ve Alani, 2014). Ucu yandan açık iğneler daha zayıf apikal penetrasyona sahiptir, ancak kanal duvarlarındaki irrigasyon

solüsyonu dalgalanmasını yoğunlaştırır ve yüksek yerel hız gradyanı sayesinde daha fazla biyofilm uzaklaştırılmasını sağlar (Holliday ve Alani, 2014). Ancak irrigasyon iğnesinin sığacağı kadar kök kanalının yeterli genişliğe sahip düz bölgelerinin sınırlı olması bir dezavantajdır (Holliday ve Alani, 2014).

Yaygın kullanımına rağmen, konvansiyonel şırınga irrigasyonunun mekanik temizleme etkinliğini karşılaştıran bir çalışmada, bu tekniğin kök kanalı sistemi dezenfeksiyonuna düşük etkisi olduğu bildirilmiştir (Jiang ve ark., 2012).

2.3.2. Cihaz destekli aktivasyon teknikleri

2.3.2.1. XP-endo finisher eğe

XP-endo Finisher eğeler (FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, İsviçre), NiTi alaşımı (Martensit - Östenit Elektropolish - FleX) kullanılarak oluşturulan bir döner bitim egesidir. Geliştirilmiş esnekliği olan küçük bir çekirdek boyutuna (ISO 25 çap ve sıfır koniklik) sahiptir. XP-endo Finisher eğeler farklı sıcaklıklarda şekil değiştirdiği (oda sıcaklığında martensit fazda, vücut sıcaklığında östenit faza geçmektedir) ve yüksek esnekliğe sahip olduğu üretici firma tarafından iddia edilmektedir (Silva ve ark., 2017).

Farklı sıcaklıklarda reaksiyona giren özel bir titanyum alaşımından (Martensite-Austenite Electropolish-FleX) yapılmış olan esnek yapıdaki bu eğeler, kök kanalının mekanik olarak hazırlanmasının ardından irrigasyon solüsyonunun aktivasyonu için önerilmektedir (Leoni ve ark., 2017).

Genel olarak, XP-endo Finisher eğelerinin etkinliği, NiTi alaşımının şekil belleği ilkelerine dayanmaktadır. Eğe soğutulduğunda düz hale gelmektedir (M-fazı) ancak; kanal içinde vücut sıcaklığına maruz kaldığında, moleküler hafızasının neden olduğu son 10 mm'de kavisli bir şekle (A fazına) dönüşür (Marques da Silva ve ark., 2020). Kök kanalı içerisinde dönme hareketi sırasında, A fazı şekli, eğenin geleneksel aletlerle erişilemeyen alanlara erişmesini sağlar. XP-endo Finisher eğelerin esnekliği sayesinde eğenin dönme hareketi sırasında çapı genişlemekte ve 6 mm çapında bir alanda etkin olabilmektedir. Bu nedenle XP-endo Finisher eğe, ulaşılması zor alanlarda dentinin korunmasını sağlayarak kanalın mekanik temizliğini sağlamaktadır.

(Denna ve ark., 2020). Bu eğelerin, kök kanalının daha iyi temizlenmesi için herhangi bir kök kanalı enstrmantasyonundan sonra kullanılması gerekli olduğu bazı çalışmalarda bildirilmiştir (Silva ve ark., 2017).

Bu eğelerin, kavisli ve oval kanallardaki kalsiyum hidroksit artıklarının uzaklaştırılmasını sağladığı, yeniden kök kanal tedavisi sırasında kanal içerisindeki medikamanı ve kök kanal dolum materyallerinin uzaklaştırılabildiğı, kanal içi bakterilerin azalmasını sağladığı, irrigasyon solüsyonu aktivasyonu için kullanılan diğer cihazlarla karşılaştırıldığında i kök kanal rezorpsiyonu vakalarında kalsiyum hidroksit uzaklaştırmada etkili olduğu bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Keskin ve ark., 2017; Ulusoy ve ark., 2018; Marques da Silva ve ark., 2020)

Ayrıca, şekillendirmeden sonra temizliğı optimize etmek için bir dakikalık çalışma süresi tavsiye edilmesine rağmen; kalsiyum hidroksit medikamanının kök kanalından uzaklaştırılmasının bir dakikadan fazla srebildiğı de rapor edilmiştir (Hamdan ve ark., 2017).

2.3.2.2. Sonik aktivasyon

Sonik cihazlar, esnek uçlar kullanarak düşük frekanslarda (< 20 kHz) alışarak akustik mikro dalgalanmayı indüklemek için kök kanalını şekillendirme işleminden sonra kullanılmaktadır. Hızlı hareketi sayesinde, kanal preparasyonu sırasında eğenin temas edemediğı alanlara nüfuz ederek doku kalıntıları ve biyofilm üzerindeki kayma gerilimini (shear stress) artırır (Galler ve ark., 2019). Sonik aktivasyon cihazlarına EndoAktivator Sistem (Dentsply Tulsa Dental Specialities, Tulsa, OK, ABD), EDDY (VDW, Münih, Almanya), Vibringe sonik irrigasyon sistemi (Cavex BV, Hollanda), Micromega Sonik Air 1500 ve Rispi-Sonik eğe (Medidenta International Inc, Woodside, NY) rnek verilebilir (Nusstein, 2018).

EDDY, 6000 Hz frekansta çalışan sonik aktivasyon ile kullanılan bir polimer uçtur. Pasif ultrasonik irrigasyona kıyasla düz kök kanallarındaki artık doku ve smear uzaklaştırma etkisinin olduğu bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Urban ve ark., 2017). Yine pasif ultrasonik irrigasyona kıyasla kavisli ve düz kanallarda bakteri yükünün azalmasını (Neuhaus ve ark., 2016) ve ayrıca kök kanallarında organik

dokunun çözünmesini sağladığı da rapor edilmiştir (Conde ve ark., 2017). Vibringe sonik irrigasyon sistemi, irrigasyon solüsyonunun sadece tek bir adımda kök kanalına hem iletilmesini hem de kanal içi aktivasyonunu sağlamaktadır. Solüsyonun akustik hareketiyle aktivasyonu, biyofilmin eliminasyonu ve karmaşık anatomik alanların dezenfeksiyonunda etkili olmaktadır (Dumani ve ark., 2016). Rispi-Sonik eğeler ile kullanılan Sonik Air Micro-Mega el aleti, orijinal olarak kök kanallarının şekillendirilmesi için geliştirilmişlerdir (Karade ve ark., 2017). Irrigasyon solüsyonu aktivasyonu için kullanıldığında, kanal içi debrisleri konvansiyonel şırınga irrigasyonuna oranla daha etkili uzaklaştırdığı fakat pasif ultrasonik irrigasyondan daha az etkin olduğu bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Jensen ve ark., 1999; Sabins ve ark., 2003).

EndoAktivator Sistem, irrigasyon solüsyonlarını hızlı, kuvvetli ve güvenli bir şekilde aktive etmek için kullanılan bir sonik cihazdır (Patel ve ark., 2021). Kök kanal dentini üzerinde kesme etkinliği olmayan farklı boyutlarda 3 tip tek kullanımlık esnek polimer uçlara sahiptir (Elnaghy ve ark., 2017). EndoAktivator Sistemler, kanal içi solüsyonların güvenli bir şekilde etkinleştirilmesini sağlar ve güçlü irrigasyon solüsyonu aktivasyonu sağlamaktadır (Bago ve ark., 2013).

Desai ve Himel (2009), çeşitli kanal içi irrigasyon solüsyonu aktivasyon sistemlerinin güvenliğini, solüsyonun apikal ekstrüzyon miktarını ölçerek analiz etmişlerdir. Bu araştırmacılar, EndoAktivator'ün manuel, ultrasonik ve Rinsendo (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Almanya) gruplarına kıyasla apekten ekstrüze olan solüsyon miktarının istatistiksel olarak önemsiz denilecek kadar az miktarda olduğu sonucuna varmışlardır.

Kök kanal duvarlarının temizliği analizi üzerine yapılan bir çalışmada (Sabins ve ark., 2003), araştırmacılar hem sonik hem de ultrasonik aktivasyonun konvansiyonel şırınga irrigasyonu ile karşılaştırıldığında, konvansiyonele göre kök kanallarını önemli ölçüde daha temiz hale getirdiklerini öne sürmüşlerdir. de Gregorio ve ark. (2009), tarafından yapılan bir çalışmada, EndoAktivator sisteminin, tek başına konvansiyonel şırınga irrigasyonuna kıyasla, çalışma uzunluğundan 4,5 ve 2 mm mesafede simüle edilmiş lateral kanalları daha iyi temizlediğini bildirilmiştir.

Neuhaus ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada pasif sonik irrigasyon cihazının (6000 Hz) düz ve eğri kanallardaki farkı mikroorganizmaları elimine etme yeteneği incelenmiş ve mikrobiyal yükün eliminasyonunda etkili olduğu bildirilmiştir. Eggman ve ark.'nın (2020), enfekte kök kanallarının farklı güç modlarında kullanılan sonik aktivasyon cihazları ile dezenfeksiyonunu inceledikleri bir çalışmalarında, sonik cihazların yüksek güç modunda kullanılmasının kanal içi dezenfeksiyona olumlu etkisinin olduğunu ve antibakteriyel etkinliği arttırdığını bildirmişlerdir.

2.3.2.3. Ultrasonik aktivasyon

İrrigasyon solüsyonlarının ultrasonik aktivasyonu, kök kanalı içerisindeki artık debridmanlara ulaşılmasında ve dezenfeksiyonunda önemli bir seçenek olarak görülmektedir. Kanal içerisindeki irrigasyon solüsyonunun aktivasyonu ile kanal dezenfeksiyonunun etkinliğini artırmak için pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ) uygulanmaktadır (Topçuoğlu ve ark., 2014).

Ultrasonik olarak solüsyonun aktivasyonu, kök kanalı içerisinde akustik mikro dalgalanma oluşturan, 25 - 30 kHz'de kesmeyen bir ege ile gerçekleştirilir (Rödig ve ark., 2019). Kök kanalı içerisinde çalışma uzunluğuna kadar yerleştirilen ultrasonik uç aktive edilir ve kök kanal duvarlarına bağlanmamasını sağlamak için pasif olarak yukarı aşağı hareket ettirilir (Topçuoğlu ve ark., 2014). Bununla birlikte, kesmeyen eğerlerin kullanılmasına rağmen, mandibular molarların kavisli mezial kök kanallarının apikal üçte birinde ultrasonik aktivasyon sırasında dentinin kontrolsüz olarak uzaklaştırıldığı da bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Retsas ve ark., 2016).

PUİ kullanımının, karmaşık kök kanal anatomisine sahip dişlerin dezenfeksiyonunda önemli etki sağladığını ve enstrümantasyondan kaynaklanan pulpa dokusu ve nekrotik dentin artıklarını azalttığını (Oliveira ve ark., 2019); ayrıca kök kanalı içerisinde irrigasyon ajanının aktivasyonu ile kök kanal medikamanı olarak kullanılan kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında iyi sonuçlar verdiği yapılan birçok çalışmada bildirilmiştir (Van der Sluis ve ark., 2007; Taşdemir ve ark., 2011; Wiseman ve ark., 2011; Çapar ve ark., 2014). Al-Jadaa ve ark. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, NaOCl'in PUİ ile aktivasyonunun şırınga irrigasyonuna göre daha fazla

artık doku uzaklaştırdığı ve smear tabakasını uzaklaştırmada daha etkili olduğu gözlenmiştir.

Literatürdeki bazı çalışmalarda, PUİ ile kalsiyum hidroksitin uzaklaştırma etkinliği değerlendirilmiş ve sonuçta kalsiyum hidroksit uzaklaştırmada bu tekniğin üstün etkisine rağmen, özellikle kök kanalının apikal kısmında oluşturulmuş yapay standardize oluk gibi kök kanal duvarları düzensizliklerinde artık kalsiyum hidroksit varlığı tespit edilmiştir (Taşdemir ve ark., 2011; Çapar ve ark., 2014).

Sonik ile ultrasonik irrigasyonu karşılaştıran çalışmaların sonuçları tartışmalıdır. Çalışmaların bazıları ultrasonik aktivasyonu üstün bulurken (Rödig ve ark., 2011; Wiseman ve ark., 2011), bazıları ise ultrasonik ve sonik irrigasyon arasında önemli bir fark bulunmadığını bildirmişlerdir (Klyn ve ark., 2010; Plotino ve ark., 2019). Birbirleri arasındaki fark, salınımlı hareketten kaynaklanmaktadır. Sonik cihazlar, 1500 ile 6000 Hz arasında salınım yaparken, ultrasonik cihazlar 20 000 Hz'den büyük titreşimler oluşturmaktadır (Jensen ve ark., 1999; Sabins ve ark., 2003).

Alves ve ark.'nın (2011) yaptığı bir çalışmada, oval şekilli kök kanallarında kemomekanik preparasyonun antibakteriyel etkinliğini arttırmak için % 2,5 NaOCl'in PUİ ile aktivasyonunu önermişlerdir. Neuhaus ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada PUİ'nin düz ve eğri kanallardaki farkı mikroorganizmaları elimine etme yeteneğinin pasif sonik irrigasyon cihazının etkinliği kadar üstün olduğu bildirilmiştir. Alvarez Sagüez ve ark. (2021) yaptıkları bir çalışmada etidronik asitin (HEDP) PUİ ile aktivasyonunda *E. faecalis* biyofilmini uzaklaştırmada üstün etkisi olduğu bildirilmiştir.

2.3.2.4. Lazer ile aktivasyon teknikleri

Göreceli olarak güvenli olduğu gösterilen lazer teknolojisi, diş hassasiyetinin azaltılması, çürüklerin giderilmesi, kavite ve kök kanal hazırlığı, dezenfeksiyon ve beyazlatma gibi bazı diş tedavileri için önerilmiştir (da Costa Lima ve ark., 2015; Kirmali ve ark., 2015). Lazerin endodontik tedavide kullanılması yumuşak doku, smear tabakası veya kök kanal medikamanının uzaklaştırılması, dentin yüzeyinin

düzenlenmesi ve kök kanallarının dezenfeksiyonu amaçları sebebiyle tercih edilmektedir (Kuştarcı ve ark., 2016).

İrrigasyon solüsyonlarının kök kanalı içerisinde aktive edilmesi için bir başka yaklaşım da lazer kullanımıdır. Birçok çalışma, farklı lazer tipleri kullanarak farklı irrigasyon solüsyonlarını aktive etme yetenekleri karşılaştırılmıştır (Gurbuz ve ark., 2008; Akyuz ve Erdemir, 2015). Yakın kızılötesi lazerler (Nd: YAG), orta kızılötesi erbiyum ailesi lazerler (Er:YAG ve Er,Cr:YSGG) veya uzak kızılötesi karbondioksit (CO₂) lazerlerin kök kanal dezenfeksiyonu üzerine etkinlikleri, NaOCl veya EDTA irrigasyon solüsyonları kullanılarak yapılan bazı çalışmalarda araştırılmıştır (Gurbuz ve ark., 2008; Kaptan ve ark., 2012).

Gurbuz ve ark. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, kök kanalının dezenfeksiyonunda % 15 EDTA solüsyonun Nd: YAG ile aktivasyonunun düşük etkinliğini gözlemlenmiştir. Kaptan ve ark. (2012), % 17 EDTA ve % 5 NaOCl irrigasyonu ile kombinasyon halinde bir Er:YAG lazerin kalsiyum hidroksit uzaklaştırma potansiyelini değerlendirmişler ve Er:YAG lazerin etkinliğinin yetersiz olduğunu bildirmişlerdir. Akyuz ve Erdemir (2015) tarafından yapılan bir çalışmada ise Nd:YAG ve Er:YAG lazerlerin smear tabakasını elimine etmede diyet lazerlere üstünlüğünü rapor etmişlerdir.

Erbiyum, krom: itriyum-skandiyum-galyum-garnet (Er,Cr:YSGG – 2790 nm) lazer veya erbiyum: itriyum alüminyum garnet (Er:YAG – 2940 nm) kullanılarak lazerle irrigan aktivasyonunda (LAİ), patlama ve kavitasyon oluşurken lazer enerjisi emilir, buhar kabarcıkları oluşur, kabarcıklar çöker, akustik kesme kuvvetleri olarak tepki veren şok dalgaları oluşur (Kuştarcı ve ark., 2016). Fiber uçtaki bu genişleyen ve patlayan buhar kabarcıkları, kök kanalı içerisinde sıvı hareketine ve akustik dalgalanmaya neden olabilecek ikincil kavitasyona neden olarak kök kanal sistemi içindeki sıvı dinamiklerini büyük ölçüde geliştirmektedir (Kurzmann ve ark., 2020). Lazer kaynaklı oluşan bu kavitasyon kabarcıklarıyla, kök kanalının içerisinde daha derinlere ulaşan irrigasyon solüsyonu kanalın dezenfeksiyonunu sağlamaktadır (Betancourt ve ark., 2020).

2.3.2.4.1. Erbiyum, krom: itriyum-skandiyum-galyum-garnet lazer

(Er,Cr:YSGG)

Kök kanalı içerisinde kullanılan 2780 - 2790 nm dalga boyundaki Er,Cr:YSGG lazerler, 20 m/sn (72 km /saat) varan sıvı hareket hızlarıyla, her atımın hemen ardından kök kanalı içindeki sıvı hareketini gerçekleştirmektedirler. Kök kanalı içerisindeki Er,Cr:YSGG lazerin çalışma mekanizması, buhar kabarcığının genişlemesi ve patlaması sonucu sekonder kavitasyonu oluşmasıdır. Bu kavitasyonun etkisiyle sıvının yüksek hızda kök kanalı içerisinde girip çıkma hareketleri adeta bir sıvı pompası oluşturmaktadır (Blanken ve ark., 2009).

Er,Cr:YSGG lazerlerin, smear tabakasını, kök kanal içerisindeki artık dokuları uzaklaştırarak kanal içi dezenfeksiyonu sağladığı bildirilmiştir (Eymirli ve ark., 2017). Ayrıca Er,Cr:YSGG kullanılan bir çalışmada, 10 günlük intrakanal *E. faecalis* biyofilmlerine karşı % 0,5 NaOCl'nin antimikrobiyal aktivitesini arttırmada Er,Cr:YSGG lazerin PUI'den daha etkili olduğu bildirilmiştir (Betancourt ve ark., 2020).

Bolhari ve ark.'nın (2014) Er,Cr:YSGG lazerlerin debris ve smear tabakası uzaklaştırmadaki etkinliklerini inceledikleri bir çalışmada, 1,5 W ayarında kullanılan Er,Cr:YSGG lazerin kök kanal duvarının apikal, orta ve koronal kısımlarındaki smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırdığı bildirilmiştir. Benzer bir başka çalışma da Montero-Miralles ve ark. (2018) tarafından yapılmış ve Er,Cr:YSGG lazerle % 17 EDTA kullanımının üstün etkiye sahip olduğu bildirilmiştir.

Eldeniz ve ark. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, düz köklere sahip dişlerde Er,Cr:YSGG lazer kullanımının kök kanallarındaki *E. faecalis* popülasyonunu azalttığı, ancak tümünü elimine edemediği bildirilmiştir. Buna karşın, Licata ve ark. (2013) 75 mJ enerji gücünde 60 sn boyunca kullanılan Er,Cr:YSGG lazerin *E. faecalis* 'i tamamen elimine ettiğini rapor etmişlerdir

Farklı irrigasyon solüsyonları ile Er,Cr:YSGG lazerin kök kanallarında oluşturulan yapay oluklardaki kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılma etkinliğini değerlendiren bir çalışmada, artık kalsiyum hidroksitin tamamının uzaklaştırılamadığı

ancak; Er,Cr:YSGG lazerin şırınga irrigasyonuna göre üstün etki gösterdiği bildirilmiştir (Kuştarcı ve ark., 2016).

2.3.2.4.2. Erbiyum: itriyum alüminyum garnet lazer (Er:YAG)

Endodontide Er:YAG lazerler (dalga boyu 2940 nm) kök kanalını temizlemek, şekillendirmek ve genişletmek için kullanılmaktadır (DiVito ve ark., 2012).

Litereatürde yapılmış bazı çalışmalarda, bu lazerlerin kök kanal duvarları üzerindeki kabiliyeti ve etkileri test edilmiş ve Er:YAG lazerin kök kanallarındaki smear tabakasının uzaklaştırılması için uygun olduğu gösterilmiştir (Takeda ve ark., 1998). Ayrıca, George ve ark. (2008), hem Er:YAG hem de Er,Cr:YSGG lazerlerin, konik ve düz şekilli radyal ışınlama uçları ile smear tabakasının kök kanalının apikal üçte birlik kısmından uzaklaştırılma kabiliyetinin araştırıldığı çalışmalarda, düz uçlara kıyasla konik uçların daha iyi performansla sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Daha yakın zamanlarda, Er:YAG lazerler ile, farklı enerjilerle ultra kısa darbeler kullanarak fotoakustik ve fotomekanik etkilerle kanal içi kavitasyon ve şok dalgalarına yol açan irrigasyon solüsyonu aktivasyonu teknikleri kullanılmıştır (Do ve Gaudin, 2020).

