



T.C.  
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ  
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

FARKLI İRRİGASYON YÖNTEMLERİNİN KALSİYUM HİDROKSİT  
UZAKLAŞTIRMA ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Emre ÇULHA  
UZMANLIK TEZİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN  
Doç. Dr. Cihan YILDIRIM

Gaziantep  
2015

**T.C.**  
**GAZIANTEP ÜNİVERSİTESİ**  
**DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**  
**ENDODONTİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI İRRİGASYON YÖNTEMLERİNİN KALSİYUM HİDROKSİT**  
**UZAKLAŞTIRMA ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Emre ÇULHA

Tez Savunma Tarihi: 15.06.2015

Diş Hekimliği Fakültesi Onayı

**Prof. Dr. Metin GÜNGÖRMÜŞ**  
**Diş Hekimliği Fakültesi Dekanı**

Bu tez çalışmasının bir “Uzmanlık” derecesi için uygun ve yeterli bir çalışma olduğunu onaylıyorum.

**Doç. Dr. Cihan YILDIRIM**  
**Endodonti Anabilim Dalı Başkanı**

Bu tez tarafımda okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir “Uzmanlık” tezi olarak kabul edilmiştir.

**Doç. Dr. Cihan YILDIRIM**  
**Tez Danışmanı**

Bu tez tarafımda okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir “Uzmanlık” tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi**

**Doç. Dr. Cihan YILDIRIM**

**Yrd. Doç Dr. Arslan TERLEMEZ**

**Yrd. Doç Dr. Uğur AYDIN**

**İmzası**

.....

.....

.....

## BEYAN

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

15.06.2015

Emre ÇULHA

## TEŞEKKÜR

Endodonti uzmanlığı eğitimimde ve tezimin hazırlanmasında değerli tecrübelerini, zamanını, desteğini ve anlayışını esirgemeyen, değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Cihan YILDIRIM'a, Yrd. Doç. Dr. Uğur AYDIN'a,

Birlikte çalıştığım araştırma görevlisi ve doktora öğrencisi arkadaşlarıma, değerli personelimiz Mustafa ŞEN'e, uzmanlık eğitimim boyunca birbirimize destek olduğumuz, sevgili dostlarım Mehtap ZORLU GÖLGE, Fatma TUNÇ, Samet TOSUN, Fatih AKSOY, Emrah KARATAŞLIOĞLU, Erhan DEMİR ve Deniz BAYRAMOĞLU'na,

Uzmanlık eğitimime ve tezime olan katkıları, manevi desteği ve hayata dair değerli öğütleri için Hacettepe Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Teknoloji Anabilim Dal öğretim üyesi Prof. Dr. Sevda ŞENEL'e,

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi olarak desteğini esirgemeyen sevgili aileme, anneme, babama, kardeşime, Can ATALAY'a, sadık dostum Sadık DUYAN'a, hep yanımda olan sevgili eşim, hayat arkadaşım Canan ÇULHA'ya ve doğumunu sabırsızlıkla beklediğimiz, canım oğlum Alp ÇULHA'ya içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez Gaziantep Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimi tarafından DHF. 12. 05 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

# İÇİNDEKİLER

<b>TEŞEKKÜR</b> .....	i
<b>KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ</b> .....	vii
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	ix
<b>RESİMLER LİSTESİ</b> .....	x
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	xii
<b>ÖZET</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>1. GİRİŞ ve AMAÇ</b> .....	3
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	5
<b>2.1. Kök Kanal Tedavisi</b> .....	5
<b>2.1.1. Biyomekanik preparasyon</b> .....	5
<b>2.1.2. Sodyum hipoklorit</b> .....	6
<b>2.1.3. Nekrotik kök kanalın ekolojisi</b> .....	7
<b>2.1.4. Kök kanal ilaçları</b> .....	7
<b>2.2. Kalsiyum Hidroksit</b> .....	7
<b>2.2.1. Kalsiyum hidroksitin sanayideki kullanım alanları</b> .....	9
<b>2.2.2. Diş hekimliğinde kalsiyum hidroksit</b> .....	9
<b>2.2.2.1. Pulpa kaplaması</b> .....	10
<b>2.2.2.2. Apeksifikasyon</b> .....	12
<b>2.2.2.3. Perforasyon tamirinde kalsiyum hidroksit kullanımı</b> .....	16
<b>2.2.2.4. Kök rezorpsiyonu tedavisinde kalsiyum hidroksit kullanımı</b> .....	16
<b>2.2.2.5. Kök kanal dolgu patı olarak kalsiyum hidroksit</b> .....	17
<b>2.2.2.6. Kanal içi medikament olarak kalsiyum hidroksit</b> .....	19
<b>2.2.3. Antimikrobiyal etki mekanizmaları</b> .....	20

<b>2.2.3.1. Bakteriyeel stoplazmik membrana hasar verme özelliği</b> .....	20
<b>2.2.3.2. Protein denaturasyonu</b> .....	21
<b>2.2.3.3. DNA hasarı</b> .....	21
<b>2.2.4. Kalsiyum hidroksitle kök kanal dezenfeksiyonu</b> .....	22
<b>2.2.4.1. Antimikrobiyal aktivite üzerinde taşıyıcının etkisi</b> .....	26
<b>2.2.4.2. Fiziksel bariyer</b> .....	26
<b>2.2.4.3. Anti endotoksin etki</b> .....	27
<b>2.2.4.4. Anti fungal etki</b> .....	28
<b>2.2.4.5. Biyofilmlere karşı etki</b> .....	29
<b>2.2.5. Kimyasal etkileşimler</b> .....	30
<b>2.2.5.1. Dentinin kalsiyum hidroksit üzerine tamponlama etkisi</b> .....	30
<b>2.2.5.2. Kalsiyum hidroksitin dentin üzerine etkisi</b> .....	31
<b>2.3. Kalsiyum Hidroksit Taşıyıcıları</b> .....	31
<b>2.3.1. Aköz taşıyıcılar</b> .....	34
<b>2.3.2. Visköz taşıyıcılar</b> .....	35
<b>2.3.2.1. Gliserin</b> .....	35
<b>2.3.2.2. Polietilen glikol</b> .....	36
<b>2.3.2.3. Propilen glikol</b> .....	36
<b>2.3.3. Yağlı taşıyıcılar</b> .....	36
<b>2.3.3.1. Zeytinyağı</b> .....	37
<b>2.3.3.2. Kâfurlu paraklorofenol</b> .....	37
<b>2.3.3.3. Metakresil asetat</b> .....	37
<b>2.3.3.4. Öjenol</b> .....	38
<b>2.3.4. Kalsiyum hidroksitle karıştırılan diğer maddeler</b> .....	38
<b>2.3.4.1. Radyografik kontrast madde</b> .....	38
<b>2.3.4.2. Kortikosteroid-antibiyotik çözeltileri</b> .....	39
<b>2.3.4.3. Antibiyotikler</b> .....	39

<b>2.4. Kalsiyum Hidroksitin Kök Kanalıdan Uzaklaştırılması</b> .....	40
<b>2.4.1. Şırınga irigasyonu</b> .....	42
<b>2.4.2. Ultrasonik irigasyon</b> .....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
<b>2.4.3. Pasif ultrasonik irigasyon (PUI)</b> .....	45
<b>2.4.4. Kanal fırçaları</b> .....	46
<b>2.4.5. Hidrodinamik irigasyon</b> .....	46
<b>2.5. Lazerler</b> .....	47
<b>2.5.1. Sıcaklıklarına göre lazerler</b> .....	49
<b>2.5.1.1. Soft (atermik) lazerler</b> .....	49
<b>2.5.1.2. Hard (termik) lazerler</b> .....	49
<b>2.5.2. Aktif lazer ortamlarına göre lazerler</b> .....	50
<b>2.5.2.1. Holmiyum: itriyum-alüminyum-garnet (Ho:YAG) lazerler</b> .....	50
<b>2.5.2.2. Erbiyum: itriyum-alüminyum-garnet (Er:YAG) lazerler</b> .....	51
<b>2.6. Hallerine Göre Lazerler</b> .....	51
<b>2.6.1. Katı hal lazerleri</b> .....	51
<b>2.6.2. Gaz lazerler</b> .....	52
<b>2.6.2.1 CO<sub>2</sub> lazerler</b> .....	53
<b>2.6.2.2. Excimer lazerler</b> .....	54
<b>2.6.3. Boya (Dye) lazerler</b> .....	55
<b>2.6.4. Yarı iletken lazerler (Diyot lazerler)</b> .....	56
<b>2.6.5. Argon lazerler</b> .....	56
<b>2.7. Lazer Uygulama Parametreleri</b> .....	56
<b>2.8. Lazer Güvenliği</b> .....	59
<b>2.9. Lazerlerin Tehlike Sınıflandırması</b> .....	61
<b>2.10. Lazer Kullanımıyla İlgili Alınabilecek Bazı Önlemler</b> .....	62
<b>2.11. Lazerlerin Diş Hekimliğindeki Kullanım Alanları</b> .....	64
<b>2.12. Endodontide Lazer Kullanımı</b> .....	65