Gorus (2018), farklı parametrelerde kullanılan Er:YAG lazerin smear tabakası uzaklaştırmadaki etkinliğini üzerine bir etkisinin olmadığını rapor etmiştir. Naghsh ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada ise Er:YAG lazer kullanımıyla smear tabakasının tamamının elimine edildiği bildirilmiştir.

Vezzani ve ark. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *E. faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *C. albicans* ile kontamine olmuş kök kanallarının Er:YAG lazer dezenfeksiyonu değerlendirilmiş ve en fazla eliminasyonun (% 89,5) 100 mJ/16 Hz parametreler ile sağlandığı bildirilmiştir. Johnson ve ark. (2020), kök kanalının dezenfeksiyonu için Er:YAG lazer ve ultrasonik irrigasyonun etkinliğini değerlendirmişler ve sonuçta % 3 NaOCl'nin ultrasonik aktivasyonunun Er:YAG lazerden üstün etki sağladığını rapor etmişlerdir.

2.3.2.4.2.1. Foton ile indüklenen fotoakustik dalgalanma (Photon induced photoacoustic streaming - PIPS)

Genel olarak PIPS tekniği, 400 µm çapındaki özel fiber ucun 20 mJ, 20 Hz ve 50 µs ayarları kullanarak düşük enerji seviyeleri ve kısa atış hızı kullanarak, minimum termal etkiyle yüksek güç artışları ve yoğun şok dalgalarının güvenli ve verimli üretimi ilkesine dayanmaktadır (Li ve ark., 2015). Er:YAG lazer kullanılarak 50 µs impulslarda ortalama 0,3 W güç için 15 Hz'de 20 mJ'lik subablatif enerjilerin lazer impulsları ile radyal ışınlama yapmaktadır. Bu uyarılar sonucu, su molekülleri 400 W'lık pik güçle etkileşime girmektedir; böylece, kanal içinde bulunan antibakteriyel sıvının sıcaklık artışı olmadan güçlü bir dalgalanmanın oluşmasına yol açan ardışık şok dalgaları oluşturulmaktadır. Oluşan derin fotoakustik şok dalgası, irrigasyon solüsyonlarının üç boyutlu hareketini sağlamaktadır (Mohammadi ve ark., 2017). Konvansiyonel şırınga irrigasyonu ile karşılaştırıldığında, bu teknik kök kanal duvarlarından smear tabakasının, debrislerin, medikamanların veya bakterilerin önemli ölçüde uzaklaştırılmasını, dentin tübüllerinin dezenfeksiyonunu, ayrıca; kök kanal patı ile rezin siman için daha yüksek bağlanma gücü değerlerini sağlamaktadır (Akçay ve ark., 2016).

Geleneksel lazer uygulamalarının aksine, konik şekilli PIPS ucunun kök kanalı içerisine yerleştirilmesi zorunlu değildir, bunun yerine sadece pulpa odasına veya kanal ağzına yerleştirilebilmektedir. Böylece daha geniş kanallar oluşturmak için daha büyük aletlerin kullanılması ihtiyacı azalmakta ve tedavi sırasında kullanılan irrigasyon solüsyonları kanalın apikal kısmı ile lateral kanallara etkili bir şekilde ulaşabilmektedir (Kurzmann ve ark., 2019).

Literatürde, biyofilm bakterilerine karşı antimikrobiyal etkinliği konusunda NaOCl, CHX, EDTA veya salin solüsyonu ile kombinasyon halinde değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur. Jaramillo ve ark. (2012), PIPS ile % 6 NaOCl aktivasyonunda kanal içi *E. faecalis*'in tamamının elimine edildiğini bildirmişlerdir. Balić ve ark. (2016), PIPS'in konvansiyonel şırınga irrigasyonu veya diğer aktivasyon tekniklerine kıyasla irriganların antimikrobiyal etkinliğini arttırdığına dair net bir sonuç bulunmadığını bildirmişlerdir. *E. faecalis*'in intrakanal biyofilmine karşı QMiX ve

NaOCl ile kombine olarak sonik aktivasyon ve PIPS tekniklerinin antibakteriyel etkinliğini inceleyen bir çalışmada, kullanılan irrigasyon solüsyonundan bağımsız olarak, sonik ve PIPS ile aktive edilen irrigasyon arasında bakteri azalmasında bir fark olmadığı ve QMiX ile NaOCl'nin PIPS aktivasyonunda üstün bir antimikrobiyal etki göstermediği bildirilmiştir (Balić ve ark., 2016). Oysa buna karşın, Ordinola ve ark.'nın (2014) yaptığı bir in vitro çalışmada, biyofilm uzaklaştırılmasında % 6 NaOCl kullanılarak PIPS, sonik ve pasif ultrasonik aktivasyon teknikleri karşılaştırılmış; PIPS gruplarında enfekte dentinin daha iyi temizlendiği sonucuna varılmıştır. Benzer bir şekilde, Kasic ve ark. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı tür lazerlerin kök kanalındaki *E. faecalis* ve *C. albicans*'i uzaklaştırmadaki etkinlikleri kıyaslanmış ve 0,3 W'luk Er:YAG lazer ile kullanılan PIPS ucun Er,Cr:YSGG lazerle istatistiksel olarak anlamlı derecede etkili oldukları rapor edilmiştir.

DiVito ve ark. (2012), 20 mJ, 15 Hz, 0,3 W, 50 µs parametrelerde kullanılan PIPS'in % 17 EDTA ile aktivasyonunun smear uzaklaştırmada üstün etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde. Do ve Gaudin (2020) tarafından yapılan bir çalışmada da, PIPS'in kök kanal dezenfeksiyonu ve smear tabakası uzaklaştırmada yine etkili olduğu rapor edilmiştir.

Kök kanalı içerisindeki debris uzaklaştırmada PIPS ile irrigasyon solüsyonu aktivasyonunun ultrasonik aktivasyondan daha üstün olduğu literatürde yapılan birçok çalışmada bildirilmiştir. (Lloyd ve ark., 2014; Li ve ark., 2015; Lloyd ve ark., 2016) Ancak Verstraeten ve ark. (2017), mandibular molarların mezial köklerinden kanal içi sert doku artıklarının uzaklaştırılmasında PIPS ile ultrasonik aktivasyon arasında önemli bir fark olmadığını bildirmişlerdir.

Arslan ve ark. (2015a), farklı güç ayarlarında PIPS tekniğinin irrigasyon solüsyonunun ekstrüzyonu üzerindeki etkisi inceledikleri çalışmalarında, hem 0,3 W hem de 0,9 W'luk güç kullanımında PIPS'in konvansiyonel şırınga irrigasyonu ve ultrasonik irrigasyon ile benzer solüsyon ekstrüzyonuna sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Bunun yanında Yang ve ark. (2020b), PIPS tekniği ile ultrasonik aktivasyon tekniğinin kalsiyum hidroksit uzaklaştırılma etkinliğini karşılaştırmış ve sonuçta koronal bölgede PIPS ile daha fazla kalsiyum hidroksit uzaklaştırılırken orta

ve apikal bölgelerde ultrasonik aktivasyon tekniği ile PIPS'in benzer performans gösterdiğini bildirmişlerdir.

Akçay ve ark. (2016), PIPS uçlu Er:YAG lazer, Preciso uçlu Er:YAG lazer, sonik ve pasif ultrasonik aktivasyon tekniklerinin kullanımıyla son irrigasyon solüsyonunun dentin tübüllerine penetrasyonuna etkilerini değerlendirmişler ve sonuçta hem PIPS hem de Preciso uçlu Er:YAG lazer kullanımının irrigasyon penetrasyonunu arttırdığını rapor etmişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada PIPS tekniği ile düz kök kanallarında oluşturulan yapay oluklardaki kalsiyum hidroksitin tamamen uzaklaştırıldığı gözlemlenmiştir (Arslan ve ark., 2015b). Laky ve ark.'nın (2018) yaptığı bir çalışmada ise 0,15 W ve 1 W'lık PIPS tekniği uygulamasının, standardize edilmiş bir diş modelinin kök kanalından kalsiyum hidroksitin çok etkili bir şekilde (yaklaşık % 100) uzaklaştırılmasını sağladığı bildirilmiştir.

2.3.2.4.2.2. Şok dalgası geliştirilmiş emisyon fotoakustik dalgalanma (Shock wave enhanced emission photoacoustic streaming- SWEEPS)

SWEEPS® Er:YAG lazer tekniği, pulpa odası içerisine yerleştirilen bir fiber uç kullanılarak, karmaşık kök kanal sistemi boyunca 2940 nm dalga boyunda, 0,3 W, 15 Hz ve 20 mJ'lık enerji ile birincil ve ikincil şok dalgalarının üretilmesini sağlayarak endodontik prosedürlerde lazer destekli kök kanal dezenfeksiyonu işlemlerinin etkinliğini artırmak amacıyla geliştirilmiştir (Ivanusic ve ark., 2019). Şok dalgalarının irrigasyon solüsyonlarına iletilmesi ve bunun sonucunda ortaya çıkan gelişmiş sıvı dinamikleri ile kök kanal tedavisine yeni bir bakış açısı kazandırmak hedeflenmiştir (Lukac ve ark., 2017).

Genel olarak, lazer darbesinin yüksek enerjisi nedeniyle, irrigasyon solüsyonun ısınmasıyla buhar kabarcıkları oluşmaktadır. Bu kabarcıkların şiddetli genişlemesi ve çökmesi daha sonra irrigasyon solüsyonunu kök kanal sistemi boyunca hızlı bir şekilde hareket ettirmektedir (Su ve ark., 2020). SWEEPS tekniğinde, lazer kaynaklı kabarcıkların çöküşü hızlanarak şok dalgalarının dar kök kanallarına yayılması sağlanmaktadır. Smear tabakasına süper sonik hızlarla ulaşan ve yayılan birincil şok dalgaları ve kanal duvarlarının yakınındaki ikincil kabarcıkların hızla çökmesiyle

oluşan dalgalanma, lazerle indüklenen irrigasyon solüsyonunun temizleme ve dezenfeksiyon etkinliğini arttırmaktadır (Lukac ve ark., 2017). PIPS tekniğinde, her döngüde kare dalga formu tek bir lazer darbesi ışıması yapılırken; bunun aksine, SWEEPS tekniğinde lazer kaynaklı kabarcıkların çökmesini hızlandırmak için optimum bir zaman aralığında senkronize ultra kısa atım çiftleri kullanılmaktadır (Su ve ark., 2020). PIPS aktivasyon tekniğinde olduğu gibi SWEEPS tekniğinde de fiber ucun kök kanalının içerisine yerleştirilmesine gerek kalmadan giriş kavitesine yerleştirilebilmesi bir avantajdır (Su ve ark., 2020).

Literatürde SWEEPS tekniğine dair az sayıda çalışma bulunmaktadır. Yan kanallardaki irrigasyon aktivasyon performansı bir yana, SWEEPS tarafından aktive edilen irrigasyon solüsyonu dalgalanması hakkında da az bilgiye rastlanılmaktadır. Su ve ark. (2020), PIPS ve SWEEPS kullanarak simüle edilmiş bir yan kanaldaki irrigant aktivasyonunu değerlendirmişler ve ultrasonik aktivasyon ile karşılaştırıldığında, PIPS ve SWEEPS'in yan kanalların daha derin bölgelerinde irrigasyon solüsyonunun penetrasyonunun sağlandığını gözlemlemişlerdir.

Ivanusic ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada SWEEPS yöntemi kullanılarak kök kanal sistemindeki artık medikamanların uzaklaştırılma etkinliğini değerlendirilmiştir. Sonuçta; SWEEPS'in üç boyutlu olarak etki ederek ve dentin tübüllerini dekontaminasyonunu önemli ölçüde arttırdığı rapor edilmiştir. Bir başka çalışmada, SWEEPS lazer aktivasyon tekniğinin mikro bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) görüntüleme kullanılarak dentin debrisinin uzaklaştırılması üzerindeki etkisi incelenmiş ve SWEEPS tekniği kullanımıyla özellikle isthmus içeren mezial köklerde daha az debrise rastlanıldığı bildirilmiştir (Yang ve ark., 2020a). Güncel bir çalışma olarak, Arıcıoğlu ve ark. (2021), SWEEPS, PIPS ve ultrasonik irrigasyon aktivasyonunun kök kanalından debris uzaklaştırma etkisini kıyaslamışlar ve sonuç olarak SWEEPS'in PIPS ve ultrasonik aktivasyondan üstün debris uzaklaştırma etkisinin olduğu rapor edilmiştir.

Yakın zamanlarda Yang ve ark. (2020b), mikro-BT kullanarak mandibular molarların kök kanallarından kalsiyum hidroksit uzaklaştırılmasında konvansiyonel şırınga irrigasyonu, ultrasonik aktive edilmiş irrigasyon, PIPS ve SWEEPS

tekniklerinin etkinliğini karşılaştırmışlardır. Sonuçta hiçbir tekniğin kalsiyum hidroksiti tamamen uzaklaştıramadığını fakat ultrasonik aktivasyon ile PIPS ve SWEEPS tekniklerinin kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında önemli ölçüde başarılı olduğu rapor edilmiştir. Bunun yanında SWEEPS ile PIPS teknikleri arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Yang ve ark., 2020b).

Galler ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, boya solüsyonunun penetrasyonunun ultrasonik, sonik, PIPS ve SWEEPS olmak üzere birçok farklı irrigasyon yöntemleriyle karşılaştırılmış ve PIPS'in dentin tübülünde penetrasyon derinliği açısından SWEEPS'den daha iyi performansa sahip olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmanın sonucu, SWEEPS'in çoklu alt darbelerle daha güçlü fotoakustik dalgalanmayı indükleyebileceği şeklindeki geleneksel fikirle çelişmektedir. (Su ve ark., 2020; Galler ve ark., 2019).

Hem SWEEPS hem de PIPS tekniklerinin avantajlarını ve sınırlamalarını ortaya çıkarmak amacıyla daha fazla nicel çalışma gerekliliği bulunmaktadır.

2.3.3. Diğer aktivasyon yöntemleri

2.3.3.1. Canal brush

Canal Brush (CB) (Roeko Canal Brush TM Coltene / Whaledent, Almanya) polipropilenden yapılmış, endodontik motora takılabilen esnek endodontik mikro fırçadır (Galic ve Static, 2019).

Farklı tekniklerle kök kanalından kalsiyum hidroksit uzaklaştırma etkinliği değerlendirilen bir çalışmada Canal Brush'ın kök kanalındaki kalsiyum hidroksitin % 88'ini uzaklaştırdığı bildirilmiştir (Galic ve Static, 2019). Türkaydın ve ark. (2020), kök kanalının apikal üçte birlik kısmında oluşturulmuş simüle oluklardan kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında CB, EA ve PUI'nin etkinliklerini incelemişler ve PUI'nin diğerlerine kıyasla daha üstün etkisinin olduğu bildirilmiştir.

2.3.3.2. EndoVac irrigasyon sistemi

Bu sistem (Discus Dental, Culver City, ABD) irrigasyon solüsyonlarının kök kanalının apikal bölgelerine ulaşmasını sağlayan güvenilir bir yıkama sistemidir. Çalışma boyunca yerleştirilen bir iğneyle solüsyonu pulpa odasından kanala çeken negatif bir basınç oluşturularak yüksek hacimli bir aspirasyonla irrigasyon solüsyonunun kanala gönderilmesini sağlar (Yücel ve ark., 2012). Literatürde yapılmış bazı çalışmalar EndoVac irrigasyon sisteminin kök kanalındaki debrisin etkili bir şekilde uzaklaştırıldığını göstermiştir (Nielsen, 2007; Miller ve Baumgartner, 2010; Shin ve ark., 2010).

2.3.3.3. Quantec-E irrigasyon sistemi

Döner aletlerle aktif enstrümantasyon sırasında devamlı irrigasyonun sağlanması için bir pompalama konsolu, iki rezervuar ve hortumdan oluşan bağımsız bir irrigasyon sistemdir (SybronEndo, Orange, CA). Döner enstrümantasyon sırasında aktivasyonun sürekliliği, solüsyon hacmini ve solüsyonun kanal duvarlarına temas süresini arttırdığı bu sayede de kök kanalı içerisinde irrigasyon solüsyonu penetrasyonunu arttırdığı bildirilmiştir (Dua ve ark., 2018).

Walters ve ark. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada KŞİ ile Quantec-E sistemi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir. Yine yapılan benzer bir çalışmada, Quantec-E'nin kök kanalının sadece koronal kısmında KŞİ'ye göre üstün debris eliminasyonunu sağladığı bildirilmiştir (Setlock ve ark., 2003).

2.3.3.4. RinsEndo sistem

RinsEndo sistemi, 7 mm açıklığı olan kanüle sahip başlığı olan bir şırıngadan oluşur ve basınçlı aspirasyonla kök kanalının irrigasyonunu sağlamaktadır (Gohil ve ark., 2020). El aleti 6,2 ml / dk irrigasyon hızına sahip bir dental hava kompresörü ile güçlendirilmiştir. Aspirasyon sırasında, kullanılan solüsyon ve hava ile kök kanalından çekilir ve otomatik olarak yeni solüsyon ile karıştırılır (Pouch ve ark., 2007). Bu döngü yaklaşık olarak dakikada 100 kez tekrarlanmaktadır (Gu ve ark., 2009).

Üretici firma, kanülün kök kanalının koronal kısmında konumlanmasına rağmen kanalın apikal üçte birlik kısmının solüsyonun aktivasyonu sırasındaki titreşim sebebiyle etkili irrigasyonunun sağlandığını bildirmektedir (Gohil ve ark., 2020).

2.4. Kök kanallarındaki artık kalsiyum hidroksit miktarını belirleme yöntemleri

Direkt olarak görüntüleme (Akın, 2011), dijital görüntüleme yazılımı (Laky ve ark., 2018), stereo mikroskoplar (Gupta ve ark., 2018), taramalı elektron mikroskopları (Üstün ve ark., 2016), KIBT (Raghu ve ark., 2017) ve spiral bilgisayarlı tomografi (Nandini ve ark., 2006) gibi çeşitli yöntemler kök kanallarında kalan kalsiyum hidroksit miktarını değerlendirmede kullanılmaktadır. Ayrıca; kanal içi artık kalsiyum hidroksit miktarını hesaplamak için yüzey alanını ölçme veya puanlama yöntemi de literatürdeki bazı çalışmalarda kullanılmıştır (Donnermeyer ve ark., 2019; Galic ve Stasic, 2018).

Günümüzde, farklı irrigasyon tekniklerinden sonra kanal içi debrisin veya kalan kalsiyum hidroksitin değerlendirilmesinde mikro bilgisayarlı tomografi yöntemi başarı ile kullanılmaktadır (Wiseman ve ark., 2011; Ma ve ark., 2015; Keleş ve ark., 2016; Rödig ve ark., 2019; Yang ve ark., 2020a-b).

2.4.1. Mikro bilgisayarlı tomografi (mikro-BT)

Yüksek yoğunluktaki materyallerin X-ışınını zayıflatıcı özellikleri nedeniyle yüksek çözünürlüklü bir görüntüleme teknolojisi olarak 3 boyutlu mikro-BT kullanılmaktadır. Mikro-BT, biyomedikal alanda gelişmekte olan bir teknolojidir ve 3 boyutlu yeniden yapılandırma, modelleme ve analiz için doku örneklerinin görüntülenmesinde büyük rol oynamaktadır. Mikro-BT'nin ex vivo dokuların yüksek çözünürlüklü 3B modellerini oluşturma kapasitesi, görüntü verilerinin diğer görüntüleme yöntemleri ile ilişkilendirmesini sağlamaktadır (Senter-Zapata ve ark., 2016).

Çok çeşitli alanlarda bir araştırma aracı olarak kullanılan yüksek çözünürlüklü mikro-BT'nin diş hekimliğinin de birçok farklı alanında kullanımı artmıştır (Hammad ve ark., 2009). Daha spesifik olarak endodontik alanda, yüksek çözünürlüklü X ışını

mikro-BT uygulanması, ayrıntılı araştırma için gelişmiş bir sistem olarak ilk tanınmasından buyana artan bir popülerlik kazanmıştır (Aksoy ve ark., 2021).

Mikro-BT'nin endodontide yaygın kullanımı ile kök kanallarının karmaşık anatomisinin ve kök kanal morfolojisinin yüksek çözünürlüklü 3B olarak değerlendirmesini sağlamıştır (Aksoy ve ark., 2021). Kök kanalının enine kesit incelemesinin yanı sıra, kanal içi artık kalsiyum hidroksitin kantitatif ve kalitatif olarak üç boyutlu hacminin değerlendirilmesi yüksek çözünürlükte elde edilebilmektedir (Ma ve ark., 2015; Versiani ve Keleş, 2020; Yang ve ark., 2020a). Mikro BT'nin kullanımıyla kök kanal dolgu materyallerinde kalan boşluk hacminin de doğrudan analizi mümkün olmaktadır (Hammad ve ark., 2009;). Kök kanal dolgularının in vitro değerlendirilmesinde hızlı, hassas ve diş dokularına zarar vermeyen bir yöntem olması büyük avantaj sağlamaktadır (Jung ve ark., 2005; Bartletta ve ark., 2008).

Bunların yanı sıra non-invaziflik, yüksek doğruluk ve kök kanal sistemini üç boyutlu yeniden yapılandırma yeteneği göz önüne alındığında, mikro-BT yöntemi, farklı NiTi eğe sistemlerinin preparasyon yeteneğini değerlendirmek için son on yılda yaygın olarak kullanılmaktadır (Aksoy ve ark., 2021)

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Tez çalışmamızın etik olarak uygunluğu Yakın Doğu Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Değerlendirme Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır (2019/66/757).

3.1. Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması

Çalışmamızda kök gelişimini tamamlamış, çürüksüz veya minimal çürüğe sahip toplam 70 adet tek köklü alt premolar dişler kullanıldı.

Çalışmada yeterli örnek boyutunu belirlemek için deney öncesi power analiz (Power and Precision yazılımı, Biostat, Englewood, NJ, ABD) yapıldı (0,80'lik güç olan 0,05'lik alfa). Buna göre, yeterli numune sayısı için her grupta minimum 10 diş olacak şekilde belirlendi. Önceden belirlenmiş kriterlere göre tek köklü 70 adet insan mandibular premoları seçildi. Dişlerden bukkal-lingual ve mezial-distal yönlerden radyografi alındı ve tek bir kanalın varlığı teşhis edildi. Her kanalın eğriliği Schneider'in (1971) tekniğine göre ölçüldü ve düz veya maksimum 5° 'ye kadar eğrilik açılarına sahip, herhangi bir rezorpsiyon, kırık ve tıkanmaya sahip olmayan ve daha önceden kanal tedavisi yapılmamış kökler çalışmaya dahil edildi.

Dişler üzerindeki kalkulus ve yumuşak doku artıkları uzaklaştırıldıktan sonra, preparasyon öncesinde % 5,25'lik konsantrasyonda NaOCl solüsyonunda iki saat süreyle, daha sonra çalışmanın yapılmasına kadar serum fizyolojik solüsyonunda bekletildi. Dişler mine-sement birleşiminden dekoronalize edilerek yaklaşık 15 ± 1 mm uzunluk aralığında kök örnekleri elde edildi. # 15 K-tipi eğenin (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) apikal forameninden görüldüğü uzunluktan 1 mm geri çekilerek çalışma boyu hesaplandı. Kök kanalları ProTaper Universal eğeleri (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kullanılarak F4'e kadar prepare edildi. Her eğeleme arasında kanallar 2 ml % 5,25'lik NaOCl (Cerkamed, Poland) ile yıkandı. Eğeleme işlemi bittikten sonra kanallar 1 dakika boyunca 5 ml % 17'lik EDTA (Cerkamed, Poland) solüsyonu ve 1 dakika boyunca 2 ml % 5,25'lik NaOCl (Cerkamed, Poland) ile yıkama yapıldı. Daha sonra 10 ml distile su ile son yıkama

yapıldı ve tüm kanallar yıkandıktan sonra paper point (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ile kurutuldu.

Daha önce açıklanan bir metodoloji ile (Keskin ve ark., 2017) örnek dişler silikon esaslı ölçü materyaliyle (Coltene Whaledent, Altstaatten, İsviçre) Eppendorf tüplerine sabitlendi (Resim 3). Örnekler ölçü malzemesinden çıkarıldıktan sonra, köklerin bukkal ve lingual yüzeylerinde su soğutulması altında bir elmas frezle oluk hazırlanarak (Resim 4), dişlerin kökleri bukkal-lingual yönde vertikal olarak çekiç ve keski yardımıyla ikiye bölündü (Resim 5). Simüle iç kök rezorpsiyon kaviteleri (0,8 mm derinliğinde ve 1,6 mm çap) her iki kök yarısında da bir elmas rond frez (801H 016 Meisinger; Hager & Meisinger GmbH, Almanya) yardımıyla, kök apikalinden 5 mm yukarıda olacak şekilde oluşturuldu (Resim 6). Simüle kavite hazırlama işlemi, son kavite boyutlarını ölçmek ve doğrulamak için her birinde dijital radyografinin kullanıldığı birkaç adımda gerçekleştirildi (Resim 7). Daha sonra her iki kök yarımları az miktarda siyanoakrilat (Alteco Super Glue, Japonya) ile yapıştırılıp, örnekler Eppendorf tüplerine tekrar yerleştirildi (Resim 8).



Resim 3. Örnek diş ve Eppendorf tüpü.



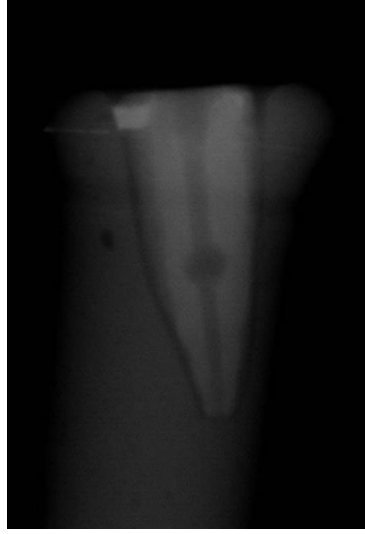
Resim 4. Örneklerin bukkal ve lingual yüzeylerinde su soğutulması altında elmas frezle hazırlanan oluk.



Resim 5. Bukko-lingual yönde vertikal olarak çekiç ve keski yardımıyla ikiye bölünen diş kökü.



Resim 6. Vertikal olarak ikiye bölünmüş kök yarımlarında oluşturulan simüle iç kök rezorpsiyon kaviteleri.



Resim 7. Simüle oluşturulan kavitenin boyutlarını ölçmek ve doğrulamak için alınan dijital radyografi.



Resim 8. Eppendorf tüplerine yerleştirilen tüm örnekler.

Kök kanalları akışkan kalsiyum hidroksit medikamanı (Calcipast, Cercamed, Stalowa Wola, Polonya) ile doldurulup, kanal ağızları ise geçici dolgu maddesi (Cavit, 3M ESPE, Seefeld, Almanya) ile kapatıldı. Dişler daha sonra 2 hafta boyunca 37 °C % 100 nemli ortamda saklandı. 2 hafta sonra dişler, kullanılacak irrigasyon solüsyonu

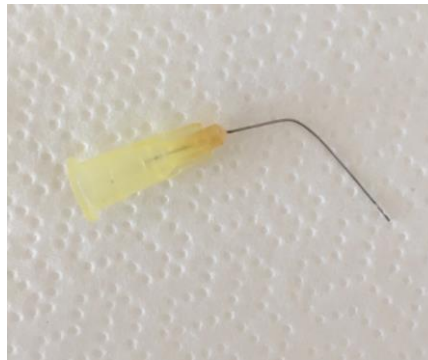
aktivasyon tekniklerine göre web tabanlı bir bilgisayar algoritması (<http://www.random.org>) kullanılarak rastgele yedi deney grubuna (n = 10) ayrıldı.

Tüm numuneler, kök kanalı kalsiyum hidroksitle doldurulup 2 hafta boyunca 37 °C ve % 100 nemli ortamda saklandıktan sonra ve farklı teknikler kullanılarak irrigasyon solüsyonu aktivasyonu ile kanal içerisindeki kalsiyum hidroksit uzaklaştırıldıktan sonra olmak üzere iki farklı aşamada mikro-BT taraması ile değerlendirildi. İlk mikro-BT taramasından sonra, dişlerin koronal kısmındaki geçici materyaller çıkarıldı ve # 15 K-tipi kanal eğesini çalışma boyunca kullanarak irrigasyon iğnesi için bir yol oluşturuldu. Her deney grubundaki kök kanalları, ilk olarak 5 ml % 5,25 NaOCl ile daha sonra 5 ml % 17 EDTA ile 1 dakika boyunca yıkandı.

3.2. Kalsiyum Hidroksit Medikamanının Uzaklaştırılması

3.2.1. Konvansiyonel şırınga irrigasyonu tekniği (KŞİ)

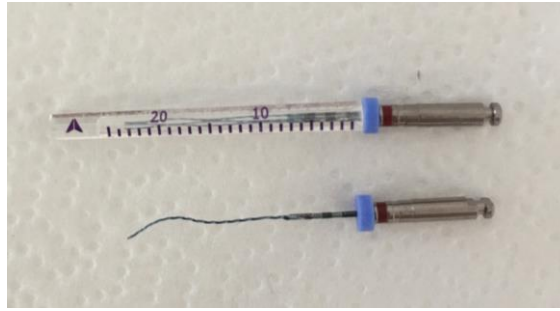
Bu grupta, 27-gauge'luk Endo-Eze® 1 irrigator ucu (Resim 9) (Ultradent Products, South Jordan, Utah, ABD) çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde kök kanalına yerleştirildikten sonra 1 dakika boyunca 5 ml % 17'lik EDTA solüsyonu ile yıkama yapıldı. Son adım olarak, her numunenin kök kanalı 5 ml distile su ile yıkandı.



Resim 9. 27-gauge'luk Endo-Eze® 1 irrigator ucu.

3.2.2. XP-endo finisher eğe tekniği (XP)

XP-endo Finisher Eğe (XPF; FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, İsviçre) için tork kontrollü endodontik motor (X-SMART, Densply, Maillefer, İsviçre) kullanıldı (Resim 10). Kök kanalları 5 ml % 17'lik EDTA ile 1 dakika irriye edildikten sonra, XP-endo Finisher Eğe kök kanalı içerisinde 800 rpm ve 1 N / cm torkta, 7 - 8 mm dikey hareketlerle kullanıldı. Her XP-endo Finisher Eğe, tek bir örnekte kullanıldıktan sonra atıldı ve son adım olarak, her numunenin kök kanalı 5 ml distile su ile yıkandı.



Resim 10. FKG XP-endo Finisher Eğe.

3.2.3. EndoAktivatör tekniği (EA)

Kök kanalları 5 ml % 17'lik EDTA ile irriye edildikten sonra, EA cihazının polimer ucu (Resim 11) (medium uç boyutu 25; 0,04 taper) çalışma boyundan 2 mm kısa olacak şekilde kanala yerleştirilerek 1 dakika boyunca 10 000 cpm'de aktive edildi. Her polimer uç, bir örnekte kullanıldıktan sonra atılmıştır. Son adım olarak, her numunenin kök kanalı 5 ml distile su ile yıkandı.



Resim 11. Densply EndoAktivatör cihazı.

3.2.4. Pasif ultrasonik irrigasyon tekniği (PUI)

Kök kanalları 5 ml % 17'lik EDTA ile irrigate edildikten sonra ultrasonik uç (Resim 12) (boyut 15, 0,02 açılı) (EMS, Le Sentier, İsviçre) çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde kök kanalı içerisinde yerleştirilerek, kanal duvarlarına temas etmeden pasif şekilde kanal içinde 1 dakikda boyunca 6. güç ayarında aktive edildi (Resim 13). Her ultrasonik uç, 3 numunede kullanıldıktan sonra atıldı. Son adım olarak, her numunenin kök kanalı 5 ml distile su ile yıkandı.



Resim 12. EMS endodontik ultrasonik uç.



Resim 13. Ultrasonik uç kanal duvarlarına temas etmeden pasif şekilde kanal içinde 1 dakikda boyunca 6. güç ayarında aktive edildi.

3.2.5. Er,Cr:YSGG lazerle aktivasyon tekniği (Er,Cr:YSGG)

Er,Cr:YSGG lazerle aktivasyon grubunda 2780 nm dalga boyunda ışımaya sahip Er,Cr:YSGG lazer kullanıldı (Biolase; San Clemente, CA). Kök kanalları 5 ml % 17'lik EDTA doldurulduktan sonra, 320 µm radyal ışıma ucu (RFT3 Endolase, 0,85 kalibrasyon faktörü, Biolase) (Resim 14) kanal ağzının 1 mm altında yerleştirilerek (Resim 15) 0,50 W, 20 Hz, 25 mJ, 140 µs darbelerle 1 dakika boyunca aktivasyon yapıldı. Bu işlem sırasında cihazın havası ve suyu kapatılarak, kanalın koronal kısmındaki solüsyon azaldıkça yenilendi. Son adım olarak, her numunenin kök kanalı 5 ml distile su ile yıkandı.



Resim 14. RFT3 Endolase lazer uç, Biolase.



Resim 15. RFT3 uç kanal ağzının 1 mm altında yerleştirilerek aktive edildi.

3.2.6. Foton ile indüklenen fotoakustik dalgalanma tekniği (PIPS)

Bu grupta, kuvars PIPS ucu (PIPS 400/14, Fotona, Slovenya) (Resim 16) ile 2940 nm dalga boyunda lazer ışması gerçekleştirmek için Er:YAG lazer kullanıldı (LightWalker, Fotona, Ljubljana, Slovenya). Cihaz, hava ve su kapalı olarak darbe başına 0,8 W, 20 Hz ve 40 mJ ile kullanıldı. Kök kanalları 1,5 ml % 17'lik EDTA ile irrigate edildikten sonra PIPS ucu (14 mm uzunluğunda, 300 mikron çaplı) kök kanalının koronal kısmına yerleştirildi (Resim 17) ve 20 saniye boyunca aktive edildi. Koronal bölgede EDTA irrigasyon solüsyonu azaldıkça yenilendi ve bu işlem toplamda 1 dakika olacak şekilde 3 kez tekrarlandı. Son adım olarak, her numunenin kök kanalı 5 ml distile su ile yıkandı.



Resim 16. Kuvars PIPS 400/14 uç, Fotona.



Resim 17. Kuvars PIPS ucu kanalın koronal kısmına yerleştirilip aktive edildi.

3.2.7. Şok dalgası geliştirilmiş emisyonlu fotoakustik dalgalanma tekniği (SWEEPS)

Bu grupta, özel fiber uç (SWEEPS 600, Fotona, Slovenya) (Resim 18) ile 2940 nm dalga boyunda lazer ışınması uygulanmıştır (LightWalker, Fotona, Ljubljana, Slovenya). Cihaz, hava ve su kapalı olarak darbe başına 0,6 W, 15 Hz ve 40 mJ ile kullanıldı. Kök kanalları 1,5 ml % 17'lik EDTA ile irrigate edildikten sonra SWEEPS uç kök kanalının koronal kısmına yerleştirilerek (Resim 19) 20 saniye boyunca aktive edildi. Koronal bölgede EDTA irrigasyon solüsyonu azaldıkça yenilendi ve bu işlem 3 kez tekrarlandı. Son adım olarak, her numunenin kök kanalı 5 ml distile su ile yıkandı.



Resim 18. SWEEPS 600 fiber uç, Fotona.



Resim 19. SWEEPS uç kök kanalının koronal kısmına yerleştirilerek aktive edildi.

3.3. Mikro-BT Taraması

Örnekleri taramada yüksek çözünürlüklü, masaüstü bir Micro-BT sistemi (Bruker Skyscan 1275, Kontich, Belçika) (Resim 20) kullanıldı. 32 kVp, 210 mA ile , herhangi bir filtre olmadan, 10,1 μm piksel boyutu ve 0,2 adımda dönüş ile tarama yapıldı. Artifaktları en aza indirmek için, her taramadan önce dedektörün hava kalibrasyonu gerçekleştirildi. Her numune 5 dakikalık bir entegrasyon süresi içinde 360° döndürüldü (Resim 21) ve ortalama 1 saat civarında tarama gerçekleştirildi. Diğer ayarlar, ışın sertleştirme düzeltmesini ve her numunenin önceki taramalarına ve yeniden yapılandırılmasına dayalı olarak üreticinin talimatlarına göre optimum kontrast sınırlarının girilmesini içerdi.



Resim 20. Bruker Skyscan 1275 mikro-BT, Kontich, Belçika.

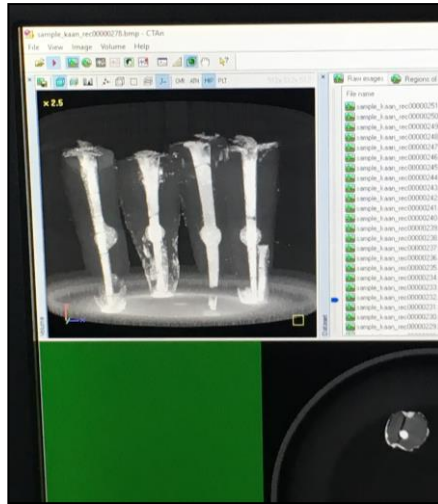


Resim 21. Numunelerin 5 dakikalık entegrasyon süresi içinde 360° döndürülmesi işlemi.

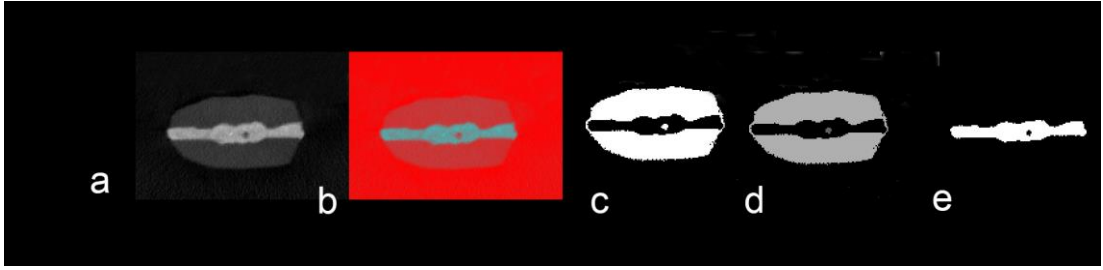
3.4. Görüntüleme Analizi

NRecon yazılımı (sürüm 1.6.10.5, SkyScan, Kontich, Belçika) ve CTAn (sürüm 1.19.11.1, SkyScan) (Resim 22), eksenel, iki boyutlu (2B), 1000 × 1000 piksel görüntüler elde ederek numunelerin görselleştirilmesi ve nicel ölçümler için Feldkamp ve ark. (1989) tarafından açıklanan modifiye bir algoritmayı kullandı. Yeniden yapılandırma parametreleri için, halka artefakt düzeltmesi ve pürüzsüzleştirme sıfıra sabitlenmiş ve ışın artefaktı düzeltmesi % 40 olarak ayarlandı. NRecon yazılımı (Skyscan, Kontich, Belçika) kullanılarak, tarayıcı tarafından elde edilen görüntüler numunenin 2B kesitlerini göstermek için yeniden oluşturuldu. Yeniden yapılandırılan görüntüler, görselleştirme için Skyscan CTVox'ta işlendi (v. 3.3.1, Skyscan, Kontich, Belçika).

Yeniden yapılandırmadan sonra, numuneyi analiz etmek için programın tüm spesifikasyonlarının kullanıldığı CTAn yazılımı kullanılarak numunenin tamamını numuneye dahiletmek için ilgilenilen bölgeler (ROI) çizildi (Resim 23). Rezorpsiyon boşluğundaki başlangıç kalsiyum hidroksit hacmi ile çıkarma işleminden sonra rezorpsiyon boşluğunda kalan kalsiyum hidroksitin hacmi mm³ cinsinden hesaplandı.



Resim 22. Çalışmada numuneleri analiz etmede kullanılan CTAn yazılımı.



Resim 23. Mikro BT taraması görüntülerinde (a) Rezorpsiyon boşluğuna sahip dişin aksel görüntüsünü, (b) görüntülerdeki ROI seçimini, (c, d) thresholding'i göstermektedir. Siyahın kök kanalını, beyaz noktanın rezorpsiyon kavitesindeki boşluğu (e), son thresholding ve gri-seviye histogramı ile görüntünün ikileştirilmesini göstermektedir.

(Kırmızı ve ark., 2021).

3.5. İstatistiksel Analiz

Veriler ilk olarak normallik varsayımını doğrulamak için Shapiro-Wilk testi kullanılarak analiz edildi. Daha sonra verilerin istatistiksel olarak analiz edilmesi için Kruskal-Wallis H testi uygulandı ve anlamlılık düzeyi 0,05 olarak belirlendi. Kruskal-Wallis H testinden sonra, Dunn's post-hoc testi hangi grupların diğerlerinden farklı olduğunu belirlemek için yapıldı. Tüm istatistiksel veriler SPSS 21 (SPSS, Chicago, IL, ABD) yazılımı kullanılarak analiz edildi.

4. BULGULAR

Farklı aktivasyon tekniklerinden önce değerlendirilen rezorpsiyon kavitesi hacmi (mm^3) ile rezorpsiyon kavitesi yüzey alanı (mm^2) Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Uygulanan aktivasyon tekniklerinden sonra rezorpsiyon kavitesindeki artık kalsiyum hidroksit hacmi (mm^3) (Tablo 4) ve artık kalsiyum hidroksit yüzey alanı (mm^2) da değerlendirilmiştir (Tablo 5).

Tablo 2. Farklı aktivasyon tekniklerinden önce değerlendirilen rezorpsiyon kavitesinin ortalama, medyan, minimum ve maksimum hacmi (mm^3).

	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss
KŞİ	10	9,45	9,37	8,82	10,26	,43
XP	10	9,40	9,22	8,84	10,12	,53
PUİ	10	9,51	9,40	9,31	9,79	,18
Er,Cr:YSGG	10	9,57	9,43	9,25	10,02	,30
EA	10	9,81	9,75	9,40	10,17	,28
PIPS	10	9,60	9,60	9,10	10,10	,40
SWEEPS	10	9,66	9,66	8,91	10,14	,38

Tablo 3. Farklı aktivasyon tekniklerinden önce değerlendirilen ortalama, medyan, minimum ve maksimum rezorpsiyon kavitesi yüzey alanı (mm^2).