<b>2.12.1. Pulpadaki kan akımının tesbiti</b> .....	65
<b>2.12.1.1. Lazer doppler flowmetre (LDF)</b> .....	65
<b>2.12.1.2. Pulse oksimetre</b> .....	66
<b>2.12.2. Dentin hassasiyeti tedavisi</b> .....	66
<b>2.12.3. Pulpa kaplaması ve pulpatomi</b> .....	67
<b>2.12.4. Kök kanallarının şekillendirilmesi</b> .....	69
<b>2.12.5. Kök kanallarının sterilizasyonu</b> .....	69
<b>2.12.6. Lazerle yapılan kanal dezenfeksiyonu</b> .....	70
<b>2.12.7. Kök ucu kavitesi hazırlanması ve retrograd dolgularda mikrosızıntının önlenmesi</b> .....	73
<b>2.12.8. Lazerlerin periapikal cerrahide kullanımı</b> .....	74
<b>2.12.9. Guta perkanın yumuşatılarak kök kanallarının doldurulması</b> .....	74
<b>2.12.10. Kök kanal dolgusunun yenilenmesi</b> .....	74
<b>2.12.11. Diş beyazlatma</b> .....	75
<b>2.12.12. Diş kırıklarının önlenmesi</b> .....	75
<b>2.13. Lazer Uygulamasına Bağlı Kök Kanal Duvarlarındaki Değişimler</b> .....	76
<b>2.14. Diş Hekimliğinde Erbiyum Lazerler</b> .....	78
<b>2.14.1. Er:YAG lazerler</b> .....	82
<b>2.14.2. Er,Cr:YSGG lazerler</b> .....	84
<b>2.15. Endodontide Kullanılan Diğer Lazerler</b> .....	86
<b>2.16. Kalsiyum Hidroksit Uzaklaştırılma Etkinliğinin Değerlendirildiği Yöntemler</b> .....	89
<b>3. GEREÇ ve YÖNTEM</b> .....	91
<b>3.1. Örneklerin Hazırlanması</b> .....	91
<b>3.2. Grupların Belirlenmesi</b> .....	102
<b>3.2.1. Grup 1 (Kontrol Grubu)</b> .....	102
<b>3.2.2. Grup 2 (Er: YAG Lazer Grubu)</b> .....	102



<b>3.2.3. Grup 3 (Er: Cr: YSGG Lazer Grubu)</b> .....	105
<b>3.2.4. Grup 4 (Pasif Ultrasonik İrrigasyon Grubu)</b> .....	107
<b>3.3. Stereo Mikroskopla Görüntülerin Kaydedilmesi</b> .....	109
<b>3.4. Olukların Skorlanması</b> .....	111
<b>3.5. İstatiksel Değerlendirme</b> .....	112
<b>4. BULGULAR</b> .....	113
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ</b> .....	116
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	129
<b>7. EKLER</b> .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
<b>8. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	160

## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

#	Numara
$^{\circ}\text{C}$	Derece Celsius
$\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{F}$	Diamin gümüş florit
ANSI	American National Standarts Institute
Ar/ F	Argon/Fluorit
$\text{BaSO}_4$	Baryum sülfat
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Kalsiyum hidroksit
$\text{CaCO}_3$	Kalsiyum karbonat
CaO	Kalsiyum oksit
CLSM	Konfokal lazer tarama mikroskobu
$\text{cm}^2$	Santimetrekare
$\text{CO}_2$	Karbondioksit
CW	Continuous Wave
DNA	Deoksiribonükleik asit
EDTA	Etilen daimin tetra asetik asit
Er,Cr:YSGG	Erbiyum ve krom katılmış itriyum skandiyum galyum garnet
Er: YAG	Erbiyumla katılmış itriyum alüminyum garnet
FDA	Food and Drug Administration
g	Gram
$\text{GaAlAs}$	Galyum Alüminyum Arsenit
Ga-As	Galyum-Arsenit
$\text{H}_2\text{CO}_3$	Karbonik asit
$\text{H}_2\text{O}$	Su
$\text{H}_2\text{O}_2$	Hidrojen peroksit
$\text{H}_2\text{PO}_4$	Dihidrojen fosfat
$\text{HCO}_3$	Bikarbonat
He-Ne	Helyum-Neon
Ho:YAG	Holmiyum katılmış itriyum alüminyum garnet
Hz	Hertz
IL-1	İnterlökin-1

J	Joule
kHz	Kilohertz
kPa	Kilopascal
Kr/F	Kripton/Florit
KTP	Potasyum titanil fosfat
LASER	Light amplification by stimulated emission of radiation
LDF	Lazer doppler flowmetre
L	Litre
LPS	Lipopolisakkarit
MASER	Microwave amplification by stimulated emission of radiation
mL	Mililitre
mm	Milimetre
MTA	Mineral trioksit agregat
mW	Megawatt
NaOCl	Sodyum hipoklorit
Nd:YAG	Neodmiyum: itriyum, alüminyum, garnet
nm	Nanometre
PIPS	Foton başlatıcılı fotoakustik akım
PUİ	Pasif ultrasonik irrigasyon
PVC	Polivinil klorür
RFT	Radial firing tip
SEM	Elektron tarama mikroskobu
TNF	Tümör nekroz faktörü
W	Watt
Xe/Cl	Zenon/Klorit
Xe/F	Zenon/Florit
XeCl	Zenon monoklorit
µm	Mikron veya mikrometre

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Yapay oluğun dış parçasındaki konumu.....	...100
Şekil 2. Yapay oluğun enine kesiti.....	100

## RESİMLER LİSTESİ

Resim 1. Revo-S™ eğe seti .....	97
Resim 2. Dentsply X-Smart endodontik motor .....	97
Resim 3. Bukkal ve lingual yüzeylere açılan oluklar ve ikiye ayrılan diş.....	99
Resim 4. Modifiye edilerek keskinleştirilen ultrasonik uç .....	101
Resim 5. Su soğutması altındaki oluk açma işlemi .....	101
Resim 6. Ucu 4 mm bükülen finger spreader uç.....	101
Resim 7. Spreader uçla ölçüm işlemi.....	102
Resim 8. Diş üzerine açılan oluk .....	102
Resim 9. Açılan oluğun stereo mikroskopla alınan görüntüsü .....	102
Resim 10. Best baryum sülfatlı kalsiyum hidroksit patı.....	103
Resim 11. Kalsiyum hidroksit patın oluğa uygulanması .....	103
Resim 12. Kalsiyum hidroksit patın kanal içine uygulanması.....	104
Resim 13. Ortodontik lastik .....	104
Resim 14. Ortodontik lastikle iki diş parçasının bir araya getirilmesi.....	105
Resim 15. Yapıştırıcı mum .....	105
Resim 16. Yapıştırıcı mumla hermetik biçimde sabitlenmiş diş parçaları .....	105
Resim 17. 1 hafta distile suda bekletilen örnekler .....	106
Resim 18. Silikonla sabitlenmiş örnek .....	106
Resim 19. Eppendorf tüplerin ters biçimde suda bekletilmesi .....	107
Resim 20. Fotona AT Fidelis Er: YAG lazer cihazı .....	108
Resim 21. Fotona R14-C-759 başlığı .....	109
Resim 22. Fotona Preciso 300/14 uç .....	109
Resim 23. Kullanılan Er:YAG lazer parametreleri.....	109
Resim 24. Er:YAG lazer kullanımından bir görünüm.....	109
Resim 25. Biolase Waterlase Er: Cr: YSGG lazer cihazı .....	110
Resim 26. Biolase Waterlase RFT2 21 mm fiber optik uç .....	111
Resim 27. Biolase Waterlase MD Gold başlık .....	111
Resim 28. Er: Cr: YSGG lazer cihazı parametreleri.....	111
Resim 29. Er: Cr: YSGG lazer kullanımından bir görünüm.....	111
Resim 30. EMS miniMaster Piezon ultrasonik irrigasyon cihazı.....	112

Resim 31. EMS Piezon DS-010120° açılı eğe tutucu .....	113
Resim 32. EMS Piezon DT-069A #15 ve 0.02 açılı endodontik irrigasyon ucu.....	113
Resim 33. DT-069A irrigasyon ucunun eğe tutucuya takılı haldeki görünümü.....	113
Resim 34. Kurumaya bırakılmış parçalar .....	114
Resim 35. Leica M165C stereo mikroskop .....	114
Resim 36. Leica Application Suite Version 3.6.0 görüntüleme programı.....	114
Resim 37. Oluğta hiçbir kalsiyum hidroksit kalıntısı kalmadığı görülmektedir.....	115
Resim 38. Oluğun yarısından azı kalsiyum hidroksit kalıntısı ile dolu olduğu görülmektedir.....	115
Resim 39 Oluğun yarısından fazlası kalsiyum hidroksit kalıntısı ile dolu olduğu görülmektedir.....	116
Resim 40. Oluğun tamamının kalsiyum hidroksit kalıntısı ile dolu olduğu görülmektedir .....	116

## TABLolar LİSTESİ

Tablo.1. Antiseptikler, antibiyotikler ve kortikosteroidlerden oluşan ilaçlara örnekler... 8	8
Tablo 2. İrrigasyon tekniklerinin özet şeması..... 42	42
Tablo 3. Lazer kullanımında oluşabilecek tehlikelere karşı alınabilecek önlemler <b>Hata!</b> <b>Yer işareti tanımlanmamış.</b>	
Tablo 4 . ANOVA testinin sonuçları ..... 113	113
Tablo 5. Tanımlayıcı istatistik tablosu..... 113	113
Tablo 6. Tukey istatistik tablosu..... 114	114

## ÖZET

### FARKLI İRRİGASYON YÖNTEMLERİNİN KALSİYUM HİDROKSİT UZAKLAŞTIRMA ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Emre ÇULHA