	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss
KŞİ	10	182,90	185,41	171,95	188,80	6,03
XP	10	175,38	174,62	170,46	184,78	4,30
PUİ	10	175,09	174,46	166,07	186,74	7,69
Er,Cr:YSGG	10	182,46	184,39	172,74	193,00	7,29
EA	10	176,25	174,61	168,39	183,26	5,65
PIPS	10	172,83	174,65	162,77	183,64	7,82
SWEEPS	10	173,20	174,46	158,93	182,89	7,96

Tablo 4. Farklı aktivasyon tekniklerinden sonra Kruskal-Wallis H testi ve Dunn's post-hoc testi ile değerlendirilen ortalama, medyan, minimum ve maksimum rezorpsiyon kavitesindeki artık kalsiyum hidroksit hacmi (mm³).

	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss
KŞİ	10	2,91	2,92	2,83	3,00	,06
XP	10	2,82	2,82	2,76	2,96	,05
PUİ	10	2,16	2,12	2,05	2,65	,17
Er,Cr:YSGG	10	2,21	2,22	2,16	2,30	,05
EA	10	2,34	2,33	2,33	2,36	,01
PIPS	10	1,50	1,55	1,18	1,83	,22
SWEEPS	10	1,30	1,29	1,10	1,54	,14

Tablo 5. Farklı aktivasyon tekniklerinden sonra Kruskal-Wallis H testi ve Dunn's post-hoc testi ile değerlendirilen ortalama, medyan, minimum ve maksimum rezorpsiyon kavitesindeki artık kalsiyum hidroksit yüzey alanı (mm²).

	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss
KŞİ	10	37,53	38,79	31,06	41,68	4,21
XP	10	35,71	35,52	31,47	40,99	3,42
PUİ	10	22,53	22,54	22,24	22,76	,17
Er,Cr:YSGG	10	25,75	25,82	25,40	25,97	,18
EA	10	27,80	28,00	23,74	33,16	2,85
PIPS	10	18,50	18,56	17,50	19,00	,43
SWEEPS	10	14,99	14,96	14,57	15,74	,31

Rezorpsiyon kavitesinde kalan artık kalsiyum hidroksit materyalinin hacmi (%) deneysel gruplar arası değerlendirilmiş (Tablo 6); en yüksek artık kalsiyum hidroksit yüzdesine sahip iki teknik KŞİ (% 30,9) ve XP (% 30,1) olmuştur. Bununla birlikte;

- PUİ grubu (% 22,7); KŞİ ve XP gruplarından anlamlı derecede yüksek değere sahiptir (P < ,05).
- Er,Cr:YSGG grubu (% 23,1); KŞİ ve XP gruplarından anlamlı derecede yüksek değere sahiptir (P < ,05).

- PUİ ve Er,Cr:YSGG grubuyla benzer olarak; EA grubu (% 23,8); KŞİ ve XP gruplarından anlamlı derecede yüksek değere sahiptir ($P < ,05$).
- Rezorpsiyon kavitesindeki en düşük artık kalsiyum hidroksit yüzdesi ise; EA, Er,Cr:YSGG, PUİ, XP ve KŞİ gruplarından anlamlı derecede daha düşük olan SWEEPS (% 13,5) ve PIPS (% 15,7) gruplarında meydana gelmiştir ($P < ,05$).
- SWEEPS ve PIPS teknikleri, diğer tekniklerden ($P < ,05$) önemli ölçüde daha fazla kalsiyum hidroksiti elimine ederken, SWEEPS ve PIPS grupları arasında da anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($P > ,05$).

Tablo 6. Farklı aktivasyon tekniklerinden sonra Kruskal-Wallis H testi ve Dunn's post-hoc testi ile değerlendirilen rezorpsiyon kavitesindeki ortalama, medyan, minimum ve maksimum artık kalsiyum hidroksit materyalinin hacmi (%) (mm^3).

	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra ort.	KWH	p
KŞİ	10	30,90	31,45	27,62	33,13	1,80	61,90	62,52	0,0001
XP	10	30,14	30,96	27,52	32,18	1,86	59,10		
PUİ	10	22,68	22,56	21,02	27,34	1,75	29,30		
Er,Cr:YSGG	10	23,16	23,21	21,79	24,75	1,04	36,10		
EA	10	23,82	23,98	22,88	24,74	,65	41,10		
PIPS	10	15,66	15,77	12,05	18,66	2,26	13,30		
SWEEPS	10	13,45	13,38	11,46	15,97	1,37	7,70		

Rezorpsiyon kavitesindeki artık kalsiyum hidroksitin yüzey alanı (%) değerlendirildiğinde (Tablo 7);

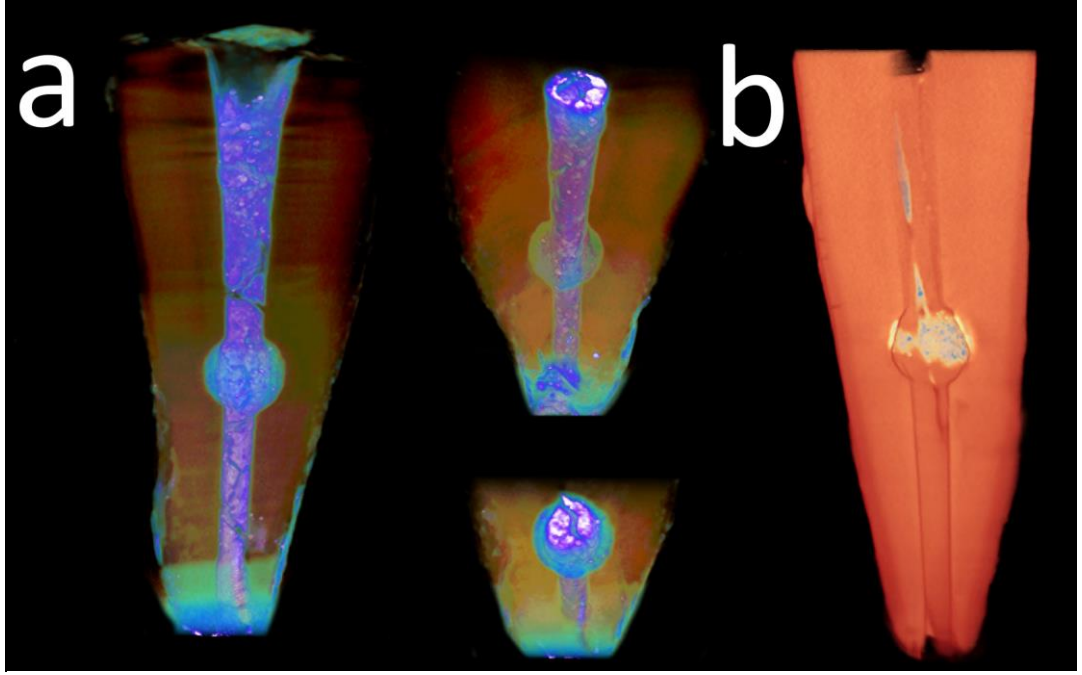
- SWEEPS grubu (% 8,6); KŞİ, XP, PUİ, Er,Cr:YSGG, EA gruplarından anlamlı derecede düşük olarak görülmektedir.
- PIPS grubu (% 10,7); KŞİ, XP, PUİ, Er,Cr:YSGG, EA gruplarından anlamlı derecede düşük olarak görülmektedir.
- PUİ grubu (% 12,8); KŞİ ve XP gruplarından anlamlı derecede düşük olarak görülmektedir.

- Er,Cr:YSGG grubu (% 14,1); KŞİ ve XP gruplarından anlamlı derecede düşük olarak görülmektedir.
- EA grubu (% 15,7); KŞİ ve XP gruplarından anlamlı derecede düşük olarak görülmektedir.
- PUI, Er,Cr:YSGG ve EA grupları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.
- SWEEPS ve PIPS grupları arasında da anlamlı bir fark gözlenmemiştir.

İç rezorpsiyon boşluklarından kalsiyum hidroksitin tamamen uzaklaştırılması sağlanamamış ve tüm deney gruplarında artık kalsiyum hidroksit medikamanı gözlenmiştir (Resim 24).

Tablo 7. Farklı aktivasyon tekniklerinden sonra Kruskal-Wallis H testi ve Dunn's post-hoc testi ile değerlendirilen rezorpsiyon kavitesindeki ortalama, medyan, minimum ve maksimum artık kalsiyum hidroksitin yüzey alanı (%) (mm^2).

	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra ort.	KWH	p
KŞİ	10	20,51	21,14	16,79	23,50	2,13	60,40	64,75	0,0001
XP	10	20,36	20,45	17,65	23,32	1,85	60,20		
PUI	10	12,89	12,91	11,91	13,54	,60	26,60		
Er,Cr:YSGG	10	14,13	13,99	13,34	15,04	,61	36,20		
EA	10	15,77	15,73	13,28	18,11	1,47	44,10		
PIPS	10	10,73	10,65	9,53	11,61	,65	15,40		
SWEEPS	10	8,67	8,44	8,10	9,54	,49	5,60		



Resim 24. Temsili bir numunenin kalsiyum hidroksit uzaklaştırma işleminin (a) öncesi ve (b) sonrası 3B mikro-BT rekonstrüksiyon görüntüleri. (Kırmızı ve ark., 2021).

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Endodontik tedavinin başarısı için kök kanalının dezenfeksiyonunun sağlanması ve yeniden enfeksiyonun önlenmesi çok önemlidir. Kök kanalının karmaşık yapısı nedeniyle tam olarak dezenfeksiyonun sağlanması mümkün değildir (Parikh ve ark., 2017). Preparasyon tekniği fark etmeksizin, kök kanalının aşırı geniş veya düzensiz yapıdaki duvarları dokunulmadan kalabilmektedir (Versiani ve ark., 2013). Bu nedenle kanal içi medikamanlar, irrigasyon solüsyonları ve birçok farklı teknik kullanılarak kök kanalları kimyasal olarak dezenfekte edilmekte ve bu solüsyonların aktive edilerek dezenfeksiyon etkisinin artırılması gerekmektedir (Haapasalo ve ark., 2010).

Antimikrobiyal etkinliği ve biyoyumluluğu nedeniyle en sık kullanılan kanal içi medikaman kalsiyum hidroksittir (Taşdemir ve ark., 2011). Dezenfeksiyon işlevinin yanı sıra kanama kontrolünü sağlamakta ve kalan pulpa dokusuna etki etmektedir (Marques da Silva ve ark., 2020). İç kök rezorpsiyonu tedavisinde de kalsiyum hidroksit kullanımı önemli bir işleve sahiptir (Marques da Silva ve ark., 2020). İç kök rezorpsiyon kavitesinde bulunan granülasyon dokusunun kemomekanik olarak uzaklaştırılmasını artırmak için kalsiyum hidroksit kullanımı pek çok araştırmacı tarafından önerilmiştir (Patel ve ark., 2010; Topçuoğlu ve ark., 2014; Lloyd ve ark., 2016).

Akıcı formdaki kalsiyum hidroksit, kök kanalı düzensizliklerine nüfuz edebilmekte ve bu, daha sonra kalsiyum hidroksit uzaklaştırma zorluğunu artırabilmektedir (Li ve ark., 2015). Literatürdeki bazı çalışmalara göre, kanal duvarlarında kalabilecek artık kalsiyum hidroksitin rezin esaslı patların adeziv etkisini olumsuz etkilediği (Barbizam ve ark., 2008; Guiotti ve ark., 2014; Uzunoğlu Özyürek ve ark., 2018), kalsiyum silikat esaslı patların tıkama özelliğini engellediği (Ghabraei ve ark., 2017), çinko oksit öjenol esaslı patları granüler hale getirdiği (Kim ve Kim, 2002) ve genel olarak patların tübül penetrasyonunu engellediği ve apikal sızıntıya sebep olduğu bildirilmiştir (Margelos ve ark., 1997; Li ve ark., 2015; Galic ve Stasic, 2018). Bu nedenle kalsiyum hidroksitin kök kanal duvarlarından etkili bir şekilde uzaklaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Literatürdeki pek çok araştırmanın sonuçları, konvansiyonel şırınga irrigasyonu tekniğinin diğer tekniklerle karşılaştırıldığında kök kanalı içinde bulunan kalsiyum hidroksiti uzaklaştırmak için etkili bir yöntem olmadığını ortaya koymuştur (Kuştarcı ve ark., 2016; Kfir ve ark., 2018; Donnermeyer ve ark., 2019). Bu nedenle irrigasyon aktivasyonunu sağlayan farklı teknikler önerilmiştir (Arslan ve ark., 2015a). Bu çalışmada, irrigasyon solüsyonlarını aktive etmek için sonik (EA), ultrasonik (PUİ), Er:YAG lazerler (PIPS ve SWEEPS), Er,Cr:YSGG lazer ve XP-endo Finisher Ege (XP) olmak üzere altı ek teknik kullanılmıştır.

Kalsiyum hidroksitin kök kanal sisteminden uzaklaştırılması ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır (Balvedi ve ark., 2010; Taşdemir ve ark., 2011; Hamdan ve ark., 2017; Galic ve Stasic, 2018; Donnermeyer ve ark., 2019; Yang ve ark., 2020; Nasab Mobarakeh ve ark., 2020). Bazı çalışmalarda farklı irrigasyon solüsyonları kullanarak kalsiyum hidroksiti uzaklaştırma etkinlikleri karşılaştırılırken (Van der Sluis ve ark., 2007; Rödig ve ark., 2011; da Silva ve ark., 2011; Masudi ve ark., 2014; Kuştarcı ve ark., 2016); bazı çalışmalarda irrigasyon solüsyonu sabit tutulup, farklı irrigasyon solüsyonu aktivasyon tekniklerinin etkinlikleri karşılaştırılmıştır (Wiseman ve ark., 2011; Ma ve ark., 2015; Wigler ve ark., 2017; Kfir ve ark., 2018; Donnermeyer ve ark., 2019; Oliveira ve ark., 2019). Genel olarak çalışma sonuçlarında kanal içi kalsiyum hidroksitin tamamının uzaklaştırılmadığı (Rödig ve ark., 2011; Taşdemir ve ark., 2011; Faria ve ark., 2014; Üstün ve ark., 2016; Galic ve Stasic, 2018; Marques da Silva ve ark., 2020) ve özellikle kanalın apikal bölgelerinde uzaklaştırılma güçlüğü vurgulanmıştır (Üstün ve ark., 2016; Hamdan ve ark., 2017; Donnermeyer ve ark., 2019). Çalışmamızda simüle iç kök rezorpsiyon kaviteleri kanalın apikal üçlü kısmında apekten 5 mm uzakta olacak şekilde hazırlandı.

Literatürde iç kök rezorpsiyonlu dişlerden kalsiyum hidroksit uzaklaştırılmasına dair çalışma sayısı sınırlıdır. Topçuoğlu ve ark. (2014), simüle edilmiş iç kök rezorpsiyon kavitelerindeki artık kalsiyum hidroksiti uzaklaştırmak için KŞİ, Canal Brush (CB) , PUİ, Self-adjusting file (SAF), EndoAktivatör (EA) ve EndoVac sistem kullanarak bu tekniklerin etkinliklerini SEM’de değerlendirmişlerdir. Sonuçlarda SAF ve PUİ’nin diğer gruplardan daha üstün olduğu; KŞİ, CB, EA ve EndoVac grupları arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı bildirilmiştir. Bu çalışmada 5

ml % 3'lük NaOCl ve 5 ml % 17'lik EDTA kullanılarak, iki ayrı şekilde toplam 2 dakikalık sürede aktivasyon yapılmıştır. Oysa, literatürdeki bir başka çalışmada, % 20 EDTA ile % 1 NaOCl kullanımının kök kanalındaki kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında dikkate değer bir etki göstermediği bildirilmiştir (Rödig ve ark., 2011). EDTA'nın üstün etkinliği şelasyon ajanının kalsiyum iyonları arasında kompleks oluşumuyla açıklanabilmektedir (Rödig ve ark., 2011; Küçükkaya Eren ve ark., 2017) . EDTA ve NaOCl çözeltilerinin karıştırılmamasına rağmen, düzensiz alanlardaki NaOCl kalıntıları, daha sonra kullanılan EDTA solüsyonuna etki ederek rezorpsiyon kavitesindeki kalsiyum hidroksitin çözünme oranını azaltabilmektedir (Ulusoy ve ark., 2018). Bu bilgiler doğrultusunda mevcut çalışmamızda sadece 5 ml % 17'lik EDTA kullanılarak 1 dakikalık sürede aktivasyon yapıldı. Bu nedenle, iki çalışma arasında aktive edilen irrigasyon solüsyonu bakımından fark söz konusu olmaktadır. Mevcut çalışmamızın sonuçlarında PUI ve EA grupları arasında anlamlı bir fark gözlemlenmezken, KŞİ'ye göre üstünlükleri gözlemlendi. Her iki çalışma sonuçları arasındaki farkın, artık kalsiyum hidroksit miktarını belirlemek için kullanılan görüntüleme metodundan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Mikro-BT taramalarında smear tabakası ve dentin tübüllerinde kalan debrisler analiz edilemezken; kök kanallarının yüzey morfolojisi ve kök kanal duvarındaki dolum materyalinin varlığı SEM ile detaylı olarak incelenebilmektedir (Huang ve ark., 2017). Bu durum, her iki çalışma sonuçları arasındaki farklılığın sebebi olabilir.

Keskin ve ark.'nın (2017) yürütmüş oldukları çalışmalarında XP-endo Finisher eği, PUI, EA ve Canal Brush tekniklerinin simüle edilmiş iç rezorpsiyon kavitelerinden kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılması üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları aralasında anlamlı bir fark bulunmamış ve XP ve PUI'nin KŞİ, EA ve CB'a göre anlamlı olarak daha fazla kalsiyum hidroksit uzaklaştırdığı bildirilmiştir. Yine bu çalışmada KŞİ, EA ve CB değerleri arasında anlamlı bir farklılık rapor edilmemiştir. Bu çalışmada, aktive edilen irrigasyon solüsyonları 5ml % 5,25 NaOCl ve 5 ml % 17 EDTA olup, her bir solüsyon için aktivasyon süresi 1 dakikadır. Daha önceden belirtildiği gibi, mevcut çalışmamızda kullanılan solüsyon ve süre Keskin ve ark.'nın (2017) yaptığı çalışmadan farklılık göstermektedir. Mevcut çalışmamızın sonuçlarında PUI'nin kalsiyum hidroksit uzaklaştırma etkinliğinin XP'den üstün olduğu rapor edildi. XP-endo Finisher eğelerin, kök kanalında salınım

yaparken simüle edilmiş rezorpsiyon kavitesinin duvarlarına temas etmemiş olabileceği düşünülmektedir (Kfir ve ark., 2018). Bazı araştırmacılar, üretici firma tarafından belirtilen 1 dakikalık çalışma süresinin yetersizliğini bildirmişlerdir (Wigler ve ark., 2017; Kfir ve ark., 2018). Bir diğer farklılık ise, Keskin ve ark.'na (2017) ait çalışmada, örneklerin tekrar ikiye ayrılıp her yarımın x 20 büyütme altında steromikroskopla incelenip skorlama yöntemiyle değerlendirmiş olmasıdır. Oysa mevcut çalışmamızda kullanılan mikro-BT örneklerle zarar vermeden kök kanalının üç boyutlu olarak artık materyal hacminin ve miktarının değerlendirilmesine olanak sağlanmıştır. Bu sayede kök yüzeyinin bölünme işlemi sırasında kanal içi kalsiyum hidroksitin zarar görüp hatalı sonuçlara sebep olması da önlenmiş olmaktadır (Castagnola ve ark., 2018).

Marques da Silva ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, ultrasonik, EA, EDDY, XP-endo Finisher eğe ve XP-endo Shaper eğe kullanarak simüle iç kök rezorpsiyon kavitesindeki artık kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılma etkinlikleri incelenmiştir. Çalışmada hem % 20'lik nitrik asit hem de frez kullanılarak simüle rezorpsiyon kavitesi oluşturulmuştur. Sonuçlarda, XP-endo Finisher'in özellikle asitle oluşturulmuş rezorpsiyon kavitelerinde üstün kalsiyum hidroksit uzaklaştırma etkinliği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada aktive edilen irrigasyon solüsyonları toplamda 6 ml % 5 NaOCl ve 6 ml % 17 EDTA olup, her bir solüsyon için aktivasyon süresi 1 dakikadır (20 sn x 3) ve mevcut çalışmamızda kullanılan solüsyon ve süreyle farklılık göstermektedir. Mevcut çalışmamızın sonuçlarında XP-endo finisher eğenin EA ve PUİ'den daha düşük etki göstermesinin nedeninin XP-endo Finisher eğelerin, kök kanalında salınım yaparken simüle edilmiş rezorpsiyon kavitesinin duvarlarına yeterince temas etmemiş olabileceği düşünülmektedir (Kfir ve ark., 2018). Ayrıca, Marques da Silva ve ark.'nın (2020) çalışmalarında kullanılan SEM'in mikro-BT'ye kıyasla kök kanal yüzeyinin daha detaylı incelendiği de bilinmektedir (Castagnola ve ark., 2018). Bunun yanında, mevcut çalışmamızda simüle rezorpsiyon kavitelerinin frez ile oluşturulmasının çalışma sonuçlarına etki ettiği de düşünülmektedir. Çalışmamızda rezorpsiyon kavitesi oluşturma aşaması için frez tercih edilmesinin sebebi, oluşturulan rezorpsiyon kavitelerinin boyutunun standardizasyonudur. Bu da deney grupları arasındaki karşılaştırmayı mümkün kılmaktadır.