Uzmanlık Tezi

Endodonti Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cihan YILDIRIM

15 Haziran 2015, 162 Sayfa

Araştırmanın amacı; kalsiyum hidroksitin farklı irrigasyon teknikleri ve iki farklı lazer sistemi kullanımıyla (Er:YAG, Er,Cr:YSGG) kök kanalından uzaklaştırılmasının karşılaştırılmasıdır. Kök kanalı döner alet sistemiyle şekillendirme sonrası her kök kanal boyunca uzunlamasına, iki parça olacak şekilde ayrıldı. Parçalardan birine apekse 2-6 mm mesafede kök kanal sistemindeki düzensizlikleri taklit etmek amacıyla, standardize bir oluk açıldı. Her oluk paper pointlerin yardımıyla kalsiyum hidroksit patıyla doldurulduktan sonra, dişler tekrar yapıştırıcı mum ve ortodontik lastiklerle bir araya getirildi ve apikal foramen kapatıldı. Dişler, 1 hafta boyunca 37 °C' de ve % 100 nemli ortamda iki seans arasında kanal pansumanı olarak Ca(OH)<sub>2</sub> kullanıldığı zamanki klinik durumu temsil etmek için bekletildi. Sırasıyla, 10 ml % 5' lik sodyum hipoklorit ve 10 ml % 17' lik EDTA kullanılarak, şırınga irrigasyonu ile kalsiyum hidroksit uzaklaştırması yapıldı. 4 grup oluşturuldu. 1. Grup, kontrol grubu olarak seçildi. 2. Gruptaki diş kök kanallarının içindeki % 5'lik sodyum hipoklorit, düz bir fiber uçla (Preciso 300/14, Fotona) Er: YAG lazer uygulanarak aktive edildi. 3. Gruptaki dişlerin kök kanallarının içindeki % 5'lik sodyum hipoklorit, RFT2 21mm fiber optik uçla, Er: Cr: YSGG lazer uygulanarak aktive edildi. 4. Gruptaki diş kök kanallarına, sıvı haznesinde % 2.5' luk sodyum hipoklorit olan ultrasonik irrigasyon cihazıyla pasif ultrasonik irrigasyon yapıldı. Daha sonra, tüm dişler final irrigasyonu olarak 10 ml distile suyla irrigate edildi. Kök yarıları tekrar ikiye ayrıldı. Stereo mikroskopta x20 büyütmede oluklar incelendi ve skorlandı. Ca(OH)<sub>2</sub> artıkları tüm gruplarda gözlemlendi. Sonuçlar, Tukey ve 3 yönlü Anova testleri kullanılarak istatistiksel olarak analiz edildi. Grup 2, 3 ve 4 arasında anlamlı bir fark bulunamadı.

**Anahtar sözcükler:** Kalsiyum hidroksit, Er:YAG lazer, Er,Cr:YSGG lazer, Pasif ultrasonik irrigasyon, Yapay oluk



## ABSTRACT

### EVALUATION OF EFFICACY OF DIFFERENT IRRIGATION TECHNIQUES IN THE REMOVAL OF CALCIUM HYDROXIDE

Emre ÇULHA

Postgraduate Thesis

Department of Endodontics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cihan YILDIRIM

15th June 2015, 162 Pages

The aim of study is to compare the removal of calcium hydroxide by the usage of two different irrigation techniques and two different laser (Er:YAG, Er,Cr:YSGG) systems. After root canal preparation with rotary system, each root was split longitudinally through the canal, forming two halves. A standard groove was cut in one canal wall 2–6 mm from the apex, to simulate the irregularities in root canal system. After each groove was filled with calcium hydroxide paste using paper points, the teeth were reassembled with sticky wax and orthodontic latex elastics and the apical foramen was sealed with wax. The teeth were stored for 1 week at 37 °C ve % 100 relative humidity to simulate the clinical situation when Ca(OH)<sub>2</sub> is used as an canal dressing between two treatment visits. Ca(OH)<sub>2</sub> was removed with syringe irrigation by using 10 ml % 5 NaOCl and 10 ml % 17 EDTA, respectively. 4 groups were created. Group 1 (n= 10) was chosen as control group. In group 2, % 5 NaOCl within the root canals were activated by performing Er: YAG laser with a plain fiber tip (Preciso 300/14, Fotona). In group 3 (n= 10), % 5 NaOCl within the root canals were activated by using Er: Cr: YSGG laser with 21mm fiber optic RFT2 tip. In Group 4 (n= 10), the teeth were ultrasonically irrigated using % 2.5 NaOCl as the irrigant. After that, all teeth were irrigated with 10 ml distilled water as final irrigation. The root halves were separated again. The grooves were examined under the stereo microscope under x20 magnification and scored. The results were statistically analyzed by using 3-way ANOVA and Tukey tests. Ca(OH)<sub>2</sub> residues were observed in all groups. No significant difference was found between Group 2, 3 and 4.

Key words : Calcium hydroxide, Er:YAG laser, Er,Cr:YSGG laser, Passive ultrasonic irrigation, Artificial groove

## 1. GİRİŞ ve AMAÇ

Endodontik tedavinin amacı; pulpal ve var ise periapikal enfeksiyonların kontrolü ve önlenmesidir. Kanal tedavisinin başarısını etkileyen unsurlardan birisi de bu enfeksiyonların patogeneğinde rol oynayan mikroorganizmaların sayısının azaltılması veya yok edilmesidir. Kabul edilmiş görüş; kök kanalı içindeki enfeksiyonun, genişletme ve şekillendirme işlemleri ile enfeksiyon önleyici irrigasyon solüsyonları kullanılarak uzaklaştırılmasıdır. Bu işlemlere, biyomekanik preparasyon veya kemomekanik preparasyon adı verilmektedir. Bununla beraber, özellikle enfekte kök kanallarında biyomekanik preparasyon sonrasında bile tam bir sterilizasyon sağlamak hemen hemen imkânsızdır (1). Bu şartlar altında, birden fazla seanslı endodontik kök kanal tedavileri planlanmış ve seanslar arasında geçici olarak kalsiyum hidroksitin ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) kanal içi patı olarak kullanımı gerekli hale gelmiştir. Seans arası medikamanı kullanımı, kök kanal sistemini dezenfekte etmek ve endodontik tedavinin başarısını arttırmak için savunulan bir yöntemdir (2).

Hermann' ın (2) 1930 yılında  $\text{Ca(OH)}_2$ ' i diş hekimliğine tanıtmaya yeni bir çağın başlangıcı olmuştur. Bu materyalin klinik başarısı alkalin pH ve hidroksil ve kalsiyum iyonlarına hızlıca ayrışabilmesine bağlıdır.  $\text{Ca(OH)}_2$ , antimikrobiyal etkinliği (1, 3) ve apeksifikasyonu teşvik etme (4, 5) yeteneğinden ötürü sıklıkla kullanılan bir seans arası medikamanıdır. Tronstad (5), kalsiyum iyonlarının dentin vasıtasıyla kök dış yüzeyine difüzyonunu göstermiştir.  $\text{Ca(OH)}_2$  kanal içi medikasyonu olarak 7 günden başlayan ve apeksifikasyon materyali olarak, 6 ila 24 aya kadar uzanan zaman dilimlerindeki farklı klinik durumlarda kullanılmıştır (4).

$\text{Ca(OH)}_2$ ' in üstün antimikrobiyal özellikleri olmasına rağmen, kök kanalından uzaklaştırılmadığı zaman bitmiş kanal dolgusunda apikal sızıntı yaratabilmekte ve rezin esaslı kanal dolgu sistemlerinde dentin tübüllerine penetre olarak rezin bağlayıcı ajanın dentine adezyonunu engellemektedir.  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in birçok faydasının yanında, zararları da tartışma konusu olmaktadır.

Kök kanallarının doldurulmasına geçmeden önce  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in kanaldan uzaklaştırılması gerektiği konusunda yaygın bir ortak görüş bulunmaktadır; ancak,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in kanallardan tam olarak uzaklaştırılması pek de kolay değildir (6-8). Dentin duvarlarında kalan  $\text{Ca(OH)}_2$  parçacıkları dentin tübüllerinin ağzını tıkayabilmekte, dentin tübüllerine pat penetrasyonunu engelleyebilmekte ve patlarla kimyasal etkileşime girebilmektedir. Kök kanalından uzaklaştırılmayan  $\text{Ca(OH)}_2$ , konvansiyonel kanal patlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu ve rezin esaslı kanal dolgu sistemlerinde, rezin bağlayıcı ajanın dentine adezyonunu engellemektedir. Ayrıca, kök kanal tedavisi tamamlanmış dişte apikal sızıntıyı artırdığı in vitro olarak gösterilmiştir (9).

Endodontik tedavilerde diş köklerinin sterilizasyonunda ve kanal preparasyonunda lazerlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Erbiyum: itriyum-alüminyum-garnet (Er:YAG) ve erbiyum ve krom katılmış itriyum-skandiyum-galyum-garnet (Er,Cr:YSGG) lazerlerin  $\text{Ca(OH)}_2$ ' i uzaklaştırma potansiyellerini karşılaştıran bir çalışmaya literatür taramalarında rastlanmaması bu tezin planlanmasına gerekçe olmuştur.

Bu çalışmanın amacı; endodontide seanslar arası pansuman materyali olarak kullanılan  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in farklı irrigasyon teknikleri ve iki farklı lazer sistemi kullanımıyla (Er:YAG ve Er,Cr:YSGG) kök kanalından uzaklaştırılmasının stereo mikroskopla görüntüleme metodları ile incelenip skora yapılarak karşılaştırılmasıdır. Alınan sonuçlar,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in tamamen kök kanal sisteminden uzaklaştırılmamasının yol açtığı sorunların çözümü için endodontide kullanımı gittikçe yaygınlaşan Er,Cr:YSGG ve Er:YAG lazerlerin potansiyelinin anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

Oluşturulan hipotez Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazer sistemleriyle aktive edilen irrigasyon tekniklerinin kök kanal sisteminden  $\text{Ca(OH)}_2$ ' i uzaklaştırma etkinliklerinin geleneksel irrigasyon tekniklerine göre değişiklik göstereceğidir. Çalışmada bu hipotezin doğruluğu test edilmiştir.

## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Kök Kanal Tedavisi**

Kök kanal tedavisi; kron ve kök kanal sistemindeki pulpa dokusunun çıkarılması, kök kanallarının mekanik olarak genişletilmesi, mekanik ve kimyasal yöntemlerle mikroorganizmalardan arındırılması ve kök ucuna kadar hermetik bir biçimde inert bir maddeyle doldurulması işlemlerinden oluşur (10). Endodontik tedavi işlemleri öylesine çeşitlidir ki; önceden belirlenmiş protokoller için bile bu tedavi girişimlerini tanımlamak zordur ve standardize olmadıkları kabul edilir. Endodontik başarıda, tedavi edilecek dişin kök kanal anatomisi ve işlem öncesi biyolojik durumu belirleyici rol oynar.

Kök kanal tedavisi işlemi sayesinde birbirinden farklı iki hedefe ulaşılmaya çalışılır: İlk hedef; canlı olan ama hastalanmış pulpanın mevcut periapikal sağlığını korumak ve periapikal patolojiyi önlemektir. İkinci hedef ise; cansızlaşan veya ölmekte olan pulpayla ilişkili periapikal patolojinin etkilediği periradiküler dokuları tekrar sağlığına kavuşturmadır (11).

#### **2.1.1. Biyomekanik preparasyon**

Kök kanal preparasyonları, hem mekanik hem de biyolojik açıdan ilk olarak Grossman ve arkadaşları tarafından ele alınmış ve “biyomekanik preparasyon” terimi ortaya çıkmıştır (12). Kök kanal sisteminin temizlenmesi; irrigasyon ve dezenfeksiyon işlemlerinin bir birleşimidir. Bu işlemler; vital veya nekrotik pulpa dokusunu, bakterileri ve yan ürünlerini temizleme ve şekillendirme işlemleri sırasında oluşan dentin debrisinin uzaklaştırılmasını kapsar (13). Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan kök kanal sistemini tümüyle bakterilerden arındırmak zor bir hedefdir (14).

Klinisyenin amacı; genellikle elinden geldiği ölçüde kanaldaki bakteri yükünü patojenik olmayan sayılara indirmek veya kanal florasını periapikal iyileşmeye imkân tanıyacak şekilde değiştirmektir. Kanaldaki mikroorganizmalar ve ürünleri, mekanik ve kimyasal tekniklerle uzaklaştırılabilir. Mekanik uzaklaştırma; klinisyenin enfekte pulpa ve dentini kök kanal duvarlarından, yani kök kanalının lümeninden uzaklaştırması anlamına gelir.

Hemen hemen bütün vakalarda, sadece mekanik yöntemle dezenfeksiyon imkânsızdır. Çünkü kullanılan enstrümanlar, kök kanalının iç yüzeyine tamamen temas etmez, ayrıca bütün enfekte dentini bu yolla uzaklaştırmaya çalışmak diş yapısını zayıflatacaktır. Bu nedenle kimyasal olarak aktif irriganlar, mikroorganizma kolonilerini yok etmek için kullanılmaktadır. Kök kanalının mekanik enstrümantasyonu, antibakteriyel irrigantların bütün kanal düzensizliklerine nüfuz edebilmesi için bir giriş yolu oluşturur. Ayrıca ara seans pansuman maddeleri ve kanal dolgusu için de bir boşluk teşkil eder (10).

### **2.1.2. Sodyum hipoklorit**

Sodyum hipoklorit; NaOCl formülü ile bilinen, antibakteriyel etkisi ve doku artıklarını çözme özelliği nedeniyle endodontide en çok kullanılan kök kanal irrigasyonudur (15). Andersen ve arkadaşları, % 2' lik NaOCl' in doku eritme özelliğinin Ca(OH)<sub>2</sub>' ten fazla olduğunu ve pulpa doku hacminin yarısını 1 saat içinde kalan kısmını ise 2-2 ½ saat içinde çözdüğünü çalışmalarında göstermişlerdir (16).

Endodontik irrigasyonların proteolitik etkisini kıyaslayan bir çalışmaya göre % 5 ve % 2.5' lik NaOCl çözeltileri arasında doku eritme özelliği açısından fark yoktur, ancak konsantrasyon arttıkça pulpanın çözünme süresi kısalmaktadır (17). Ancak, NaOCl' in kanal tedavisi başarısına katkısının yanında yetersiz yönleri de vardır. NaOCl' in kök kanal şekillendirilmesi sırasında oluşan dentin içerikli inorganik yapıları çözücü etkisi yoktur (18).

Birçok çalışma, NaOCl' in dentinin yüzey pürüzlülüğü ve mikrosertliği üzerindeki istenmeyen etkilerini göstermektedir (19, 20). % 5.25' lik NaOCl' in, dentinin elastik modülünü ve eğilme dayanımını azalttığı ve boyanabilme özelliğini değiştirdiğini gösteren bir çalışma mevcuttur (21). NaOCl aynı zamanda son derece reaktif ve toksik

bir bileşiktir (22). NaOCl' in yıkama etkisi ile Ca(OH)<sub>2</sub>' i kök kanalından uzaklaştırdığı birçok makalede ifade edilmiştir (23, 24).

### **2.1.3. Nekrotik kök kanalın ekolojisi**

Pulpadaki kan dolaşımının, iltihabi durum veya travma sonucu bozulmasıyla pulpa dejenerasyonu başlar. Patolojik bu durumun devamı halinde pulpanın nekrozu meydana gelir. Nekroz aşamasında bakteri türleri azalmaya başlar ancak sayıca miktarları artar. Nekroze pulpa dokusu ve dentin kanallarındaki protein yönünden zengin sıvı, bakteriler için enerji kaynağı görevi görmeye başlar. Enfekte kök kanalında oksijen miktarının düşmeye başlamasıyla anaerob bakterilerin çoğalmasını arttıran negatif redüksiyon potansiyeli voltajı meydana gelir. Kan dolaşımının olmadığı kök kanal boşluğu, immün cevabın oluşmadığı savunmasız bir ortamdır (25).

Nekrozlu bir dişin florasındaki en belirgin türlerin ne olduğu konusunda farklı çalışmalar bulunmaktadır. Materyal alma, kültür metodu farklılıkları ve enfekte dişin ekolojisi sonuçları etkilese de genellikle *Actinomyces*, *Bacteroides*, *Eubacterium*, *Fusobacterium*, anaeroplara (*Peptostreptococcus*, *Porphyromonas*, *Selenomonas*, *Veillonella*, *Wolinella* genuslarının üyeleri ve *Spiroketler*) ve benzeri türlerin sadece sıralaması değişmekte, sürpriz bir bakteri cinsi görülmemektedir.

### **2.1.4. Kök kanal ilaçları**

Kök kanallarında ilaç kullanımının amaçları; dezenfeksiyon, ekolojik ortamın düzeltilmesi, doku artıklarının denatürasyonu ve iltihabi reaksiyonun hafifletilmesidir. Antiseptikler, antibiyotikler ve kortikosteroidlerden oluşan bu ilaçlara örnekler Tablo.1' de verilmiştir.

## **2.2. Kalsiyum Hidroksit**

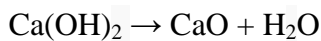
Kalsiyum oksitin su ile karıştırılmasıyla oluşan kalsiyum hidroksit, Ca(OH)<sub>2</sub> formülüyle ifade edilir. Renksiz, kristal veya beyaz toz şeklinde bulunur ve kokusuzdur. Molekül ağırlığı; 74.08 g (40 g kalsiyum, 34.08 g hidroksil) olan Ca(OH)<sub>2</sub>' in % 54.11' i

Tablo.1. Antiseptikler, antibiyotikler ve kortikosteroidlerden oluşan ilaçlara örnekler

ANTİSEPTİKLER	ANTİBİYOTİKLER	KORTİKOSTEROİDLER
<p><b>Halojenler</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Klorlu bileşikler <i>NaOCl</i></li> <li>• İyotlu bileşikler</li> <li>• İyodoforlar <i>Povidon iyodin</i></li> </ul> <p><b>Fenollü bileşikler</b> <i>Klorheksidin</i></p> <p><b>Kalsiyum hidroksit</b></p>	<p><b>Karışım halindekiiler</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Septomixin B</li> <li>• Ledermix</li> <li>• Üçlü pat</li> </ul> <p><i>Metronidazol</i></p> <p><i>Siprofloksasin</i></p> <p><i>Minosiklin</i></p> <p><b>Metronidazol</b></p> <p><b>Klindamisin</b></p>	<p><b>Karışım halindeki patlar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ledermix</li> <li>• Pulpomixine</li> <li>• Terra cortil</li> </ul> <p><b>Glukokortikoidler</b></p>

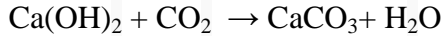
kalsiyum, % 45.89' u hidroksildir. Bu iyonlar, sert doku depozisyonunda ve antibakteriyel etkinlikte önemli rol oynarlar. 25<sup>0</sup>C' deki 1 L suda 1.2 g çözünen Ca(OH)<sub>2</sub>' in pH' sı 12.5-12.8' dir ve alkolde çözünmez. Radyografik görüntü vermedikleri için baryum sülfatla (BaSO<sub>4</sub>) 1/4-1/8 oranında karıştırılır. Baryum sülfatın rezidüel radyoopasite bırakması nedeniyle, Ca(OH)<sub>2</sub> radyografik görünürlük için diatrizoat veya iyotalamat gibi maddelerle de karıştırılabilir.

Ca(OH)<sub>2</sub>; 101 kPa basınç altında, 512<sup>0</sup>C' e kadar ısıtıldığında, kalsiyum oksit tozu ve suya ayrışır.