Nasab Mobarakeh ve ark.'nın (2020) çalışma sonuçları mevcut çalışmamızın sonuçları ile paralel olup, iç kök rezorpsiyon kavitesindeki kalsiyum hidroksitin PUI, EA, KŞİ ve XP-endo Finisher eği kullanarak uzaklaştırma etkinliklerinde, PUI'nin diğer gruplardan anlamlı bir şekilde üstün olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca XP'nin EA ve KŞİ'den anlamlı olarak üstünlüğü bildirilmiştir. Diğer çalışmalara benzer şekilde bu çalışmada da aktive edilen irrigasyon solüsyonları 5 ml % 5,25 NaOCl ve 5 ml % 17 EDTA olup, her bir solüsyon için aktivasyon süresi 1 dakikadır. Mevcut çalışmamızın sonuçlarında da PUI'nin XP, EA ve KŞİ'ye üstünlüğü bulunarak, Nasab Mobarakeh ve ark.'nın (2020) sonuçlarını desteklemektedir.

Simüle iç kök rezorpsiyon kavitesinden kalsiyum hidroksiti uzaklaştırma tekniklerini değerlendiren güncel bir çalışma da Galic ve ark. (2021) tarafından yapılmıştır. Mevcut çalışmamızla paralel olarak Galic ve ark. (2021), simüle rezorpsiyon kavitesi oluşturmak için frez kullanımıştır. Çalışmada, mevcut çalışmamızda kullanılan solüsyonun aksine 5 ml % 2 NaOCl solüsyonu kullanarak 1 dakika boyunca aktivasyon yapılmıştır. Kanal içi artık kalsiyum hidroksiti değerlendirmek için x 45 büyütme ile steromikroskop kullanılmış ve daha sonra skorlama yöntemi yapılmıştır. Oysa mevcut çalışmamızda kullanılan mikro-BT numunelere zarar vermeden kök kanalının üç boyutlu olarak artık materyal hacminin ve miktarının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Galic ve ark.'nın (2021) sonuçlarına göre PUI ve XP'nin aralarında anlamlı bir fark olmaksızın KŞİ'den üstün etki gösterdikleri bildirilmiştir. Sonuçlar mevcut çalışmamızın sonuçlarıyla farklılık göstermektedir. Bu farklılığın sebepleri, daha önce de bildirildiği gibi XP-endo Finisher eğelerin, farklı sıcaklıklarda şekil değiştirmesi sebebiyle ya da kök kanalında salınım yaparken simüle edilmiş rezorpsiyon kavitesinin duvarlarına temas etmemiş olabileceği ve artık kalsiyum hidroksiti değerlendirmede kullanılan tenkik farklılığı olabileceği düşünülmektedir.

Bazı çalışmalar, PUI'nin kök kanalından kalsiyum hidroksit uzaklaştırılmasındaki başarısını bildirirken (Keskin ve ark., 2017; Lloyd ve ark., 2016), PUI'nin KŞİ'den daha etkili olduğuna dair yeterli kanıt bulunmaktadır (Arslan ve ark., 2015b; Yaylali ve ark., 2015; Keskin ve ark., 2017). Kanal içerisine neredeyse çalışma boyu uzunluğunda (ÇB – 1 mm) yerleştirilen ve kanal içerisinde kolaylıkla hareket eden

PUİ ucu, dinamik olarak irrigasyon solüsyonunun dalgalanmasını sağlayabilmektedir. PUİ sırasında oluşan titreşim ve mikro akımın etkisi, kalsiyum hidroksitin rezorpsiyon boşluklarından uzaklaştırılmasına yardımcı olmaktadır (Van der Sluis ve ark., 2007; Lloyd ve ark., 2016).

Mevcut çalışmamızda, PUİ'nin rezorpsiyon kavitelerindeki kalsiyum hidroksitin % 77'sini uzaklaştırırken, KŞİ kullanımı ise % 69'unu uzaklaştırdı ve PUİ'nin KŞİ'den bu anlamda daha etkili olduğu bulundu. Bu sonuç, ultrasonik olarak aktive edilmiş irrigasyonun KŞİ'ye üstünlüğünü bildiren önceki çalışmalarla uyum göstermektedir (Yaylali ve ark., 2015; Küçükkaya Eren ve ark., 2017; Kfir ve ark., 2018; Galic ve Stasic, 2018). Bu durum, solüsyonun ultrasonik aktivasyonu sırasında kavitasyon ve mikrobuharlaşıma etkisinin, kalsiyum hidroksitin rezorpsiyon boşluklarından uzaklaştırılmasına yardımcı olabileceği gerçeğiyle açıklanabilir (Van der Sluis ve ark., 2007; Lloyd ve ark., 2016).

Yapılmış birçok çalışmada, aralarında anlamlı bir fark olmaksızın hem XP hem de PUİ'nin kanal içi kalsiyum hidroksit uzaklaştırılmasında KŞİ'den üstün olduğunu bildirilmiştir (Keskin ve ark., 2017; Ulusoy ve ark., 2018; Galic ve Stasic, 2019). Çalışmamızda KŞİ ve XP teknikleri arasında anlamlı bir fark bulunmazken, PUİ bu tekniklerden üstün bulundu. XP-endo Finisher eğeler, irrigasyon solüsyonunun sıcaklığı gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedirler. Bu eğeler, oda sıcaklığında M fazında (martensitik durum) nispeten düz olmalarına rağmen, kök kanal sıcaklığında A fazına (östenitik durum) geçmesinden dolayı kavisli bir şekle dönüşmektedirler (Donnermeyer ve ark., 2019). Bunlara ek olarak, XP-endo Finisher eğelerin, kök kanalında salınım yaparken simüle edilmiş rezorpsiyon boşluğu duvarlarına dokunacak kadar derinlemesine temas etmemiş olabileceği de düşünülmektedir. Bunun nedeni, ege ile rezorpsiyon kavitesi arasındaki temas süresinin, üretici firma tarafından belirtilen 1 dakikalık çalışma süresindeki eksikliğinden kaynaklanıyor olabilir (Wigler ve ark., 2017; Kfir ve ark., 2018). Daha iyi performans gösterip göstermediğini ortaya koymak için XP-endo Finisher eğelerinin daha uzun çalışma süreleriyle test etmenin faydalı olabileceği düşünülebilir. Ayrıca; literatürdeki hiçbir çalışma, XP'nin rezorpsiyon boşluğundan kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılması üzerindeki etkinliğini yüksek kaliteli ve ayrıntılı görüntüleme metodu olan mikro-BT

taramasıyla incelememiştir. Bu durum, mevcut çalışmamızın sonuçlarına göre XP-endo Finisher eğe tekniğinin PUİ'den daha az etkili olma nedenini açıklayabilir.

Literatürde, EA ile kalsiyum hidroksit uzaklaştırılma etkinliği konusunda çelişkili sonuçlar mevcuttur. Bazı çalışmalar EA'nın KŞİ'den daha başarılı olduğunu bildirirken (Faria ve ark., 2014; Khaleel ve ark., 2013), bazıları ise EA ile KŞİ grupları arasında anlamlı farklılık olmadığını rapor etmişlerdir (Chou ve ark., 2014; Topçuoğlu ve ark., 2014). EA'nın KŞİ'ye üstünlüğü, sonik aktivasyola kök kanalındaki solüsyonların titreşiminin kalsiyum hidroksitin KŞİ'den daha etkili bir şekilde uzaklaştırılmasına neden olması ile açıklanmaktadır.

Öte yandan, mevcut çalışmamızın sonuçlarına göre; EA'nın ise PUİ ile benzer sonuçlara sahip olduğu ve bu çalışma sonuçlarında KŞİ'den daha etkili olduğu da belirlenmiştir. Fakat bu sonuç, KŞİ ve EA teknikleri arasında anlamlı bir fark bulunmadığını bildiren diğer araştırmalarla çelişmektedir (Chou ve ark., 2014; Topçuoğlu ve ark., 2014). Chou ve ark. (2014) ile Topçuoğlu ve ark. (2014) EndoAktivatör ve KŞİ'nin kanal içi medikamanları uzaklaştırmadaki etkinliğini karşılaştırmış ve KŞİ ile EA arasında anlamlı fark olmadığını bildirmişlerdir. Sonuçlardaki bu farklılık, kalsiyum hidroksitin değerlendirilmesinde kullanılan farklı metodolojilere atfedilebilir. Mevcut çalışmamızda yüksek kaliteli mikro-BT görüntüleme kullanılmasına karşın, diğer çalışmalarda öznel olan bir puanlama sistemi ile görüntü değerlendirmesi yöntemi kullanılmıştır.

Mevcut çalışmamızın sonuçlarında, PUİ'nin sonik aktivasyona göre daha yüksek oranda kalsiyum hidroksit uzaklaştırmasına rağmen sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamadı. Bu sonuç, bazı çalışmaların bulguları ile benzerlik göstermektedir (Taşdemir ve ark., 2011; Khaleel ve ark., 2013). Sonik ve ultrasonik aktivasyonların farklı etki mekanizmaları olmasına rağmen, bu gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmaması, irrigasyon solüsyonunun kanal içi hareket farklılığının bir sonucu olarak kalsiyum hidroksitin uzaklaştırıldığı düşünülmektedir. Diğer bazı çalışmalarda da sonik ve ultrasonik cihazların debris ve bakteri eliminasyonu üzerindeki etkililiği karşılaştırılırken benzer bulgular bildirilmiştir (Townsend ve Maki, 2009; Klyn ve ark., 2010). Çalışmamızın sonuçlarının aksine, Wiseman ve ark.

(2011), sonik aktivasyona kıyasla ultrasonik aktivasyonla önemli ölçüde daha fazla kalsiyum hidroksitin uzaklaştırıldığı sonucuna varmışlardır. Bu farklılık, kullanılan diş numunelerindeki ve irrigasyon protokollerindeki farklılığa bağlanabilir. Wiseman ve ark.'nın (2011) yapmış olduğu çalışmada, mandibular molarların mezial kanallarını kullanılırken; mevcut çalışmada ise simüle edilmiş iç rezorpsiyon kavitelerine sahip mandibular premolar dişler kullanılmıştır.

Erbiyum lazerler kullanılarak yapılan irrigasyon solüsyonu aktivasyonunda bazı parametreler önem arz etmektedir (Kurzmann ve ark., 2020).

- Farklı dalga boylarına sahip olmak; Er,Cr:YSGG (2780 nm) ve Er:YAG (2940 nm)
- Güç yoğunluğu ve enerji yoğunluğu (darbe uzunluğu, darbe enerjisi, uç çapı ve uç tasarımı ile belirlenir)
- Fiber ucun pozisyonları; pulpa odasına, kanalının apikaline, kanal ağzına veya kanal ağzından birkaç mm alta yerleştirilmesi.

Kuştaıcı ve ark. (2016) farklı irrigasyon solüsyonlarını kullanarak Er,Cr:YSGG lazer ve KŞİ'nin rezorpsiyon boşluğundaki kalsiyum hidroksit uzaklaştırma verimliliklerini karşılaştırmış ve sonuç olarak Er,Cr:YSGG lazerin KŞİ'den üstün olduğunu bildirmişlerdir. Mevcut çalışmamızda sadece EDTA ile aktivasyon kullanılmış olmasına rağmen, irrigandan bağımsız olarak KŞİ'den daha etkili bir uzaklaştırma sağlamak mümkün olmuştur.

İrrigasyon solüsyonunun akustik ve hidrodinamik aktivasyonlarını sağlayan, temizleme verimliliğini artıran, diğer lazerlere göre farklı dalga boylarında kullanılan geleneksel endodontik dezenfeksiyon prosedürlerine ek olarak yeni bir lazer ile irrigasyon tekniği olan foton ile indüklenen fotoakustik dalgalanma (PIPS) önerilmiştir (Kuştaıcı ve ark., 2016). Bu tekniğin diğer lazer tekniklerinden farkı, cihazın ucunun kanal içerisine yerleştirilmesi yerine, kanal ağzına veya pulpa odasına yerleştirilmesidir (Arslan ve ark., 2014). Matsumoto ve ark. (2011), kavitasyon kabarcıklarının kanalın apikal bölgesinin dezenfeksiyonuna yardımcı olması nedeniyle PIPS ucunun kanalın apikal bölgesinde konumlandırılmasına gerek olmadığını

bildirmişlerdir. Çalışmamızda da; PIPS ucu, kök örneklerinin sadece koronal kısmında konumlandırılmıştır.

Ultrasonik ve PIPS aktivasyon tekniklerinin debris uzaklaştırma etkinliğini karşılaştıran başka bir çalışmada; her iki teknik arasında tamamen farklı bir şekilde mekanik aktivasyon olmasına rağmen, sonuçlarda iki teknik arasında benzerliğe rastlanılmıştır (Verstraeten ve ark., 2017). Bunun sebebinin PIPS ucunun kanal içerisine yerleştirilmesi nedeniyle oluşan sürtünme kuvveti kaynaklı olabileceği düşünülmektedir (Lukac ve Jezersek, 2018). Kurzmann ve ark. (2020), diğer bazı yöntemlerde olduğu gibi, ultrasonik aktivasyonda cihazın ucunun çalışma uzunluğuna yakın konumlandırılmasıyla dezenfeksiyonun sağlandığını bildirilmişlerdir. Yine birçok çalışmanın sonucuna göre lazer ile aktivasyonda, lazer ucun uzak pozisyonuna rağmen 60 saniyelik süreçte yeterli temizleme etkinliği olduğu da doğrulanmıştır (Meire ve ark., 2016; Kurzmann ve ark., 2020).

Mevcut çalışmamızın sonuçlarıyla paralel olarak, Yang ve ark. (2020a), PIPS'in kök kanalından ultrasonik aktivasyon tekniğine göre daha fazla debrisin uzaklaştırıldığını bildirirken; literatürde PIPS ve ultrasonik aktivasyon tekniği ile benzer sonuçlar gösteren sadece bir çalışma vardır (Verstraeten ve ark., 2017). Farklı sonuçlar, kanal preparasyon tekniği, irrigasyon solüsyonları, aktivasyon süresi ve aktivasyon protokolündeki çeşitliliklerinden kaynaklanmış olabilir. Ayrıca çalışmamızdaki iç kök rezorpsiyon kavitesinin varlığı da kalsiyum hidroksiti uzaklaştırma zorluğu sebebiyle sonuçlar arasında farklılığa yol açmış olabilir.

PIPS, kök kanal rezorpsiyon kavitesinde kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında ultrasonik sistemden daha etkili olsa da; her iki tekniğin etki prensibi akustik enerjinin kök kanalındaki irrigasyon solüsyonuna aktarılma ilkesine dayanmaktadır (DiVito ve ark., 2012; Arslan ve ark., 2015b).

Li ve ark. (2015), mikro-BT kullanarak kök kanallarından kalsiyum hidroksit uzaklaştırılmasına ilişkin en uygun protokolleri belirlemek için EndoAktivatör, ultrasonik ve PIPS'i KŞİ ile karşılaştırmıştır. Ultrasonik ve PIPS irrigasyonunun kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında EA ve KŞİ'den daha başarılı olduğunu bulmuşlardır. Bu bulgu, PUİ ve EA teknikleri arasında anlamlı bir fark bulunmayan

çalışmamızın sonuçlarını desteklememektedir. Mevcut çalışmamızın sonuçları arasındaki farklılıkların nedeni, yukarıda bahsedilen çalışmaya göre ultrasonik uç ve EndoAktivatör ucun boyut ve konikleşme açısı farkından kaynaklanıyor olabilir. Çalışmamızda, ultrasonik uç olarak 15/0,02 ve EndoAktivatör uç olarak 25/0,04 boyutlarındaki uçlar kullanıldı. Oysa Li ve ark. (2015), ultrasonik uç olarak 20/0,02 ve EndoAktivatör ucu olarak 20/0,02 boyutlarındaki uçları kullanmışlardır. Mevcut çalışmamızın sonuçları, şırınga irrigasyonunun kalsiyum hidroksit uzaklaştırılması üzerinde sonik, pasif ultrasonik veya PIPS tekniklerine göre daha az etkiye sahip olduğunu bildiren literatür çalışmaları ile tutarlıdır (Maalouf ve ark., 2013; Phillips ve ark., 2015; Laky ve ark., 2018).

Önceki bazı çalışmalar, PIPS kullanımının kök kanal duvarlarını temizlemede konvansiyonel, sonik ve ultrasonik irrigasyon tekniklerine kıyasla dikkate değer ölçüde daha etkili olduğunu göstermişlerdir (Arslan ve ark., 2014; Arslan ve ark., 2015b). Arslan ve ark. (2014) çalışmalarında, kök kanalı içerisinde oluşturulan oluklardan debrisin uzaklaştırılması üzerine PIPS ile KŞİ, sonik ve ultrasonik teknikleri karşılaştırmışlar ve PIPS'in apikaldeki debrisin uzaklaştırılmasında diğer tekniklere göre üstün olduğunu bildirdiler. Arslan ve ark. (2015b) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise kök kanalı içerisinde oluşturulan oluklardan kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılması üzerine PIPS, KŞİ, sonik ve ultrasonik tekniklerinin etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda PIPS'in düz kanallardaki oluklardan kalsiyum hidroksiti tamamen uzaklaştırdığını ve diğer tekniklere olan üstünlüğü rapor edilmiştir.

Öte yandan, oval şekilli kök kanalından kök kanal dolum materyali uzaklaştırılmasında PIPS'in etkinliğinin sonik ve ultrasonik tekniklerle kıyaslandığı bir çalışmada, kullanılan tekniklerden hiçbirinin kök kanal dolum materyalini tamamen uzaklaştıramadığı; buna rağmen PIPS'in diğer tekniklere göre daha başarılı etkisinin olduğu bildirilmiştir (Jiang ve ark., 2016). Lloyd ve ark (2016), mandibular dişlerin mezial kök kanallarındaki kalsiyum hidroksiti uzaklaştırmada PIPS, ultrasonik ve KŞİ tekniklerin etkinliklerini karşılaştırmışlar ve sonuçlarda PIPS'in diğer tekniklere göre üstün olduğunu rapor etmişlerdir. Laky ve ark. (2018) çalışmalarında PIPS, sonik aktivasyon ve KŞİ tekniklerinin kök kanalındaki kalsiyum

hidroksiti uzaklaştırma etkinliklerini incelemişler ve PIPS tekniği ile kök kanalındaki kalsiyum hidroksitin neredeyse tamamının uzaklaştırıldığı bildirilmiştir.

Çalışmamızda lazerle aktive edilen gruplar ile ilgili olarak Er,Cr:YSGG 'nin PIPS ve SWEEPS'den daha az etkili olduğu görülmüştür. PIPS ucu, rezorpsiyon boşluğundan kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılması üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bilgi, PIPS'in kalsiyum hidroksit, smear tabakası ve debris uzaklaştırılmasında konvansiyonel, sonik, ultrasonik irrigasyon ve Er,Cr:YSGG tekniklerinden çok daha etkili olduğunu gösteren önceki bazı çalışmalarla tutarlıdır (Lloyd ve ark., 2014; Kuştaıcı ve ark., 2016; Lloyd ve ark., 2016; Özbay ve Erdemir, 2018). PIPS Er:YAG lazerlerin enerjisini arttırarak sınırlı alana sahip kök kanalları içerisinde kavitasyon basınç dalgaları veya şok dalgaları üretilememektedir. PIPS'in darbe enerjisindeki bir artış, basınç dalgası sinyalinin daha düşük genliğine neden olmaktadır. Böylece daha yüksek lazer enerjisinde oluşan kavitasyon kabarcıklarının boyutundaki artış sebebiyle kabarcık hareketlerinin kısıtlanmaktadır (Lukac ve ark., 2017). Ayrıca mevcut çalışma sonuçlarına göre sonik aktivasyonun, PUI ve Er,Cr:YSGG lazerle kalsiyum hidroksiti rezorpsiyon kavitesinden uzaklaştırma etkinliklerinin benzer olduğu da belirlenmiştir.

Lukac ve ark.'na (2017) göre, fotoakustik dalgalanmanın etkisinin arttırılması için geçici olarak SWEEPS tekniğinin kullanımı tercih edilmektedir. Yang ve ark. (2020a) çalışmalarında, kök kanalında biriken sert doku artıklarını uzaklaştırmada PIPS ve SWEEPS'in etkinlikleri karşılaştırılmış ve SWEEPS'in PIPS'den daha başarılı olduğu rapor edilmiştir. Bu sonuç, yeni otomatik SWEEPS modu ile açıklanmaktadır.

SWEEPS, kök kanalı içerisinde baloncuk çökmesini hızlandırır ve bir sonraki lazer darbesinden sonra oluşan baloncuk, ilk baloncuğu etkili bir şekilde kök kanalının daha derinlerine iter. Irrigasyon aktivasyonu, kök kanalı içinde daha derin bir temizleme etkisi sağlar ve böylece doku artıklarını etkili bir şekilde ortadan kaldırmaktadır (Yang ve ark., 2020a). Bununla birlikte, mevcut çalışmamızın sonuçlarını destekleyen yakın zamanda yapılan bir çalışmada, mandibular molar dişlerin mezial ve distal kök kanallarında kalan kalsiyum hidroksit yüzdesi açısından PIPS ve SWEEPS arasında önemli bir fark bulunamamıştır (Yang ve ark., 2020b).