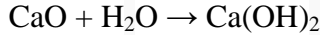


Su içinde Ca(OH)<sub>2</sub> parçacıkları süspansiyon halinde bulunduğu; buna "kireç süspansiyonu" denir. Bu solüsyon; asitlerle ve birçok metalle reaksiyona girer

eğilimindedir. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) varlığında, solüsyon süte benzer bir görünüme kavuşup kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) halini alır.



Ca(OH)<sub>2</sub> ticari olarak kireç ve su ile hazırlanır.



Ca(OH)<sub>2</sub> düşük toksisiteye sahiptir. Ancak kontrolsüz temasta, deri irritasyonları, kimyasal yanıklar, körlük ve akciğer hasarı gibi etkiler gelişebilir.

### **2.2.1. Kalsiyum hidroksitin sanayideki kullanım alanları**

Madencilik ve seramik endüstrisinde; floksilasyon materyali olarak kullanılır. Atık su arıtım ve geri dönüşüm işlemlerinde ve suyun asidik olduğu ortamlarda; su tesisatının korozyona uğramaması için pH' ı yükseltir. Kâğıt endüstrisinde; ağacın saf selüloza dönüştürülmesinde rol oynar. Tebeşir, kerpiç, plaster, tüy dökücü ilaç, yağ katkı maddeleri, mantar ve böcek öldürücü gibi ürünlerin yapımında kullanılır. Deniz suyuna katılarak atmosferik CO<sub>2</sub>' yi azaltır. Kauçuk yapımında, yiyecek endüstrisinde soda, şeker ve bazı alkollü içeceklerin ara aşamalarında da kullanılır.

### **2.2.2. Diş hekimliğinde kalsiyum hidroksit**

Ulaşılabilen ilk kayıt; Nygren' in 1838' de Ca(OH)<sub>2</sub>' i "Fistula Dentalis" tedavisinde kullanmasıyla ilgilidir. Cvek' e göre; Ca(OH)<sub>2</sub>' in yaygın biçimde tanınması, Hermann' nın 1930' lardaki çalışmaları ve ABD' de bu maddeyi tanıtmasıyla oldu. 2. Dünya Savaşı' ndan sonra diş hekimliğinde kullanım endikasyonları genişledi.

Günümüzde, pulpal ve periapikal doku patolojilerinin iyileşmesini hızlandırmada kullanılan en iyi kök kanal ilacı olarak geniş biçimde kabul görmüştür. Kök kanallarında kanama kontrolü, köklerdeki apse ve kistlerin tedavisi, alkalenite



özelliğiyle patolojilerin asidik ortamını nötrlenmesi ve kanal antiseptiği olarak endodontide geniş bir kullanımı vardır.

### **2.2.2.1. Pulpa kaplaması**

Pulpa kaplamasında amaç; ekspoz olmuş canlı pulpanın sağlığını korumaktır.  $\text{Ca(OH)}_2$ ; antibakteriyel etkisi, termal uyarılara karşı pulpayı koruması ve pulpanın sklerotik ve tamir dentini yapımını stimule etmesi nedeniyle pulpa kaplamasında kullanılan en yaygın materyallerden biridir (26). Ekspoz olmuş pulpa dokusuna farklı  $\text{Ca(OH)}_2$  formülasyonlarıyla direkt olarak kaplandığında pulpa tamir ve sert doku bariyeri oluşturduğu çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir. Klinik pratikte, kaplama sonrası sert doku bariyerinin varlığı bir kazanım olarak kabul edilebilir çünkü bakterilerin ve kimyasal ürünlerin sızıntısına karşı doğal bir koruma sağlar (27).

Ancak pulpa kaplaması sonrası kalsifiye sert doku bariyeri oluşumunun önemine karşı çıkan başka çalışmalar;  $\text{Ca(OH)}_2$ ' le pulpa kaplamasını takiben dentin köprülerinde çoklu tünel defektleri ve hücre kalıntılarını göstermektedir. Bu durum bonding ajanlarının oluşturduğu kalıcı sızdırmazlığın aksine sızıntıya ve bakteriyel penetrasyona neden olabilir (28, 29). Bu durum; tünel defektlerine,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in kendisinden çok mekanik ekspoz sırasında hasara uğrayan damar sayısının çokluğu ve pulpal travmanın ciddiyeti neden olur. Tünellerin içerisinde, nekrotik dokuya kalsiyum kaynağı sağlayan kan damarları gözlenmektedir. Nekrotik tabakadaki kalsiyum iyonları, koagülasyon nekrozunun parsiyel distrofik kalsifikasyonundan sorumludur. Sert doku bariyerlerindeki diğer defekt tipi; genellikle koagülasyon nekrozu ve kalsifikasyon bölgesi arasında bulunan hücresel kalıntılardır (29).

Direkt pulpa kaplaması olarak  $\text{Ca(OH)}_2$  kullanımıyla pulpa tamirinin mekanizması, halen iyi bilinmemektedir. Ancak,  $\text{Ca(OH)}_2$  solüsyonlarının yüksek alkalik pH' ının dentinden bazı proteinleri ve büyüme faktörlerini çözdüğü ve saldırdığı bildirilmektedir. Bu olgular, pulpa tamiri ve sert doku bariyeri oluşumundan sorumlu olabilir (30). Yüksek pH' a bağlı olarak,  $\text{Ca(OH)}_2$  pulpa dokusuna direkt temas ettiği zaman bir koagülasyon nekroz tabakasını tetikler.  $\text{Ca(OH)}_2$ , ne biyostimülatör olarak davranır ne de pulpa dokusuyla biyouyumludur. Aksine,  $\text{Ca(OH)}_2$ 'le temas eden hücreler yüksek

pH' a bağlı olarak çeşitli kalınlıklarda nekrotik bir tabaka oluşturarak ölürler. Sonrasında, Ca(OH)<sub>2</sub>' ten çok alttaki pulpa dokusu, sert doku bariyeri oluşumuyla bağlantılı pulpal iyileşmeden sorumludur.

Klasik mikroskobik alışmalar, Ca(OH)<sub>2</sub>' in yüzeyel bir pulpa nekrozu meydana getirdiğini ve odontoblast benzeri hücrelerin dentin üretmek için farklılaşıp organize olduğu granüler alanın hemen altında distrofik kalsifikasyon çekirdeği olarak davranan, CaCO<sub>3</sub>' ı oluşturduğunu göstermektedir.

Ca(OH)<sub>2</sub>' in koterizasyon etkisi ekspozel pulpanın tamiri için gereklidir (31). Serbest hidroksil iyonlarının varlığının neden olduğu pH artışlarının, mineralizasyonu başlatabileceği düşünülmektedir (32). Bununla birlikte, baryum hidroksit ve kalsiyum fosfat gibi diğer alkali birleşikler bu süreçte başarısız olmaktadır (33).

Alkali pH, osteoklastların salgıladığı laktik asidi etkisizleştirebilir ve mineral doku yıkımını engellemeye yardımcı olabilir. Ca(OH)<sub>2</sub>, enflamatuar sürecin ürettiği asit reaksiyonlarına karşı lokal bir tampon olarak davranabilir (34). Heithersay, kalsiyum iyonlarının kapiller geçirgenliği azaltabileceğini, bu nedenle düşük hücreler arası sıvının mineralizasyon alanında kalsiyum iyonlarının atışına yol açtığını belirtmiştir.

Tüm bu avantajlara karşın, Ca(OH)<sub>2</sub> hem suda hem de asitte çözünebilir ve fiziksel özellikleri yetersizdir (35, 36). Çoklu tünel defektleri, dentin köprü bariyerinin morfolojik olarak bozulduğunu gösterir çünkü hem sağlam bir bariyer oluşurmada hem de bakteriyel enfeksiyonlara karşı uzun vadeli bir biyolojik sızdırmazlık sağlamada başarısız olunmuştur. Sonuç olarak tüneller, bakteriler ve onların toksik ürünleri gibi oral kirleticilerin zamanla dişle restorasyon arasındaki yüzeyde oluşan marjinal açıklıktan pulpa dokusuna ulaşmasına izin verir (35). Bunun yanında Ca(OH)<sub>2</sub>' in yüksek dozları, kronik enflamasyon ve nekroz kaynağı oluşturabilen yumuşak doku yıkımına neden olabilir.

Ca(OH)<sub>2</sub> ve gri mineral tri agregat (MTA)' nın kalıcı dişlerde pulpa kaplama materyali olarak karşılaştıran prospektif bir çalışmada, Ca(OH)<sub>2</sub> rneklerinde temas ettikleri pulpa dokusu nekrozlu ve 0.15 mm kalınlığında dentin köprüsü olan doku enflamasyonu 6 ayın sonunda yaygın olduğu bildirilmiştir (37). Yapılan diğer bir çalışmada, Ca(OH)<sub>2</sub>'

le kaplanan pulpaların histolojik özellikleri, kaplamadan 9 gün sonra gibi erken bir zamanda pulpanın ekspoz alanının altındaki pulpa hücrelerinin göçü nedeniyle farklı olduğu bulunmuştur. Komşu odontoblast tabakası, Weil' ın hücresiz bölgesi ve hücreden zengin bölge, pulpanın daha derindeki yapıları kadar iyi korunduğu bildirilmiştir. Pulpa tamirinin bu erken belirtileri, normal bir pulpanın ve tam bir köprü oluşumunun ortak olaylar olduğu uzun süreli dönemlerde görülen yüksek başarı oranıyla örtüşmektedir (29).

### **2.2.2.2. Apeksifikasyon**

Apeksifikasyon; açık apeksli devital dişlerde kanal ile periapikal dokular arasında kalsifiye doku oluşturma yöntemidir. Apeksifikasyon amacıyla  $\text{Ca(OH)}_2$ , ilk defa Kaiser tarafından 1964 yılında, kâfurlu paraklorofenolle beraber apekste kalsifiye bir bariyer oluşumunu uyarabileceğini öne sürülerek gündeme getirildi. Bu işlem; kök kanalı içerisinde kontaminasyonun azaltılmasını ve kanal boşluğunun rezorbe bir patla olabildiğince doldurulmasının önemini vurgulayan Frank tarafından popülerleştirildi (38).  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in potansiyel sitotoksitesini azaltmak amacıyla; salinle (38), steril suyla (39, 40) veya distile suyla (41) kullanımının araştırıldığı çalışmalarda benzer klinik başarı oranları bulunmuştur.

Apeksifikasyon için önce kök kanal sisteminin biyomekanik preperasyonu yapılır. Daha sonra, mikroorganizmalardan arındırılan kökün ucunu tıkamak için başta  $\text{Ca(OH)}_2$  olmak üzere çeşitli maddeler apekse yerleştirilir. Kök kanalının geçici ve rezorbe olabilen bir maddeyle tamamen doldurulması, apeksifikasyon işleminin oluşmasında önemlidir (42).

Kalsiyum iyonlarının  $\text{Ca(OH)}_2$  pansuman materyalinden değil kan akımından gelmesi, apikal bariyer oluşumunun uyarılmasında  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in etki mekanizmasını tartışmalı hale getirmektedir (43).

Mitchell ve Shankwalker,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in fare bağ dokusuna yerleştirildiğindeki osteojenik etkisini araştırdıkları çalışmalarında, heterotopik kemik oluşumunu uyarma konusunda yüksek bir potansiyele sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. 11 farklı materyalin

kullandığı karşılaştırmalı çalışmalarda sadece Paris alçısı (kalsiyum sülfat hemihidrat) ve magnezyum hidroksit benzer osteojenik potansiyeli göstermiştir (33). Holland ve arkadaşlarıysa, periapikal dokuların  $\text{Ca(OH)}_2$ ' e, pulpa dokusuna benzer reaksiyonlar gösterdiğini gözlemlemişlerdir (44).

$\text{Ca(OH)}_2$  alttaki mineralizasyonla çok tabakalı bir nekroz oluşturur. Schroder ve Granath, sıkı nekroz tabakasının, mineralize olan bir matriks üretmek için gerekli olan alttaki dokunun düşük dereceli iritasyonunu oluşturduğu fikrini ortaya atmışlardır. Bu teoriye göre, kalsiyum bölgeye çekiliyordu ve yeni oluşmuş kollajen matriksin mineralizasyonu, kalsifiye odak tarafından başlatılıyordu (45).

$\text{Ca(OH)}_2$ ' in yüksek pH' ı sert doku oluşumunu başlatma yeteneği için önemli bir faktördür. Javelet ve arkadaşları,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in (pH 11.8) ve kalsiyum kloritin (pH 4.4) pulpası olmayan, immatür maymun dişlerinde sert doku bariyeri oluşumunu başlatma yeteneklerini kıyasladıklarında, periapikal tamir ve apikal bariyer oluşumu  $\text{Ca(OH)}_2$  varlığında daha hızlı meydana geldiğini bulmuşlardır (46). Bu durum; mikroorganizmaların yokluğunda apikal bariyer oluşumunun daha başarılı olduğunu göstermektedir (47).

$\text{Ca(OH)}_2$ ' in antibakteriyel etkisi iyice anlaşılmıştır (48-53). Antimikrobiyal etki; oldukça oksidan olan ve aşırı reaktivite gösteren hidroksil iyonlarının salımıyla ilişkilidir. Bu iyonlar; bakteriyel sitoplazmik membrana zarar verirler, protein denaturasyonuna yol açarlar ve bakteriyel DNA' yı bozarlar. Heithersay,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in plazma akışını azaltmada, prekapiller sfinkterdeki kalsiyumu arttırarak görev aldığı teorisini ortaya atmıştır (34). Bununla beraber, kalsiyum iyonu, kollajen sentezinde rolü olan pirofosfataz enzimini etkileyebilir. Bu enzimin uyarılması tamir mekanizmalarını kolaylaştırabilir.

Sert doku bariyeri; Ghose ve arkadaşları tarafından bir başlık, köprü veya içe dönük bir kap olarak tarif edilmiştir (54) ve sement, dentin, kemik ya da osteodentinden oluşabilir (55). Bu osteodentinin, Hertwig epitelyum kılıfının görünmediği apikallerdeki bağ dokusu tarafından oluşturulduğu düşünülmektedir. Torneck ve arkadaşları, (56) kemik benzeri bir maddenin kanalın iç duvarlarında biriktiğini belirttiği halde Steiner ve Van

Hassel, apikal kapanışın sement kaynaklı olduğunu klasik histolojik ölçütleri karşılayan bir kalsifik köprü oluşumuyla göstermişlerdir (57).

Seri kesit çalışmaları, sement oluşumunun azalan eşmerkezli çemberler halinde orijinal apeks çevresinden merkeze doğru kaynaklandığı izlenimini vermiştir. Tam apikal köprü oluşumuyla ilgili radyografik ve klinik delillere rağmen histolojik incelemeler bariyerin gözenekli olduğunu göstermektedir (58). Apikal bariyerin elektron tarama mikroskobu ve histolojik analizleri, köprünün dış yüzeyinin düzensiz topografya boyunca girintiler ve çıkıntılar göstererek, kök apeksinin üzerine bir şapka biçiminde uzandığını göstermiştir (59). Histolojik kesitler farklı tabakalar göstermektedir. Dıştaki tabakanın, yoğun hücreli sement benzeri dokudan oluştuğu görünmektedir. Bu yapı; yüksek mineralli kalsifikasyonların düzensiz parçalarına sahip ve yabancı madde içeren, düzensiz yoğun fibrokolajen bağ dokusunun daha yoğun bir karışımıyla çevrilidir.

Ca(OH)<sub>2</sub> pansumanının ne sıklıkla değişmesi gerektiği veya değişmesinin gerekip gerekmediği konusunda ihtilaf vardır. Chawla, kanal pansumanının bir defa yerleştirilmesinin yeterli olduğunu ve bariyer oluşumunun radyografik olarak kanıtlanmasının beklenmesini tavsiye etmekteyken (60), Chosack ve arkadaşları, Ca(OH)<sub>2</sub>' li kök dolumundan sonra her ay veya 3 ay sonra bu işlemi tekrar etmekle hiçbir şey elde edilemeyeceğini bulmuşlardır (61).

Tek bir seferde uygulamayı savunanlar, Ca(OH)<sub>2</sub>' in sadece iyileşme reaksiyonunu başlatmak için gerekli olduğunu, bu nedenle tekrarlanan uygulamalara gerek olmadığını iddia etmektedir. Diğer bir grup araştırmacıysa, Ca(OH)<sub>2</sub>' in sadece semptomlar geliştiğinde veya radyografik olarak pansuman maddesinin kanalda kaybolmaya başladığının gözlemlendiği zaman değiştirilmesi gerektiğini ileri sürmektedirler (62, 63). Ancak Abbot, kanalda kalan Ca(OH)<sub>2</sub> miktarını belirlemek veya apikal bariyerin tam olarak oluşup oluşmadığını görmek için radyograflara güvenilemeyeceğini ifade etmektedir (64).

Üçer aylık aralıklarla, 6-24 ay arası Ca(OH)<sub>2</sub> uygulamasının etkili olduğu öne sürülmüştür (65). Birçok araştırmacı, düzenli pansuman yerleştirmenin; bariyer oluşumunun klinik olarak değerlendirilmesine olanak sağlamak ve köprü oluşumunun

hızını arttırmak gibi birçok avantajı olduğunu bildirmektedir (66-68). Abbot, kanal pansumanını değiştirmek için ideal zamanın tedavinin aşamasına ve foramen açıklığının boyutuna bağlı olduğunu iddia etmektedir (64). Bu durum, her bir dişin gelişiminin her aşamasında ayrı olarak değerlendirilmelidir.

Kalsiyum hidrosit kullanılan apeksifikasyonlarda apikal bariyer oluşumu için gereken zamanın değerlendirildiği çalışmalar çeşitlilik göstermektedir. Sheehy ve Roberts, 10 çalışmayı derledikleri bir makalede bu zamanın ortalama olarak 5 ile 20 ay arasında değiştiğini rapor etmektedirler (69). Finucane ve Kinirons, Ca(OH)<sub>2</sub> apeksifikasyonu süren 44 vital olmayan immature kesiciyi değerlendirmişlerdir ve bariyer oluşumu için (13–67 hafta arasında değişen sürelerde) ortalama süreyi 34.2 hafta bulmuşlardır (68). Hızlı bariyer oluşumunun en güçlü belirtisi Ca(OH)<sub>2</sub> değişim oranı olduğu ve başlangıç apikal genişliği daha dar olan vakalarda bariyer daha hızlı oluştuğunu bildirmişlerdir.

Apikal bariyer oluşumu için gerekli zamanla yaş arasında ters bağlantı olabilir. Bir çalışmada, 11 yaş ve üzeri hastalar belirgin biçimde daha kısa sürede tedavi edildiler (66). Buna karşın diğerleri bunun aksini buldular (65, 70). Cvek, tedavinin başlangıcındaki enfeksiyon ve/veya periapikal radyolüseni varlığının, bariyer oluşumu için gereken süreyi arttırdığını bildirmektedir (62), diğer çalışmalar tedavi öncesi enfeksiyon ve periapikal radyolüseni varlığının bariyer oluşum süresiyle bir bağlantısı olmadığını göstermektedir (54, 65, 66, 70). Kleier ve Barr, apikal semptomların varlığında, apikal kapanış için gerekli olan sürenin yaklaşık ortalama 5 aydan 15.9 aya uzadığını bulmuşlardır (70). Bir 10 çalışmalık derlemede, kullanılan patentli markalara bağlı kalmadan, apikal bariyer için Ca(OH)<sub>2</sub> kullanılan vakaların % 74–100' nün başarılı olduğu rapor edilmektedir (69).