SWEEPS, yüksek performansına rağmen rezorpsiyon boşluğundaki kalsiyum hidroksit kalıntılarını ortadan kaldıramamıştır. SWEEPS tekniği kullanılarak iç kök rezorpsiyon kavitesi içindeki kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasına ilişkin literatürde herhangi bir veri yoktur; bu nedenle mevcut sonuçlar diğerleriyle karşılaştırılamamaktadır. SWEEPS tekniğinin diğer tekniklere kıyasla etkinliğini belirlemek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Literatürdeki çalışmaların hiçbirinde rezorpsiyon kavitesi içerisinde artık kalsiyum hidroksitin yüzey alanı (mm^2) değerlendirilmediğinden; mevcut çalışma bulgularından sadece rezorpsiyon kavitesi içerisindeki artık kalsiyum hidroksit hacmi (mm^3) benzer çalışmalarla kıyaslanmıştır.

İrrigasyon solüsyonlarının kimyasal ve mekanik özellikleri açısından, farklı teknikler kullanarak aktive edilmeleri, dezenfeksiyon etkilerinin artması veya kalsiyum hidroksit partikülleriyle etkileşime girmeleri önemlidir. Çalt ve Seper (1999), EDTA ve NaOCl kullanılarak kök kanal duvarlarından rezidüel kalsiyum hidroksitin tamamen uzaklaştırılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Rödig ve ark. (2010) tarafından yürütülen çalışmada, kanallardan kalsiyum hidroksiti uzaklaştırmak için farklı irrigasyon solüsyonların etkinliğini karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda, % 10 sitrik asit ve % 20'lik EDTA gibi şelatörlerin daha verimli olduğunu ayrıca, % 20 EDTA ile % 1 NaOCl kullanımının kalsiyum hidroksit uzaklaştırılmasında dikkate değer bir etki göstermediğini bildirmişlerdir. EDTA ve NaOCl çözeltilerinin karıştırılmamasına rağmen, düzensiz alanlardaki NaOCl kalıntıları, daha sonra kullanılan EDTA solüsyonuna etki ederek rezorpsiyon kavitesindeki kalsiyum hidroksitin çözünme oranını azaltabilmektedir (Ulusoy ve ark., 2018). İrrigasyon solüsyonlarının temas süresi ve hacmi, çözünme kapasitelerini etkileyebilecek önemli parametrelerdir (Ulusoy ve ark., 2018). Mevcut çalışmamızda, tüm gruplarda irrigasyon solüsyonlarına maruz kalma süresi 1 dakika ve toplam solüsyon hacmi 5 ml (% 17'lik EDTA) olarak standardize edilmiştir.

Vineeta ve ark. (2014), ultrasonik aktivasyonla % 17 EDTA ve % 0,2 Kitozan kullanarak kök kanalından su ve yağ bazlı kalsiyum hidroksit uzaklaştırılma miktarını

incelemişlerdir. Sonuç olarak, % 0,2 Kitozanın ultrasonik aktivasyonunun % 17 EDTA irrigasyonundan daha fazla miktarda kalsiyum hidroksit uzaklaştırdığı rapor edilmiştir.

Kuştaıcı ve ark. (2016), kök kanallarındaki kalsiyum hidroksiti uzaklaştırmada Er,Cr:YSGG lazerlerle % 2,5 NaOCl, % 17 EDTA, Qmix 2in1 ve % 1 Perasetik asit (PAA) aktivasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, EDTA, Qmix ve PAA'in benzer etki gösterdiği ancak NaOCl'nin bunlardan anlamlı derecede daha fazla kalsiyum hidroksit uzaklaştırdığı bildirilmiştir.

Radeva ve Tsanova'nın (2016) çalışmasında, kök kanallarından kalsiyum hidroksit uzaklaştırmada en etkili irrigasyon protokolünü değerlendirme amaçlanmıştır. Çalışmada, 2 ml % 5,25 NaOCl ve 1 ml Smear Clear kullanılarak farklı tekniklerle aktivasyon yapılmıştır ve kanal içi materyallerin uzaklaştırılmasında kesin bir protokolün olmadığı sonucuna varılmıştır.

Bazı araştırmacılar, iç kök rezorpsiyonunu simüle etmek için frez kullanmışlardır (Topçuoğlu ve ark., 2014; Keskin ve ark., 2017). Bununla birlikte, frezler tekdüze bir şekilde rezorpsiyon boşlukları oluştururken, klinik olarak iç kök rezorpsiyonlarında uniform olmayan defektler mevcuttur (Topçuoğlu ve ark., 2014). Bunun yanı sıra, doğal bir kök kanal sisteminin karmaşıklığı, standartlaştırılmış rezorpsiyon kaviteleri ile simüle edilememektedir (Rödig ve ark., 2011). Standardize edilmiş rezorpsiyon boşlukları, kök kanal sisteminin karmaşık yapısını taklit edemediğinden; da Silveira ve ark. (2014) ile Marques da Silva ve ark. (2020), yapay iç kök rezorpsiyon kavitesi oluşturmak için asit demineralizasyonu kullanmışlardır. Buna karşın, mevcut çalışmamızda, iç kök rezorpsiyon kavitelerinin boyutunu ve yerini ve kullanılan madikaman miktarlarını standardize etmek için frezler kullanılmıştır. Irrigasyon öncesi rezorpsiyon kavitesi ve kalsiyum hidroksit hacmi gruplar arasında benzer olup, örnekler bu çalışmada irrigasyon aktivasyonundan önce ve sonra eşleştirilmiştir. Standardize ve karşılaştırılabilir koşullar, iç kök kanal rezorpsiyon kavitesinde kalsiyum hidroksit eliminasyonunun etkinliği hakkında daha güvenilir sonuçlar sağlamaktadır.

Direkt gözlem, dijital görüntüleme yazılımı, stereo mikroskoplar, taramalı elektron mikroskopları (SEM), KIBT, spiral-BT ve mikro-BT kök kanallarındaki

rezidüel kalsiyum hidroksit miktarını belirlemek için kullanılan çeşitli yöntemlerdir (Ma ve ark., 2015; Gupta ve ark., 2018). Bazı çalışmalarda, rezidüel kalsiyum hidroksit miktarını hesaplamak için yüzey alanını ölçme (Balvedi ve ark., 2010; Galic ve Stasic, 2019) veya puanlama yöntemi (Kfir ve ark., 2018; Donnermeyer ve ark., 2019) kullanılmıştır. Bununla birlikte, bu tekniklerin dezavantajları, iki boyutlu görüntüleme nedeniyle sübjektif değerlendirme yapılması, kanal içerisindeki artık materyallerin hatalı ya da eksik değerlendirilmesi, örneklerin bölünme işlemi sırasında rezidüel kalsiyum hidroksitin zarar görmesi ve gözlemciler arasındaki çeşitliliklerdir. Spiral-BT, uzaklaştırılan kalsiyum hidroksit hacmini analiz etmek için kullanılmaktadır (Nandini ve ark., 2006). Hacim analizi ile yüzey alanı ölçümünden daha doğru sonuçlar vermesine rağmen, spiral BT çözünürlüğü oldukça düşüktür (Ma ve ark., 2015). Raghu ve ark. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, kanal duvarlarındaki rezidüel kalsiyum hidroksiti değerlendirmek için KIBT'nin, stereomikroskop, SEM, spiral-BT ile karşılaştırıldığında daha gelişmiş, daha doğru ve daha hızlı bir yöntem olduğu bildirilmiştir.

Mikro-BT, aynı numuneyi tekrar bölme ve kök kanalını direk gözlem yönteminin aksine, deneyin farklı dönemlerinde numunede kalan materyal hacminin doğrudan analizine izin vermektedir. Dahası, mikro-BT kullanımı, direkt gözlem yöntemindeki yorumlayıcı tarafsızlığını sağlamakta, hem gözlemci değişkenliğini hem de bölme sırasında örneklere verilebilecek hasarı ortadan kaldırmaktadır (Volponi ve ark., 2020). Kök kanalının enine kesit incelemesinin yanı sıra, rezidüel kalsiyum hidroksit hacminin kantitatif ve kalitatif olarak üç boyutlu değerlendirilmesi yüksek çözünürlükte elde edilebilmektedir (Ma ve ark., 2015; Yang ve ark., 2020a). Günümüzde, farklı irrigasyon tekniklerinden sonra rezidüel kalsiyum hidroksit miktarını değerlendirmek için mikro-BT başarıyla kullanılmaktadır (Keleş ve ark., 2016; Rödig ve ark., 2019; Yang ve ark., 2020a-b).

Bununla birlikte, bu tez çalışmasının bazı sınırlamaları vardır. Çalışmanın en kritik sınırlaması, iç rezorpsiyon boşluklarının standardizasyonudur. En sık kullanılan yöntem olan elmas frez kullanılmasına rağmen tamamen aynı boyuttaki rezorpsiyon boşluklarının standardizasyonu zordur. İkinci olarak, mikro-BT teknolojisi insan numuneleri üzerinde sadece ex-vivo çalışmalarda kullanılabilir (Özbay ve Erdemir,

Frez ile simüle edilmiş iç kök rezorpsiyonuna sahip kök kanallarından kalsiyum hidroksit uzaklaştırılması için kullanılan PIPS, SWEEPS, Er,Cr:YSGG lazer, EA, PUİ, XP ve KŞİ tekniklerinin etkinliklerinin değerlendirildiği bu tez çalışmasının sınırlamaları dahilinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 85

KAYNAKLAR

Abbott PV. Prevention and management of external inflammatory resorption following trauma to teeth. Australian Dental Journal. 2016;61(1):82-94.

Ahlberg K, Bystedt H, Eliasson S, Odenrick L. Longterm evaluation of autotransplanted maxillary canines with completed root formation. Acta Odontol Scand. 1983;41:23–31

Akçay M, Arslan H, Meşe M, Durmuş N, Çapar ID. Effect of Photon-initiated Photoacoustic Streaming, Passive Ultrasonic and Sonic Irrigation Techniques on Dentinal Tubule Penetration of Irrigation Solution: A Confocal Microscopic Study. Clin. Oral Investig. 2016;21(7):2205-2212.

Akın CB. Kalsiyum Hidroksit'in Kök Kanallarından Uzaklaştırılma Etkinliğinin Farklı Metodlarla İncelenip Karşılaştırılması. Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2011, Ankara (Danışman: Prof. Dr. AC Tınaz)

Aksoy U, Küçük, Versiani MA, Orhan K. Publication trends in micro-CT endodontic research: a bibliometric analysis over a 25-year period. Int Endod J. 2021; doi:10.1111/iej.13433.

Akyuz SN, Erdemir A. Comparison of different irrigation activation techniques on smear layer removal: an in vitro study. Microscopy Research & Technique. 2015;78: 230-239.

Alaçam T, Gorgul G, Omurlu H. Evaluation of diagnostic radiopaque contrast materials used with calcium hydroxide. Journal of Endodontics. 1990;16:365-368.

Al-Jadaa A, Paque' F, Attin T, Zehnder M. Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in simulated accessory canals: impact of canal location and angulation. Int Endod J. 2009;42:59–65.

Alvarez Sagües A, Herce N, Amador U, Llinares Pinel F, Nistal Villan E, Presa J, Alvarez L, Azabal M. Efficacy of EDTA and HEDP chelators in the removal of mature biofilm of enterococcus faecalis by PUI and XPF file activation. Dent. J. 2021;9:41.

Alves FR, Almeida BM, Neves MA, Moreno JO, Roças IN, Siqueira JF Jr. Disinfecting oval-shaped root canals: effectiveness of different supplementary approaches. J Endod 2011;37:496–501.

American Association of Endodontists, “Glossary of endodontic terms,” 2020, <http://www.aae.org/glossary/>, (Erişim tarihi: Mart 2020).

Andersen M, Lund A, Andreasen JO, Andreasen FM. In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite. Endodontics and Dental Traumatology 8. 1992:104-108.

Andreasen FM, Andreasen JO, Bayer T. Prognosis of root-fractured permanent incisor-prediction of healing modalities. Endodontics & Dental Traumatology. 1989;5: 11-22.

Andreasen FM, Pedersen BV. Prognosis of luxated permanent teeth—the development of pulp necrosis. Endod Dent Traumatol 6. 1985;1:207-220.

Andreasen FM. Transient apical breakdown and its relation to color and sensibility changes after luxation injuries to teeth. Endod Dent Traumatol. 1986;2:9-19

Andreasen J, Andreasen F. Root resorption following traumatic dental injuries. Proceedings of the Finnish Dental Society. Suomen Hammaslaakariseuran Toimituksia. 1992;88:95-114.

Andreasen JO, Borum MK, Jacobsen HL et al. Replantation of 400 avulsed permanent incisors. 2.Factors related to pulpal healing. Endod Dent Traumatol 2. 1995;11:59-68.

Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. Dent Traumatol. 2002;18(3):134-137

Andreasen JO, Hjorting-Hansen E. Replantation of teeth. I. Radiographic and clinical study of 110 human teeth replanted after accidental loss. Acta Odontol Scand 3. 1966;24:263-286.

Andreasen JO. Luxation of permanent teeth due to trauma. A clinical and radiographic follow-up study of 189 injured teeth. *Scand J Dent Res*. 1970;78:273-286.

Arıcıoğlu B, Çıkman AŞ, Babacan M. The comparison of cleaning efficacy and apical extrusion of advanced irrigation activation methods with a novel Er:YAG laser modality: sweeps. *Lasers in Dental Science*. 2021;5:43-52.

Arslan H, Akçay M, Capar ID, Saygili G, Gok T, Ertas H. An in vitro comparison of irrigation using photon-initiated photoacoustic streaming, ultrasonic, sonic and needle techniques in removing calcium hydroxide. *Int Endod J* 2015b;48(3):246-251.

Arslan H, Akçay M, Ertas H et al. Effect of PIPS technique at different power settings on irrigating solution extrusion. *Lasers Med Sci*. 2015a;30(6):1641-1645.

Arslan H, Capar ID, Saygili G, Gok T, Akçay M. Effect of photon-initiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *Int Endod J*. 2014;47:1072-1077.

Arslan H, Topcuoglu HS, Karatas E, Barutcigil C, Aladag H, Topcu KM. Effect of the smear layer in the removal of calcium hydroxide from root canal walls. *J Conserv Dent* 2012;15:113–117.

Athanassiadis B, Abbott PV, Walsh LJ. The use of calcium hydroxide, antibiotics and biocides as antimicrobial medicaments in endodontics. *Aust Dent J*. 2007;52:64-82.

Bago I, Plecko V, Gabric Panduric D, Schauperl Z, Baraba A, Aniç I. Antimicrobial efficacy of a high-power diode laser, photo-activated disinfection, conventional and sonic activated irrigation during root canal treatment. *International Endodontic Journal*. 2013;46:339–347.

Balić M, Lucić R, Mehadžić K et al. The efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming and sonic-activated irrigation combined with QMiX solution or sodium hypochlorite against intracanal *E. faecalis* biofilm. *Lasers Med Sci*. 2016;31(2):335-342.

Balvedi RPA, Versiani MA, Manna FF, Biffi JCG. A comparison of two techniques

for the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J*. 2010;43:763–768.

Bănică AC, Marinescu IR, Gheorghe DN, Trușcă AG, Drăghici EC, Mercuț V, Popescu SM. Root resorption prevalence in adults from Dolj county, Romania-a radiological evidence. *Romanian Journal of Oral Rehabilitation*. 2018;10(4):170–179.

Barbizam JV, Trope M, Teixeira EC, Tanomaru-Filho M, Teixeira FB. Effect of calcium hydroxide intracanal dressing on the bond strength of a resin-based endodontic sealer. *Braz Dent J*. 2008;19(3):224- 227.

Bartletta F, Reis M, Wagner M, Borges J, Dall’Agnol C. Computed tomography assessment of three techniques for removal of filling material. *Aust Endod J* 2008;34:102–5.

Behnen MJ, West LA, Liewehr FR, Buxton TB, McPherson JC. Antimicrobial activity of several calcium hydroxide preparations in root canal dentine. *Journal of Endodontics*. 2001;27:765–767.

Bell T. The anatomy, physiology, and disease of the teeth. Philadelphia, PA: Carey and Lee Publishing. 1830:171–172.

Benenati F. Root résorption: Types and treatment. *Gen Dent*. 1997;45:42-45.

Benítez MB, Chiera CM, Jacobo MI. Reabsorciones dentarias: un problema para el diagnóstico, el tratamiento y el pronóstico. *Claves Odontol*. 2002;8(50):10-13.

Betancourt P, Merlos A, Sierra Josep M, Arnabat-Dominguez J, Viñas M. Er,Cr:YSGG Laser-Activated Irrigation and Passive Ultrasonic Irrigation: Comparison of Two Strategies for Root Canal Disinfection. *Photobiomodulation, Photomedicine, Laser Surg*. 2020;38:91–97.

Bhuva B, Barnes JJ, Patel S. The use of limited cone beam computed tomography in the diagnosis and management of a case of perforating internal root resorption. *Int Endod J*. 2011;44:777–786.

Bille ML, Kvetny MJ, Kjaer I. A possible association between early apical resorption of primary teeth and ectodermal characteristics of the permanent dentition. *Eur J Orthod*. 2008;30:346–351.

Blanken J, De Moor RJ, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: a visualization study. *Lasers Surg Med*. 2009;41(7):514–519.

Bolhari B, Ehsani S, Etemadi A, et al. Efficacy of Er,Cr:YSGG laser in removing smear layer and debris with two different output powers. *Photomed Laser Surg*. 2014;32:527–532.

Boutsioukis C, van der Sluis LWM. Syringe irrigation: blending Endodontics and Fluid Dynamics. Chapter 3. In Basrani B. ed. *Endodontic irrigation: Chemical disinfection of the root canal system*. New York, NY, USA; 2015,p:45-64.

Boyce BF, Xing L. Functions of RANKL/RANK/OPG in bone modeling and remodeling. *Arch Biochem Biophys*. 2008;473:139–146.

Burleson A, Nusstein J, Reader A et al. The in vivo evaluation of hand/rotary/ultrasound instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *J Endod* 7. 2007;33:782-787.

Byström A, Claesson R, Sundqvist G. The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol, and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. *Endodontics & Dental Traumatology*. 1985;1:170–175.

Cabrini R, Maisto O, Manfredi E. Internal resorption of dentine; histopathologic control of eight cases after pulp amputation and capping with calcium hydroxide. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1957;10:90–96.

Çalışkan MK, Türkün M. Prognosis of permanent teeth with internal resorption: a clinical review. *Endod Dent Traumatol*. 1997;13:75–81.

Çalt S, Serper A. Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endodon*. 1999;25:431–433.

Camargo CHR, Bernardineli N, Valera MC, et al. Vehicle influence on calcium hydroxide pastes diffusion in human and bovine teeth. *Dent Traumatol.* 2006;22(6):302–306.

Çapar ID, Ozcan E, Arslan H, Ertas H, Aydinbelge HA. Effect of different final irrigation methods on the removal of calcium hydroxide from an artificial standardized groove in the apical third of root canals. *J Endod.* 2014;40(3):451–4.

Castagnola R, Marigo L, Pecci R, Bedini R, Cordaro M, Liborio Coppola E, Lajolo C. Micro-CT evaluation of two different root canal filling techniques. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2018, 22, 4778–4783.

Çelikten B, F Uzuntaş C, I Orhan A, Tüfenkçi P, Mısırlı M, O Demiralp K, et al. Micro-CT assessment of the sealing ability of three root canal filling techniques. *J Oral Sci.* 2015; 57: 361–366.

Chai WL, Hamimah H, Cheng SC, Sallam AA, Abdullah M. Susceptibility of *Enterococcus faecalis* biofilm to antibiotics and calcium hydroxide. *Journal of Oral Science.* 2007;49:161–166.

Chou K, George R, Walsh JL. Effectiveness of different intracanal irrigation techniques in removing intracanal paste medicaments. *Aust Endod J.* 2014;40:21–25.

Chubb DWR. A review of the prognostic value of irrigation on root canal treatment success. *Aust Endod J.* 2019;45:5–11.

Chung CJ, Soma K, Rittling SR, et al. OPN deficiency suppresses appearance of odontoclastic cells and resorption of the tooth root induced by experimental force application. *J Cell Physiol.* 2008;214:614–620.

Conde AJ, Estevez R, Lorono G, et al. Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *Int Endod J.* 2017;50:976–982.

da Costa Lima GA, Aguiar CM, Ca'mara AC, Alves LC, Dos Santos FA, do Nascimento AE. Comparison of smear layer removal using the Nd:YAG laser,

ultrasound, Pro- Taper Universal system, and CanalBrush methods: an in vitro study. *J Endod.* 2015;41:400–404.

da Silva J, Silveira A, Santos E, et al. Efficacy of sodium hypochlorite, ethylenediaminetetraacetic acid, citric acid and phosphoric acid in calcium hydroxide removal from the root canal: A microscopic cleanliness evaluation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology.* 2011;112(6): 820-824.

da Silveira PF, Vizzotto MB, Montagner F, da Silveira HL, da Silveira HE. Development of a new in vitro methodology to simulate internal root resorption. *Journal of Endodontics.* 2014;40:211–216.

Darcey J, Qualtrough A. Root Resorption: Simplifying Diagnosis and Improving Outcomes. *Prim Dent J.* 2016;5(2):36-45.

de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Heilborn C, CohenCaN. Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: An in vitro study. *J Endod.* 2009;35:891-895.

de Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR, van der Sluis LW. Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J.* 2009;42:1077-1083.

Delzangles B. Scanning electron microscopic study of apical and intracanal resorption. *J Endod.* 1989;15:281–285.

Denna J, Shafie LA, Alsofi L, Al-Habib M, AlShwaimi E. Efficacy of the rotary instrument XP-endo finisher in the removal of calcium hydroxide intracanal medicament in combination with different irrigation techniques: A microtomographic study. *Materials (Basel).* 2020;13(10):2222.

Desai P, Himel V. Comparative safety of various intracanal irrigation systems, *J Endod.* 2009;35:4.

Distel JW, Hatton JF, Gillespie MJ. Biofilm formation in medicated root canals. *J Endod.* 2002;28:689 –693.

DiVito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the erbium: YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med Sci.* 2012;27(2):273–280.

Do QL, Gaudin A. The Efficiency of the Er: YAG Laser and PhotonInduced Photoacoustic Streaming (PIPS) as an Activation Method in Endodontic Irrigation: A Literature Review. *Journal of Lasers in Medical Sciences.* 2020;11(3):316-334.

Donnermeyer D, Wyrsh H, Bürklein S, Schäfer E. Removal of Calcium Hydroxide from Artificial Grooves in Straight Root Canals: Sonic Activation Using EDDY Versus Passive Ultrasonic Irrigation and XPendo Finisher. *Journal of Endodontics.* 2019;45(3):322-326.

Dua R, Kochhar GK, Garewal R, Khanna A, Thakur A. Root Canal Irrigation Devices: An Update. *International Journal of Research in Health and Allied Sciences.* 2018;4(1):54-58.

Dumani A, Guvenmez HK, Yilmaz S, Yoldas O, Kurklu ZG. Antibacterial efficacy of calcium hypochlorite with vibringe sonic irrigation system on *Enterococcus faecalis*: An in vitro study. *Biomed Res Int.* 2016;2016:8076131.

Eggmann F, Vokac Y, Eick S, Neuhaus KW. Sonic irrigant activation for root canal disinfection: Power modes matter. *BMC Oral Health.* 2020;20:102. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01088-5>

Eldeniz AU, Ozer F, Hadimli HH, Erganis O. Bactericidal efficacy of Er,Cr:YSGG laser irradiation against *Enterococcus faecalis* compared with NaOCl irrigation: an ex vivo pilot study. *International Endodontic Journal.* 2007;40:112– 119.

Elnaghy AM, Mandorah A, Elsaka SE. Effectiveness of XP-endo Finisher, EndoActivator, and File agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study. *Odontology.* 2017;105(2):178–183.

Eslami LM, Vatanpour M, Aminzadeh N, Mehrvarzfar P, Taheri S. The comparison of intracanal medicaments, diode laser and photodynamic therapy on removing the biofilm of *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* in the root canal system (ex

vivo study). *Photodiagn Photodyn Ther.* 2019;26:157–161.

Espona J, Roig E, Duran-Sindreu F, Abella F, Machado M, Roig M. Invasive Cervical resorption: Clinical management in the anterior zone. *J Endod.* 2018;44:1749–1754.

Eymirli A, Nagas E, Uyanik MO, Cehreli ZC. Effect of laser-activated irrigation with ethylene diaminetetraacetic acid and phytic acid on the removal of calcium hydroxide and triple antibiotic paste from root dentin. *Photomed Laser Surg.* 2017;35:43–48.

Farhad A, Mohammadi Z. Calcium hydroxide: a review. *International Dental Journal.* 2005;55:293–301.

Faria G, Viola KS, Kuga MC, et al. Effect of rotary instrument associated with different irrigation techniques on removing calcium hydroxide dressing. *Microsc Res Tech.* 2014;77:642–646.

Fava LR, Saunders WP. Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications. *Int Endod J.* 1999;32:257-282.

Feldkamp LA, Goldstein SA, Parfitt AM, Jasion G, Kleerekoper M. The direct examination of three-dimensional bone architecture in vitro by computed tomography. *J Bone Miner Res.* 1989;4:3–11.

Fernandes M, de Ataíde I, Wagle R. Tooth resorption part I—pathogenesis and case series of internal resorption. *Journal of Conservative Dentistry.* 2013;16(1):4–8.

Fónyad L, Shinoda K, Farkash EA, Groher M, Sebastian DP, Szász AM, Colvin RB, Yagi Y. 3-dimensional digital reconstruction of the murine coronary system for the evaluation of chronic allograft vasculopathy. *Diagn Pathol.* 2015;10:16.

Frank AL, Torabinejad M. Diagnosis and treatment of extracanal invasive resorption. *J Endod.* 1998;24:500–504.

Frank AL, Weine FS. Nonsurgical therapy for the perforative defect of internal resorption. *J Am Dent Assoc.* 1973;87:863–868.

Fuss Z, Tsesisv I, Lin S. Root resorption-diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dent Traumatol*. 2003;19:175-182.

Gabor C, Tam E, Shen Y, Haapasalo M. Prevalence of internal inflammatory root resorption. *J Endod*. 2012;38(1):24–27.

Galic VO, Stasic JN. Efficacy of different irrigation techniques on calcium hydroxide removal from the root canal. *Stomatol Glas Srb*. 2018;65:148–155.

Galic VO, Veljovic D, Neskovic J, Milosevic V, Ilic V. Efficiency of calcium hydroxide removal techniques from simulated internal resorptions – in vitro study. *Srp Arh Celok Lek*. Online First May 6, 2021; DOI: <https://doi.org/10.2298/SARH200714029O>.

Galler KM, Grubmüller V, Schlichting R, et al. Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *International Endodontic Journal*. 2019;52:1210– 1217.

Gartner AH, Mark T, Somerlott RG, Walsh LC. Differential diagnosis of internal and external cervical resorption. *J Endod*. 1976;2:329–334.

George R, Meyers IA, Walsh LJ. Laser activation of endodontic irrigants with improved conical laser fiber tips for removing smear layer in the apical third of the root canal. *J Endod*. 2008;34:1524–1527.

Ghabraei S, Bolhari B, Yaghoobnejad F, Meraji N. Effect of intra-canal calcium hydroxide remnants on the push-out bond strength of two endodontic sealers. *Iranian Endod J*. 2017;12:168-172.

Gohil H, Mod DC, Shetty V, Kanaparthi A, Goswami H. Advances in activation of endodontic irrigants. *Journal of Advanced Health Sciences and Research*| January-June. 2020;1(1):52.

Gomes BP, Ferraz CCR, Vianna ME, et al. In vitro antimicrobial activity of calcium hydroxide pastes and their vehicles against selected microorganisms. *Brazilian Dental Journal*. 2002;13:155–161.

Gorus Z. A comparative evaluation of smear layer removal by using different er:YAG lasers parameters: An in-vitro scanning electron microscopic study. *Niger J Clin Pract.* 2018;21:1602–6.

Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR . Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009;35:791-804.

Guiotti FA, Kuga MC, Duarte MAH, Sant'Anna Junior A, Faria G. Effect of calcium hydroxide dressing on push-out bond strength of endodontic sealers to root canal dentin. *Braz Oral Res.* 2014;28:1-7.

Gulabivala K, Ng YL, Gilbertson M, Eames I. The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiol Meas.* 2010;31:49–84.

Gunraj MN. Dental root resorption. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999;88(6):647-653.

Gupta R, Sharma H, Kumari RA, Prakash AC, Rai N, Jain L. Effectiveness of two techniques in removal of calcium hydroxide medicament from root canals: An in vitro assessment. *Journal of Clinical and Diagnostic Research.* 2018;12(7):53-55.

Gurbuz T, Ozdemir Y, Kara N, Zehir C, Kurudirek M. Evaluation of root canal dentin after Nd:YAG laser irradiation and treatment with five different irrigation solutions: A preliminary study. *J Endod.* 2008;34:318–321.

Haapasalo M, Endal U. Internal inflammatory root resorption: the unknown resorption of the tooth. *Endod Topics.* 2006;14:60–79.

Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin N Am.* 2010;54:291–312.

Hamdan R, Michetti J, Pinchon D, et al. The XP-endo Finisher for the removal of calcium hydroxide paste from root canals and from the apical third. *J Clin Exp Dent.* 2017;9:855–860.

Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Evaluation of root canal obturation: a three-

dimensional in vitro study. J Endod. 2009;35(4):541-544.

Han GY, Park SH, Yoon TC. Antimicrobial activity of Ca(OH)₂ containing pastes with Enterococcus faecalis in vitro. Journal of Endodontics. 2001;27:328–332.

Harokopakis-Hajishengallis E. Physiologic root resorption in primary teeth: molecular and histological events. J Oral Sci. 2007;49:1–12.

Heithersay GS. Management of tooth resorption. Aust Dent J. 2007;52:105-121.

Holliday R, Alani A. Traditional and contemporary techniques for optimizing root canal irrigation. Dental Update. 2014;41(1):51-61.

Hosoya N, Kurayama H, Lino F, Arai T. Effects of calcium hydroxide on physical and sealing properties of canal sealers. International Endodontic Journal. 2004;37:178–184.

Huang Y, Orhan K, Celikten B, Orhan AI, Tufenkci P, Sevimay S. Evaluation of the sealing ability of different root canal sealers in the whole root canal: a combined study using SEM and micro-CT. J Appl Oral Sci. 2017;26:e20160584.

Ivanusic T, Lukac M, Lukac N, Jezersek M. SSP/SWEEPS endodontics with the SkyPulse Er:YAG dental laser. J LAHA. 2019;2019(1):1–10.

Jaramillo DE, Aguilar E, Arias A, Ordinola-Zapata R, Aprecio RM, Ibarrola JL. Root canal disinfection comparing conventional irrigation vs photon-induced photoacoustic streaming (PIPS) using a buffered 05 % sodium hypochlorite solution. *Evid Based Endod*. 2016;1(1):6. doi: 10.1186/s41121-016-0006-6.

Jensen SA, Walker TL, Hutter JW, Nicoll BK. Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. J Endod. 1999;25(11):735–738.

Jiang LM, Lak B, Eijssvogels LM, Wesselink P, van der Sluis LW. Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. Journal of Endodontics. 2012;38:838-841.

Jiang S, Zou T, Chang JW, et al. Effectiveness of sonic, ultrasonic, and photoninduced photoacoustic streaming agitation of NaOCl on filling material removal following retreatment in oval canal anatomy. *Photomed Laser Surg* 2016;34:3–10.

Johnson V, Brahmachary B, Mohani S, Sukumar S, Podder S, Tiwari H. Evaluation of Efficacy of Lasers on Root Canal Disinfection during Endodontic Treatment: An Original Research. *Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research*. 2020;8(9):180-184.

Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J* 2005;38:617–26.

Kaptan F, Karapinar-Kazandag M, Kayahan MB, et al. Potential of an Er:YAG laser in the removal of calcium hydroxide from root canals. *Photomed Laser Surg*. 2012;30: 250–254.

Karade P, Chopade R, Patil S, Hoshing U, Rao M, Rane N, et al. Efficiency of different endodontic irrigation and activation systems in removal of the smear layer: A scanning electron microscopy study. *Iran Endod J*. 2017;12:414–418.

Kasic S, Knezovic M, Beader N, et al. Efficacy of three different lasers on eradication of *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* biofilms in root canal system. *Photomed Laser Surg*. 2017;35:372–377.

Kawamoto R, Kurokawa H, Takubo C, Shimamura Y, Yoshida T, Miyazaki M. Change in elastic modulus of bovine dentine with exposure to a calcium hydroxide paste. *Journal of Dentistry*. 2008;36:959–964.

Keleş A, Alçin H, Sousa-Neto MD, Versiani MA. Supplementary Steps for Removing Hard Tissue Debris from Isthmus-containing Canal Systems. *J Endod*. 2016;42(11):1677–1682.

Keskin C, Sariyilmaz E, Sariyilmaz Ö. Efficacy of XP-endo Finisher File in Removing Calcium Hydroxide from Simulated Internal Resorption Cavity. *J Endod*. 2017;43:126–130.

Kfir A, Blau-Venezia N, Goldberger T, Abramovitz I, Wigler R. Efficacy of self-adjusting file, XP-endo finisher and passive ultrasonic irrigation on the removal of calcium hydroxide paste from an artificial standardized groove. *Australian Endodontic Journal*. 2018;44(1):26-31.

Khaleel HY, Al-Ashaw AJ, Yang Y, Pang AH, Ma JZ. Quantitative comparison of calcium hydroxide removal by endoactivator, ultrasonic, and protaper file agitation techniques: An in vitro study. *J Huazhong Univ Sci Technol - Med Sci*. 2013;33:142-145.

Khojastepour L, Moazami F, Babaei M, Forghani M. Assessment of Root Perforation within Simulated Internal Resorption Cavities Using Cone-beam Computed Tomography. *J Endod*. 2015;41:1520-1523.

Kırmızı D, Aksoy U, Orhan K. Efficacy of Laser-Activated Irrigation and Conventional Techniques in Calcium Hydroxide Removal from Simulated Internal Resorption Cavities: Micro-CT Study. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*. 2021. Doi: 10.1089/photob.2021.0001.

Kim SK, Kim YO. Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal. *Int Endod J*. 2002;35(7):623-628.

Kirmali O, Kustarci A, Kapdan A, Er K. Effects of dentin surface treatments including Er,Cr:YSGG laser irradiation with different intensities on the push-out bond strength of the glass fiber posts to root dentin. *Acta Odontol Scand*. 2015;73:380–386.

Klyn SL, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator™ System, the F File™, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod*. 2010;36:1367–1371.

Konstantinidi E, Psimma Z, Chávez de Paz LE, Boutsoukis C. Apical negative pressure irrigation versus syringe irrigation: A systematic review of cleaning and disinfection of the root canal system. *Int Endod J*. 2017;50:1034–1054.

Kurzmann C, Meire MA, Lettner S, Farmakis ETR, Moritz A, De Moor RJG. The

efficacy of ultrasonic and PIPS (photon-induced acoustic streaming) irrigation to remove artificially placed dentine debris plugs out of an artificial and natural root model. *Lasers Med Sci.* 2020;35(3):719– 728.

Kuştarıcı A, Er K, Siso SH, et al. Efficacy of Laser-Activated Irrigants in Calcium Hydroxide Removal from the Artificial Grooves in Root Canals: An Ex Vivo Study. *Photomed Laser Surg.* 2016;34:205–210.

Küçükkaya Eren S, Aksel H, Parashos P. A novel model for testing the efficiency of removal of calcium hydroxide from complex root canal anatomies. *Australian Endodontic Journal.* 2017;43(1):5-10.

Laky M, Volmer M, Arslan M, Agis H, Moritz A, Cvikl B. Efficacy and Safety of Photon Induced Photoacoustic Streaming for Removal of Calcium Hydroxide in Endodontic Treatment. *BioMed Research International.* 2018;(1):6.

Lambrianidis T, Kosti E, Boutsoukis C, Mazinis M. Removal efficacy of various calcium hydroxide/chlorhexidine medicaments from the root canal. *Int Endod J.* 2006:55–61.

Lambrianidis T, Margelos J, Beltes P. Removal efficiency of calcium hydroxide dressing from the root canal. *J Endod.* 1999;25:85-88.

Lee SJ, Wu MK, Wesselink P. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J.* 2004;37:672-678.

Leoni GB, Versiani MA, Silva-Sousa YT, Bruniera JFB, Pecora JD, Sousa-Neto MD. Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. *International Endodontic Journal.* 2017;50:398–406.

Li D, Jiang S, Yin X, Chang JWW, Ke J, Zhang C. Efficacy of Needle, Ultrasonic, and Endoactivator Irrigation and Photon-Induced Photoacoustic Streaming in Removing Calcium Hydroxide from the Main Canal and Isthmus: An *In Vitro* Micro-Computed Tomography and Scanning Electron Microscopy Study. *Photomed Laser Surg.*

2015;33:330–337.

Licata M, Albanese A, Campisi G, Geraci D, Russo R, Gallina G. Effectiveness of a new method of disinfecting the root canal, using Er,Cr:YSGG laser to kill *Enterococcus faecalis* in an infected tooth model. *Lasers Med Sci*. 2013;1–6.

Lindskog S, Pierge AM, Blomlof L, Hammarstrom L. The role of the necrotic periodontal membrane in cementum resorption and ankylosis. *Endod Dent Traumatol*. 1985;7:96-101.

Lloyd A, Navarrete G, Marchesan M, Clement D. Removal of calcium hydroxide from Weine Type II systems using photon-induced photoacoustic streaming, passive ultrasonic, and needle irrigation: A microcomputed tomography study. *J Appl Oral Sci*. 2016;24(6):543–548.

Lloyd A, Uhles JP, Clement DJ, Garcia-Godoy F. Elimination of intracanal tissue and debris through a novel laser-activated system assessed using high-resolution micro-computed tomography: A pilot study. *J Endod*. 2014;40:584–587.

Lukac N, Jezersek M. Amplification of pressure waves in laser-assisted endodontics with synchronized delivery of Er:YAG laser pulses. *Lasers Med Sci*. 2018;33:823–833.

Lukac N, Muc BT, Jezersek M, Lukac M. Photoacoustic Endodontics Using the Novel SWEEPS Er:YAG Laser modality. *J Laser Heal Academy*. 2017;2017:1–7.

Lyroudia KM, Dourou VI, Pantelidou OC, Labrianidis T, Pitas IK. Internal root resorption studied by radiography, stereomicroscope, scanning electron microscope and computerized 3D reconstructive method. *Dent Traumatol*. 2002;18:148–152.

Ma JZ, Shen Y, Al-Ashaw AJ, et al. Micro-computed tomography evaluation of the removal of calcium hydroxide medicament from C-shaped root canals of mandibular second molars. *Int Endod J*. 2015;48:333–341.

Maalouf L, Zogheib C, Naaman A. Removal efficiency of calcium hydroxide dressing from the root canal without chemically active adjuvant. *Journal of Contemporary*

Dental Practice. 2013;14(2):188-192.

Machado MEL, Lozada VNV, Rengifo KJC, Caballero Flores H, Nabeshima CK. Confocal laser scanning microscopic analysis of the penetration of an epoxy resin-based sealer into dentinal tubules after calcium hydroxide dressing. Aust Endod J. Accepted for publication 2 March 2021; <https://doi.org/10.1111/aej.12508>.

Margelos J, Eliades G, Verdelis C, Palaghias G. Interaction of calcium hydroxide with zinc oxide-eugenol type sealers: a potential clinical problem. J Endod. 1997;23(1):43-48.

Marinescu IR, BanicaAC, Mercuj V, et al. Root Resorption Diagnostic: Role of Digital Panoramic Radiography. Curr Health Sci J. 2019;45(2):156-166.

Marques da Silva B, Alberton CS, Tomazinho FSF, et al. Effectiveness of five instruments when removing calcium hydroxide paste from simulated internal root resorption cavities in extracted maxillary central incisors. Int Endod J. 2020;53(3):366–375.

Masudi SM, Azhar L, Awang RAR, et al. Removal efficiency of calcium hydroxide intracanal medicament using two irrigation solutions. Intern Med J. 2014;21:106-109.

Matsumoto H, Yoshimine Y, Akamine A. Visualization of irrigant flow and cavitation induced by Er:YAG laser within a root canal model. Journal of Endodontics. 2011;37:839-843.

Meire MA, Havelaerts S, De Moor RJ. Influence of lasing parameters on the cleaning efficacy of laser activated irrigation with pulsed erbium lasers. Lasers Med Sci. 2016;31:653–658.

Miller TA, Baumgartner JC. Comparison of antimicrobial efficacy of irrigation using the EndoVac to endodontic needle delivery. J Endod 2010; 36: 509–11.

Mohammadi Z, Dummer PM. Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. Int Endod J. 2011;44:697–730.

Mohammadi Z, Jafarzadeh H, Shalavi S, Palazzi F. Recent Advances in Root Canal Disinfection: A Review. *Iran Endod J.* 2017;12(4):402–406.

Mohammadi Z, Shalavi S. Managing root resorption using calcium hydroxide: A review. *International Journal of Clinical Dentistry.* 2016;9:247- 254.

Molven O, Olsen I, Kerekes K. Scanning electron microscopy of bacteria in the apical part of root canals in permanent teeth with periapical lesions. *Endod Dent Traumatol.* 1991;7:226–229.

Montero-Miralles P, Torres-Lagares D, Segura-Egea JJ, Serrera-Figallo MA', Gutierrez-Perez JL, Castillo-Dali G. Comparative study of debris and smear layer removal with EDTA and Er,Cr:YSGG laser. *J Clin Exp Dent.* 2018;10:e598–e602.

Naghsh N, Birang R, Shafiei F, Ghorbani F, Gutknecht N, Yaghini J. Comparative Evaluation of the Effects of CO2 and Er:YAG Lasers on Smear Layer Removal and Blood Cell Attachment to Tooth Root Surfaces. *J Lasers Med Sci.* 2020;11(1):74–80.

Nair PNR, Henry S, Cano V, Vera J. 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.* 2005;99:231–252.