Kök kanallarına; salin, Ca(OH)<sub>2</sub> ve Metapaste yerleştirilen dişlerin esnekliklerinin kıyaslandığı bir çalışmada, 30 gün sonra gruplar arasında belirgin fark bulunmadığı halde 180 gün sonra Ca(OH)<sub>2</sub> grubunun dayanıklılığında belirgin bir düşüş olduğu belirtilmiştir. Bu durum, Ca(OH)<sub>2</sub>' in neden olduğu denaturasyon hidrolizisi ve yüksek pH' ın kök dentin matriksinin organik kısmının azaltmasıyla açıklanmıştır (71).

### **2.2.2.3. Perforasyon tamirinde kalsiyum hidroksit kullanımı**

Ca(OH)<sub>2</sub>; halen perforasyonların tedavisinde kullanılan geleneksel bir materyal olarak kabul edilmektedir. Perforasyon tamirinde Ca(OH)<sub>2</sub> kullanımının; kolay manipüle edilebilmesi, periodonsiyuma taşıdığı hızla rezorbe olabilmesi, periodontal dokuların yeniden organizasyonunu teşvik etmesi ve mineralizasyonu uyarması gibi birçok avantajı vardır (72).

Geniş apikal perforasyonlarda, sert doku bariyeri oluşumu için uzun süreli Ca(OH)<sub>2</sub> uygulaması önerilmiştir (73). Ancak krestal ve furkasyon perforasyonlarında, destek dokularda yıkıma ve sonrasında cep oluşumuna yol açabilecek başlangıç enflamatuvar cevabı oluşturabileceği için Ca(OH)<sub>2</sub> kullanımı tavsiye edilmemektedir (74, 75).

Ca(OH)<sub>2</sub>' in yakın temasta bulunduğu periodontal ligamente, nekrotize edici özelliği ve enflamatuvar cevaba yol açabilmesi nedeniyle, zarar verebileceği birçok çalışmada gösterilmiştir (76-78). Öte taraftan, Beavers ve arkadaşlarının maymunlar üzerine yaptığı bir çalışmada, sertleşebilen Ca(OH)<sub>2</sub>' in furkasyon perforasyonlarının tamirinde kullanımının granülasyon dokusunun kök kanalı içerisine büyümesini önlemesi dışında, iyileşme yapısını değiştirmedeği ve yüksek bir tamir oranı sağladığını görmüşlerdir (79). Doku sıvıları ile temas durumunda; Ca(OH)<sub>2</sub>' in uygun sızdırmazlığı sağlayamayacağı ve yerine MTA gibi restoratif materyallerin kullanımının daha uygun olacağı belirtilmektedir (80).

### **2.2.2.4. Kök rezorpsiyonu tedavisinde kalsiyum hidroksit kullanımı**

Kök rezorpsiyonu; dentin, sement veya kemik kaybıyla sonuçlanan fizyolojik veya patolojik bir süreçle ilişkili bir durumu ifade eder (81). Fizyolojik rezorpsiyon, süt dişlerinde ekfoliasyona yol açar ve yerine kalıcı dişlerin sürmesini sağlar. Patolojik rezorpsiyon ise pulpal veya periodontal yapıların kronik enfeksiyonu, travmatik yaralanmalar veya ortodontik diş hareketlerini takiben meydana gelir. Eğer patolojik rezorpsiyon tedavi edilmezse etkilenen dişin kaybıyla sonuçlanacaktır (82). Kök

rezorpsiyonu süreci, enflamatuar hücreler, rezorpsiyon hücreleri ve sert doku yapıları arasındaki karmaşık bir etkileşimi içerir.

Rezorpsiyona katılan anahtar hücreler; osteoblastlar ve odontoklastları içeren klasik tip hücrelerdir. İnternal ve eksternal kök rezorpsiyonu olarak ikiye ayrılır. İnternal kök rezorpsiyonu; kök kanal yer değiştirme rezorpsiyonu ve internal enflamatuar rezorpsiyon olarak iki tiptir. Eksternal rezorpsiyon ise; klinik ve histolojik belirtilere göre eksternal yüzey rezorpsiyonu, eksternal enflamatuar kök rezorpsiyonu, yer değiştirme rezorpsiyonu ve ankiloz olarak dörde ayrılır. Eksternal enflamatuar kök rezorpsiyonu ise, eksternal apikal kök rezorpsiyonu ve canlı pulpalı veya pulpasız servikal rezorpsiyon (invaziv servikal kök rezorpsiyonu) olarak sınıflandırılabilir. Rezorpsiyonun diğer çeşitleri; internal ve eksternal rezorpsiyonların geçici apikal bozulmaların karışımını içerir.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' in alkalin pH' sı; her ne kadar sementin pH' ını etkilemese de rezorpsiyonla ortaya çıkan dentin yüzeyindeki osteoklastik süreci yavaşlatır ve apikal dokuların tamirini destekler.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , asidik ortamın yol açtığı yıkımı alkalik yapısıyla tamponlar ve sert doku depozisyonunu artırır (5).

Rezorpsiyon uygulamalarında; öncelikle kök kanallarına biyomekanik preparasyon yapılır ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pansumanıyla dentin tübüllerindeki mikroorganizmalar azaltılır, güçlü enflamatuar uyarıcılar olan endotoksinler etkisizleştirilerek enflamatuar rezorpsiyonun aktivitesi önlenmeye çalışılır (83, 84).

#### **2.2.2.5. Kök kanal dolgu patı olarak kalsiyum hidroksit**

1940 yılında Rhoner' in kök kanalında  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' yi dolgu patı olarak kullanmasından sonra klinik pratiğe girmiştir.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  içeren kök kanal dolgu patlarının tercih edilme sebepleri; kıvamının ayarlanmasının kolay olması, alkalin pH' larının osteoklast aktivitesini inhibe etmesi, patolojik ortamları iyileşmeye uygun hale getirmesi, kök kanal dışına taşması durumunda rezorbe olabilmesi ve oluşturduğu sementogenezis ve sert doku depozisyonu gibi birçok olumlu yönlerinin olmasıdır (85).



Saf Ca(OH)<sub>2</sub>' i çeşitli taşıyıcılarla karıştırmanın yanında, hazır olarak Apexit (Ivoclar Vivadent Inc, Schaan, Liechtenstein), Acroseal (Maur des Fossés, Fransa), Sealapex (SybronEndo, Kaliforniya, ABD), Sealer 26 (Dentsply, Petrópolis, Brezilya) ve Calciobiotic Root Canal Sealer (CRCS) (Coltene/Whaledent Inc. Cuyahoga Falls, Ohio, ABD) gibi patlar halinde de diş hekimlerinin kullanımındadır. Üretici firmalar tarafından rezorbe olmadıkları iddia edilse de bu patların içeriğindeki Ca(OH)<sub>2</sub>' in iyonlaşarak rezorbe olması, kök kanal dolgusunun boşalmasına ve doku sıvılarının geçişine yol açabilir. Ca(OH)<sub>2</sub> içeren kök kanal dolgu patları, apikaldeki bir sızıntıda veya tedavi sırasında fark edilmeyen geniş bir kanal varlığında diğer tür patlardan daha hızlı rezorbe olurlar (85). Bunun yanında, lateral kompaksiyon tekniğiyle kanal dolumunda, patın sertleşmesiyle hidroksil iyonları dentin tübüllerinden geçemeyip kökün pH' ını alkali hale getirememektedir (86).

Wu ve arkadaşları, bir yıllık takip sonunda Sealapex' in diğer patlara göre belirgin biçimde daha çok sızıntı gösterdiğini ve sızıntıyı etkileyen faktörler içinde pat kalınlığının ve pat çözünürlüğünün önemli rol oynadığını belirtmişlerdir (87). Sealapex, Apexit ve Sealer 26' nın biyouyumluluğunun karşılaştırıldığı fareler üzerinde yapılan bir çalışmada, Sealapex' in en biyouyumlu olduğunu ve Sealer 26' nın çok sayıda enflamatuar hücreyi uyardığı görülmüştür (88). Ancak Zmener ve arkadaşları, Sealapex ile CRCS patlarının oluşturdukları doku cevabını karşılaştırdıkları zaman Sealapex' in yüksek fagositik aktivitenin varlığında dirençli granülatöz reaksiyon artışı gösterdiğini belirtmişlerdir (89).

Endodontik tedavi sonrası periapikal dokulardaki histolojik durumu değerlendiren başka bir çalışmada Sealapex, CRCS, Sealer 26 ve Apexit incelenmiş ve Sealapex' in apikal seviyede mineralize doku depozisyonuna diğerlerinden daha fazla olanak sağladığı görülmüştür. Tam iyileşme sadece Sealapex' de görülmüş ve ayrıca hiçbir enflamatuar sızıntının ve mineralize olmuş dokularda hiçbir geri emilimin olmadığı da rapor edilmiştir. Buna karşın, CRCS' nin kullanımıyla kısmi sızdırmazlık ve orta derece enflamatuar sızıntı oluşmuştur. Apexit ve Sealer 26 kullanımında sızdırmazlığın sıklıkla sağlanamadığı ve mineralize dokularda aktif geri emilimin çoğu vakada belirlendiği rapor edilmiştir (90).