Nair PNR. Light and electron microscopic studies on root canal flora and periapical lesions. *J Endod.* 1987;13:29–39.

Nandini S, Velmurugan N, Kandaswamy D. Removal Efficiency of Calcium Hydroxide Intracanal Medicament With Two Calcium Chelators: Volumetric Analysis Using Spiral CT, An In Vitro Study. *Journal of Endodontics.* 2006;32(11):1097-1101.

Nasab Mobarakeh NM, Taheri A, Rahmanian H, Jafarpour D, Rahmanian S. Effect of Various Irrigating Devices on the Removal of Two Different Forms of Calcium Hydroxide from Internal Resorption Cavities. *Int J Dent.* 2020; 2020:8881177.

Ne RF, Witherspoon DE, Gutmann JL. Tooth resorption. *Quintessence Int* 1999;30: 9–26. *Int J Dent.* 2013; 2013: 929486. Published online 2013 Nov 21.

Nerwich A, Figdor D, Messer HH. pH changes in root dentine over a 4-week period following root canal dressing with calcium hydroxide. *Journal of Endodontics*. 1993;19:302–306.

Neuhaus KW, Liebi M, Stauffacher S, et al. Antibacterial efficacy of a new sonic irrigation device for root canal disinfection. *J Endod* .2016;42:1799–1803.

Nielsen BA, Baumgartner JC. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod* 2007; 33: 1–5.

Nilsson E, Bonte E, Bayet F, Lasfargues JJ. Management of internal root resorption on permanent teeth. *Int J Dent*. 2013. 2013:929486.

Nusstein JM. Endodontic sonic and ultrasonic irrigant activation. *Clin Dent Revi*. 2018;2(1):22.

Oliveira de RL, Guerisoli DMZ, Duque JA, Alcalde MP, Onoda HK, Domingues FHF, Vivan RR, Duarte MAH. Computed microtomography evaluation of calcium hydroxide-based root canal dressing removal from oval root canals by different methods of irrigation. *Microsc Res Tech*. 2019;82(3):232–237.

Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Aprecio RM, Handysides R, Jaramillo DE. Biofilm removal by 6% sodium hypochlorite activated by different irrigation techniques. *Int Endod J*. 2014;47:659-666.

Özbay Y, Erdemir A. Effect of several laser systems on removal of smear layer with a variety of irrigation solutions. *Microsc Res Tech*. 2018;1–9.

Parikh M, Kishan K, Solanki N, Parikh M, Savaliya K, Bindu V, et al. Efficacy of removal of calcium hydroxide medicament from root canals by endoactivator and endovac irrigation techniques: A Systematic review of in vitro studies. *Contemp Clin Dent*. 2019;10(1):135–142.

Patel S, Dawood A, Whaites E, Pitt Ford T. New dimensions in endodontic imaging: part 1—conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J*. 2009a;42:447–462.

Patel S, Dawood A, Whaites E, Pitt Ford T. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *Int Endod J*. 2007;40:818–830.

Patel S, Durack C, Ricucci D, Bakhsh AA. Root Resorption. In: Berman LH, Hargreaves KM. *Cohen's Pathways of the Pulp*. 12th ed. Elsevier; 2021, p:2302-235.

Patel S, Kanagasingham S, Pitt Ford T. External cervical resorption: a review. *J Endod*. 2009b;35:616–625.

Patel S, Pitt Ford TR. Is the resorption external or internal? *Dent Update*. 2007;34: 218–229.

Patel S, Ricucci D, Durak C, Tay F. Internal root resorption: a review. *J Endod*. 2010; 36:1107–21.

Patel S, Saberi N., The ins and outs of root resorption, *British Dental Journal*, 2018, 224(9):691-699.

Phillips M, Mc Clanahan S, Bowles W. A titration model for evaluating calcium hydroxide removal techniques. *Journal of Applied Oral Science*. 2015;23(1):94–100.

Plotino G, Grande NM, Mercade M, Cortese T, Staffoli S, Gambarini G, Testarelli L. Efficacy of sonic and ultrasonic irrigation devices in the removal of debris from canal irregularities in artificial root canals. *J Appl Oral Sci*. 2019;27:e20180045.

Portenier I, Waltimo T, Ørstavik D, Haapasalo M. The susceptibility of starved, stationary phase, and growing cells of *Enterococcus faecalis* to endodontic medicaments. *Journal of Endodontics*. 2005;31:380–386.

Pouch D, Bohne W, Enkel B, Pilet P, Calas P, Laboux O. Cleaning qualities of Rins endo: an in vitro study. *Eur Cells Mater*. 2007;13:7.

Radeva EN, Tsanova DM. Efficacy of different endodontic irrigation protocols in calcium hydroxide removal. *J IMAB*. 2016; 22(4):1355-1359.

Raghu R, Pradeep G, Shetty A, Gautham PM, Puneetha PG, Reddy TVS. Retrievability of calcium hydroxide intracanal medicament with three calcium chelators, ethylenediaminetetraacetic acid, citric acid, and chitosan from root canals: An in vitro cone beam computed tomography volumetric analysis. *Journal of Conservative Dentistry*. 2017;20(1):25-29.

Retsas A, Koursoumis A, Tzimpoulas N, Boutsoukis C. Uncontrolled removal of dentin during in vitro ultrasonic irrigant activation in curved root canals. *Journal of Endodontics*. 2016;42:1545–1549.

Ricucci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J*. 1998;31:384-393.

Rosenberg B, Murray PE, Namerow K. The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. *Dental Traumatology*. 2007;23:26–29.

Rödig T, Hirschleb M, Zapf A, Hülsmann M. Comparison of ultrasonic irrigation and RinsEndo for the removal of calcium hydroxide and Ledermix paste from root canals. *International Endodontic Journal*. 2011;44:1155–1161.

Rödig T, Koberg C, Baxter S, Konietzschke F, Wiegand A, Rizk M. 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. *Int Endod J*. 2019;52:1173–1181.

Rödig, T, Vogel S, Zapf A, Hülsmann M. Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J*. 2010;43:519-527.

Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod*. 2003;29(10):674–678.

Safavi K, Nakayama TA. Influence of mixing vehicle on dissociation of calcium hydroxide in solution. *J Endod*. 2000;26:649-651.

Salgado RJ, Moura-Netto C, Yamazaki AK, Cardoso LN, de Moura AA,

Prokopowitsch I. Comparison of different irrigants on calcium hydroxide medication removal: microscopic cleanliness evaluation. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontology*. 2009;107:580–584.

Saltel F, Chabadel A, Bonnelye E, Jurdic P. Actin cytoskeletal organisation in osteoclasts: a model to decipher transmigration and matrix degradation. *Eur J Cell Biol*. 2008;87:459–468.

Santos BOA, de Mendonça DS, de Sousa DL, et al. Root resorption after dental traumas: classification and clinical, radiographic and histologic aspects. *RSBO*. 2011;8(4):439-445.

Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1971;32:271–275.

Senter-Zapata M, Patel K, Bautista PA, Griffin M, Michaelson J, Yagi Y. The role of micro-CT in 3D histology imaging. *Pathobiology*. 2016;83(2–3):140–147.

Setlock J, Fayad MI, BeGole E, Bruzick M. 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 Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;96:614-617.

Shin SJ, Kim HK, Jung IY, Lee CY, Lee SJ, Kim E. Comparison of the cleaning efficacy of a new apical negative pressure irrigating system with conventional irrigation needles in the root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010; 109: 479–84.

Shuping GB, Ørstavik D, Sigurdsson A. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *Journal of Endodontics*. 2000;26:751–755.

Silva EJNL, Belladonna FG, Zuolo AS, et al. Effectiveness of XP-endo Finisher and XPendo Finisher R in removing root filling remnants: a micro-CT study. *Int Endod J*. 2017;51(1):86-91.

Silveira FF, Nunes E, Soares JA, Ferreira CL, Rotstein I. Double “pink tooth” associated with extensive internal root resorption after orthodontic treatment: a case report, *Dental Traumatology*. 2009;25(3):43-47.

Siqueira JF Jr, Lopes HP. Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *International Endodontic Journal*. 1999;32:361–369.

Siqueira JF, Rôças IN, Santos SRLD, Lima KC, Magalhães FAC, De Uzeda M. Efficacy of instrumentation techniques and irrigation regimens in reducing the bacterial population within root canals. *J Endod*. 2002;28:181–184.

Sjögren U, Figdor D, Spangberg L, Sundqvist G. The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *International Endodontic Journal*. 1991;24:119–125.

Sokhi RR, Sumanthini MV, Shenoy VU, Bodhwani MA. Effect of Calcium Hydroxide Based Intracanal Medicaments on the Apical Sealing Ability of Resin Based Sealer and Guttapercha Obturated Root Canals. *J Clin Diagn Res*. 2017;11(1):75-79.

Soltanoff CS, Yang S, Chen W, Li YP. Signaling networks that control the lineage commitment and differentiation of bone cells. *Crit Rev Eukaryot Gene Expr*. 2009;19:1–46.

Speziani C, Rivollier A, Gallois A, et al. Murine dendritic cell transdifferentiation into osteoclasts is differentially regulated by innate and adaptive cytokines. *Eur J Immunol*. 2007;37:747–757.

Stevens RH, Grossman LI. Evaluation of the antimicrobial potential of calcium hydroxide as an intracanal medicament. *Journal of Endodontics*. 1983;9:372–374.

Su Z, Li Z, Shen Y, Bai Y, Zheng Y, Pan C, Hou B. Characteristics of the Irrigant Flow in a Simulated Lateral Canal Under Two Typical Laser-Activated Irrigation Regimens. *Lasers in Surgery and Medicine*. 10 Sep 2020, DOI: 10.1002/lsm.23317.

Svensäter G, Bergenholtz G. Biofilms in endodontic infections. *Endodontic Topics* 9. 2004:27–36.

Şen BH, Piskin B, Demirci T. Observation of bacteria and fungi in infected root canals and dentinal tubules by SEM. *Endod Dent Traumatol.* 1995;11:6-9.

Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. Efficacy of Er:YAG laser irradiation in removing debris and smear layer on root canal walls. *J Endod.* 1998;24:548–551.

Taşdemir T, Çelik D, Er K, Yildirim T, Ceyhanli KT, Yeşilyurt C. Efficacy of several techniques for the removal of calcium hydroxide medicament from root canals. *Int Endod J.* 2011;44:505–509.

Topçuoğlu HS, Düzgün S, Ceyhanli KT, Akti A, Pala K, Kesim B. Efficacy of different irrigation techniques in the removal of calcium hydroxide from a simulated internal root resorption cavity. *Int Endod J.* 2014;48:309–316.

Townsend C, Maki J. An In Vitro Comparison of New Irrigation and Agitation Techniques to Ultrasonic Agitation in Removing Bacteria From a Simulated Root Canal. *J Endod.* 2009;35:1040–1043.

Tronstad L. Root resorption—etiology, terminology and clinical manifestations, *Endod Dent Traumatol* 6. 1988;4:241-252.

Türkaydın D, Baştürk FB, Göker S, Tarçın B, Garip Berker Y, Sazak Öveçoğlu H. Efficacy of Endoactivator, CanalBrush, and passive ultrasonic irrigation in the removal of calcium hydroxide paste with iodoform and p-chlorophenol from root canals. *Nigerian Journal of Clinical Practice.* 2020;23(9):1237-1242.

Türkün M, Cengiz T. The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness, *Int Endod J.* 1997;30:335-342.

Ulusoy Öİ, Savur İG, Alaçam T, Çelik B. The effectiveness of various irrigation protocols on organic tissue removal from simulated internal resorption defects. *International Endodontic Journal.* 2018;51(9):1030-1036.

Urban K, Donnermeyer D, Schafer E, et al. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig.* 2017;21:2681–2687.

Uzunoglu Özyürek E, Erdoğan O, Turker SA. Effect of calcium hydroxide dressing on the dentinal tubule penetration of 2 different root canal sealers: a confocal laser scanning microscopic study. *J Endod*. 2018;44:1018-1023.

Üstün Y, Aslan T, Sagsen B, Dincer AN. The effects of different irrigation protocols on removing calcium hydroxide from the root canals. *Niger J Clin Pract*. 2016;19:465e70.

Van Der Sluis LWM, Wu MK, Wesselink PR. The evaluation of removal of calcium hydroxide paste from an artificial standardized groove in the apical root canal using different irrigation methodologies. *Int Endod J*. 2007;40:52–57.

Versiani MA, Keleş A. Applications of micro-CT technology in endodontics. In: Orhan K, ed. *Micro-computed tomography (micro-CT) in Medicine and Engineering*. Switzerland: Springer Nature. 1 edn. 2020; pp. 183-211.

Versiani MA, Leoni GB, Steier L, et al. Micro-computed tomography study of ovalshaped canals prepared with the Self-adjusting File, Reciproc, WaveOne, and ProTaper Universal Systems. *J Endod*. 2013;39:1060–1066.

Verstraeten J, Jacquet W, De Moor RJG, Meire MA. Hard tissue debris removal from the mesial root canal system of mandibular molars with ultrasonically and laser-activated irrigation: a micro-computed tomography study. *Lasers Med Sci*. 2017;32:1965–1970.

Vezzani MS, Pietro R, Silva-Sousa YT, Brugnera-Junior A, Sousa-Neto MD. Disinfection of root canals using Er:YAG laser at different frequencies. *Photomed Laser Surg*. 2006;24(4):499–502.

Vineeta N, Gupta S, Chandra A. Retrieval of calcium hydroxide intracanal medicament with Chitosan from root canals: an in vitro CBCT volumetric analysis. *J Conserv Dent*. 2014;17:454–457.

Volponi A, Pelegri RA, Kato AS, Stringheta CP, Lopes RT, de Sá Silva AS, da Silveira Bueno CE. Micro-computed tomographic assessment of supplementary

cleaning techniques for removing bioceramic sealer and gutta-percha in oval canals. *J Endod* .2020;46:1901-1906.

Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG. Efficacy of Irrigation with Rotary Instrumentation. *J Endod*. 2002;28:837-839.

Wedenberg C, Lindskog S. Evidence for a resorption inhibitor in dentine. *Eur J Oral Sci*. 1987;95:205–211.

Wedenberg C, Lindskog S. Experimental internal resorption in monkey teeth. *Endod Dent Traumatol*. 1985;1:221–227.

Wedenberg C, Zetterqvist L. Internal resorption in human teeth: a histological, scanning electron microscopic and enzyme histochemical study. *J Endod*. 1987;6:255–259.

Wedenberg C. Evidence for a dentin-derived inhibitor of macrophage spreading. *Scand J Dent Res*. 1987;95:381–388.

White JD, Lacefield WR, Chavers LS, Eleazer PD. The effect of three commonly used endodontic materials on the strength and hardness of root dentine. *Journal of Endodontics*. 2002;28:828–830.

Wigler R, Dvir R, Weisman A, et al. Efficacy of XP-endo finisher files in the removal of calcium hydroxide paste from artificial standardized grooves in the apical third of oval root canals. *Int Endod J*. 2017;50:700–705.

Wiseman A, Cox TC, Paranjpe A, et al. Efficacy of sonic and ultrasonic activation for removal of calcium hydroxide from mesial canals of mandibular molars: a micro-tomographic study. *Journal of Endodontics*. 2011;37:235-238.

Yang Q, Liu M, Zhu L, Zhang J, Peng B. Comparison of Needle, Ultrasonic, and Laser Irrigation for the Removal of Calcium Hydroxide from Mandibular Molar Root Canals. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*. 2020b. Doi: 10.1089/photob.2019.4798

Yang Q, Liu MW, Zhu LX, Peng B. Micro-CT study on the removal of accumulated

hard-tissue debris from the root canal system of mandibular molars when using a novel laser-activated irrigation approach. *Int Endod J*. 2020a;53:529–538.

Yaylali IE, Kececi AD, Kaya BU. Ultrasonically activated irrigation to remove calcium hydroxide from apical third of human root canal system: A systematic review of in vitro studies. *J Endod*. 2015;41:1589–1599.

Yücel AC, Gürel M, Güler E, et al. Comparison of final irrigation techniques in removal of calcium hydroxide. *Aust Endod J* 2012. doi: 10.1111/j.1747-4477.2011.00326.x.

Zancan RF, Calefi PHS, Borges MMB, Lopes MRM, Andrade FB, Vivan RR, Duarte MAH. Antimicrobial activity of intracanal medications against both *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* biofilm. *Microsc. Res. Tech*. 2019;82:494–500.

Zancan RF, Vivan RR, Milanda Lopes MR, Weckwerth PH, de Andrade FB, Ponce JB, Duarte MA. Antimicrobial activity and physicochemical properties of calcium hydroxide pastes used as intracanal medication. *J Endod*. 2016;42(12):1822–1828.

EKLER

Ek 1: Etik Kurul Onayı

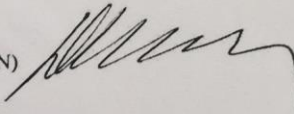
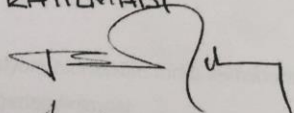
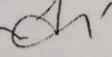
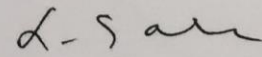
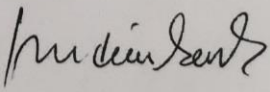
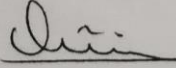
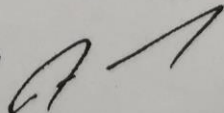
EK-833-2019


YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR DEĞERLENDİRME ETİK KURULU

ARAŞTIRMA PROJESİ DEĞERLENDİRME RAPORU

Toplantı Tarihi : 28.02.2019
Toplantı No : 2019/66
Proje No : 757

Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Umut Aksoy'un sorumlu araştırmacısı olduğu, YDU/2019/66-757 proje numaralı ve **"İnternal Rezorpsiyon Kavitelerindeki Kalsiyum Hidroksitin Farklı Tekniklerle Uzaklaştırılma Etkinliklerinin Mikro Bilgisayarlı Tomografi İle Değerlendirilmesi"** başlıklı proje önerisi kurulumuzca değerlendirilmiş olup, etik olarak uygun bulunmuştur.

1. Prof. Dr. Rüştü Onur	(BAŞKAN) 
2. Prof. Dr. Nerin Bahçeciler Önder	(ÜYE) KATILMADI
3. Prof. Dr. Tamer Yılmaz	(ÜYE) 
4. Prof. Dr. Şahan Saygı	(ÜYE) 
5. Prof. Dr. Şanda Çalı	(ÜYE) 
6. Prof. Dr. Nedim Çakır	(ÜYE) 
7. Prof. Dr. Kaan Erler	(ÜYE) KATILMADI
8. Doç. Dr. Ümran Dal Yılmaz	(ÜYE) 
9. Doç. Dr. Nilüfer Galip Çelik	(ÜYE) KATILMADI
10. Doç. Dr. Emil Mammadov	(ÜYE) 

Ek 2: Tez Çalışmasından Üretilmiş olan Makale (SCI-Expanded)

Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery

Editor-in-Chief: Michael R Hamblin, PhD

Co-Editor-in-Chief: Heidi Abrahamse, PhD

ISSN: 1549-5418 | Online ISSN: 2578-5478 | Published Monthly | Current Volume: 38

*2018 Journal Impact Factor, Journal Citation Reports (Web of Science Group, 2019)

Impact Factor: *1.918 *2019 Journal Citation Reports (Clarivate, 2020)

May 17, 2021

PHOTOB-2021-0001.R1

Efficacy of Laser-activated Irrigation and Conventional Techniques in Calcium Hydroxide Removal from Simulated Internal Resorption Cavities: Micro-CT Study

D. Kirmizi, U. Aksoy, and K. Orhan

Received: January 5, 2021.

Accepted After Revision: March 23, 2021.

Funding: Research Fund of the Near East University Project Number: SAG-2019-1-057.

TO WHOM IT MAY CONCERN:

This serves as verification that the manuscript above was accepted on March 23, 2021 for publication.

10.1089/pho.2021.0001

Once proof is finalized the manuscript will be available via FAST TRACK on the MaryAnn Liebert FAST-TRACK web site:

<https://www.liebertpub.com/toc/photob/0/0>

Permission is granted for use of this manuscript for the purpose of promotion.

Sincerely,

Michael Hamblin

Michael Hamblin, Editor

Photobiomodulation, Photomedicine and Laser Surgery Journal

Ek 3: Özgeçmiş

Adı	Dilan	Soyadı	Kırmızı
Doğum Yeri	Lefkoşa	Doğum Tarihi	13/011993
Uyruğu	KKTC	Tel	+905338459769
Email	dilan.kirmizi@neu.edu.tr		

Eğitim Düzeyi	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Doktora	YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ	2021
Yüksek Lisans	YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ	2016
Lisans	YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ	2016
Lise	TÜRK MAARİF KOLEJİ	2011

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre (Yıl-Yıl)
ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ	YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ DIŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ	2016-HALEN

Yabancı Dilleri	Okuduğunu Anlama*	Konuşma*	Yazma*
İNGİLİZCE	ÇOK İYİ	ÇOK İYİ	ÇOK İYİ

Bilgisayar Bilgisi

Program	Kullanma Becerisi
MICROSOFT WORD	İYİ
MICROSOFT POWER POINT	ÇOK İYİ
MICROSOFT EXCEL	İYİ