Endometazon, AH 26 ve Apexit' in antibakteriyel özelliklerini değerlendiren in vitro bir çalışmada, Apexit' in *E. faecalis*, *E. coli*, *P. Aeruginosa* ve *B. Fragilis*' e karşı hiçbir antimikrobiyal etki göstermezken *S. aureus*, *Streptococcus* ve *Peptostreptococcus*' a çok az etki gösterdiği bildirilmiştir (91). Bu sonuç, Ca(OH)<sub>2</sub> içeren kök kanal dolgu patlarının *P. aeruginosa* ve *Bacteroides* türlerine karşı antibakteriyel etki oluşturmadığını belirten diğer in vitro çalışmalarla da uyumludur (26, 92).

#### **2.2.2.6. Kanal içi medikament olarak kalsiyum hidroksit**

Endodontik literatürde, pulpa boşluğunun karmaşık anatomisi düşünüldüğünde, mekanik enstrumentasyonun kök kanal sisteminin dezenfeksiyonu için tek başına yeterli olmadığının belirtilmesi şaşırtıcı değildir (93). Endodontik başarısızlıklardan genel olarak kök kanal uygulamalarından geriye kalan bakterilerin sorumlu olduğuna inanılmaktadır (94). Bu durum, prepare edilmiş kanala seanslar arası medikament yerleştirilmesiyle kontrol altına alınabilir (95-97). Ca(OH)<sub>2</sub>, en az 7 günlük bir süre boyunca etkili dezenfeksiyon sağlanmasıyla seanslar arası pansuman olarak en yaygın kullanılan materyaldir (98).

Ca(OH)<sub>2</sub>' in antimikrobiyal etkisi, sulu bir ortamda hidroksil iyonu salmasından dolayı protein denaturasyonu ve DNA hasarı oluşturarak bakteriyel sitoplazmik membrana zarar vermesiyle ilişkilidir (99). Ancak *E. faecalis* (100) ve *C. albicans* (101) gibi bazı mikroorganizmaların Ca(OH)<sub>2</sub>' e dirençli olduğu bildirilmektedir. *E. faecalis*' in dentin tübüllerine penetre olma ve değişen çevre koşullarına adapte olabilme yetenekleri bilinmektedir (100). Bu nedenle, kök kanal dolumu öncesi bakteri eradikasyonunu geliştirmek için alternatif kök kanal medikamentleri araştırılmaktadır.

Klorheksidin glukonatın Ca(OH)<sub>2</sub>' le birleşiminin antibakteriyel etkiyi arttırabileceği birçok çalışmada ifade edilmiştir (102). Ancak başka bir in vitro çalışmada *E. faecalis*' e karşı antibakteriyel özelliği karşılaştırıldığında klorheksidin glukonatın, Ca(OH)<sub>2</sub>' le klorheksidin glukonatın karışımına ve sadece Ca(OH)<sub>2</sub>' e göre daha etkin olduğu gösterilmiştir. Klorheksidin glukonatın Ca(OH)<sub>2</sub>' in hidroksiapatit kristallerine bağlanıp daha uzun süre etki gösterdiği iddia edilmiştir. Buna karşın başka bir çalışmadaysa

Ca(OH)<sub>2</sub>' e klorheksidin glukonatın eklenmesinin antibakteriyel etkiyi arttırmadığı rapor edilmiştir (103).

Ca(OH)<sub>2</sub>' in 12.5 gibi yüksek bir pH' a sahip olması, gram negatif bakterilerin hücre duvarında bulunan bakteriyel lipopolisakkaritin (LPS) biyolojik özelliklerini değiştirir ve mikroorganizmanın yok edilmesinde önemli bir rol oynayan membran taşıma mekanizmasını etkisiz hale getirir (104).

### **2.2.3. Antimikrobiyal etki mekanizmaları**

Endodontik patolojilerde rol alan mikroorganizmaların çoğu alkali ortamda yaşayamamaktadır (105). Ca(OH)<sub>2</sub>' in antimikrobiyal etki mekanizması; hidroksil iyonu yayması üzerine kurulmuştur.

Hidroksil iyonları; aşırı reaktivite gösteren ve birçok biyomolekül ile tepkimeye giren, son derece oksidan olan serbest radikallerdir (106). Bu reaktivite öylesine aşırı ve gelişigüze ki, bu serbest radikaller nadiren oluştukları alanlardan uzağa yayılırlar. Bakteri hücreleri üzerindeki ölümcül etkileri aşağıdaki mekanizmalarla açıklanmaktadır:

#### **2.2.3.1. Bakteriyel stoplazmik membrana hasar verme özelliği**

Bakteriyel sitoplazmik membran; hücrenin yaşamını sürdürmesi için elektron taşıma ve aerobik türler için oksidatif fosforilasyonda rol alır. Çözünen maddelerin seçici geçirgenliğini ve dış ortama salgılanan hidrolitik enzimlerin boşaltımını sağlar. DNA; hücre duvarı polimerleri ve membran lipitlerinin biosentezinde görev alan enzim ve taşıyıcı molekülleri, reseptörleri, kemotaktik ve diğer duysal iletim sistemlerinin diğer proteinlerini taşımak gibi önemli görevleri yerine getirir (26).

Bakteri stoplazmik membranı, hücre savunmasında önemli rol oynar. Hidroksil iyonu ise lipid peroksidasyonunda rol alarak hücre zarındaki fosfolipidlerin yıkımına neden olur. Bunu, hücre duvarını oluşturan doymamış yağ asitlerindeki hidrojen atomunu

bağlayıp onu bir radikale dönüştürerek yapar. Bu radikal, oksijen ile reaksiyona girdiğinde; lipidik bir peroksit radikale dönüşür ve bir başka yağ asidinden hidrojen atomu söker. Peroksit; zincirleme bir reaksiyonla serbest bir radikal gibi çalışır ve doymamış yağ asitlerinin yok olmasıyla stoplazmik membranda yıkım oluşur (107). Ancak yüksek pH' ya maruz kalma süresi uzadıkça enzimlerdeki hasar büyür ve geri dönüşümsüz hale gelirler.

### **2.2.3.2. Protein denaturasyonu**

Hücrel metabolizma enzimatik aktivitelere sıkı biçimde bağımlıdır. Enzimler; nötr değerler etrafındaki dar bir pH aralığında, optimum aktivitede ve stabilitede kalırlar.  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in neden olduğu alkalinizasyon, proteinlerin tersiyer yapısını oluşturan iyonik bağların kırılmasını uyarır. Bu nedenle, enzim kendi kovalent yapısını sürdürür ancak polipeptit zincir rastlantısal olarak değişken ve düzensiz uzaysal şekilde çözülür. Bu değişimler sıklıkla enzimin biyolojik aktivitesinin kaybı ve hücrel metabolizmanın bozulmasıyla sonuçlanır (104). Yapısal proteinlere de hidroksil iyonlarınca hasar verilebilir.

### **2.2.3.3. DNA hasarı**

Hidroksil iyonları; bakteriyel DNA ile reaksiyona girerler ve DNA iplikçiklerin ayrılmasını uyarırlar. Genler daha sonra kaybolurlar (108). Dolayısıyla, DNA replikasyonu engellenir ve hücrel aktivite organizasyonu bozulur. Serbest radikaller ölümcül mutasyonları da uyarabilirler.

Bilimsel kanıtlar, bahsedilen bu 3 mekanizmanın da meydana gelebileceğini öngörmektedirler. Ancak hangi mekanizmanın bakteriyel hücre ölümünün esas nedeni olduğunu saptamak zordur.  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in karbon dioksiti absorbe etme yeteneğinin antibakteriyel aktivitesine katkı yapabileceği iddia edilmektedir (109). Ancak sement su, iyon ve küçük molekülleri geçiren bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı kök kanal sisteminde kalan bakteriler, karbon dioksiti ancak dışarıdan temin edebilirler. Ayrıca apikal dallanmalarda yerleşik bakteriler, periradiküler dokular aracılığıyla doğruca

karbon dioksit erişim olanağına sahiptirler.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' in bakterilerin karbon dioksit ulaşmasını engellediğini düşünmek için pek az neden vardır.

#### **2.2.4. Kalsiyum hidroksitle kök kanal dezenfeksiyonu**

Dentin tübüllerinin mikroçevresi, enfeksiyon sürecinin etyolojisine bakmaksızın nispeten az bakteri türüne ev sahipliği yapar. Konak savunma mekanizmalarının ötesinde, sistemik alınan antimikrobiyal ajanların ulaşamayacağı alanlarda yerleştikleri için bu mikroflorayı yok etmek amacıyla uygulanan dezenfeksiyon stratejilerinin, dentin tübüllerine penetre olabilen ve onları öldürebilen ajanları da içermesi gerekir (110).

Birçok çalışma,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' in bakteriyel hücreler üzerinde ölümcül etkiler oluşturduğunu göstermektedir (111). Bu etkiler, solüsyondaki bakteriler doğrudan maddeyle temastayken gözlenmektedir. Bu şartlar altında, hidroksil iyonu konsantrasyonu bakterinin yaşamasını sürdürmeyeceği kadar kadar yüksektir. Ancak, klinik olarak doğrudan temas her zaman mümkün değildir. Agar difüzyon testi kullanılan çalışmalar, inert maddelerle ilişkili  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' in birçok zorunlu ve fakültatif anaerobik bakterinin büyümesini engellemede etkisiz olduğunu bildirmektedir (112). Muhtemelen bu durum, kültür ortamının kendi formülasyonunda tamponlayıcı maddeler bulunmasıyla açıklanabilir.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ortamda yayılabilse de, pH seviyesinin ulaştığı değerler engelleyici aktivitenin oluşması için yeterli değildir.

Alkali metallerin sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit gibi bazları, yüksek çözünürlük gösterirler ve böylelikle kültür ortamı içindeki  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' ten daha çok yayılırlar. Tüm bazların antibakteriyel etkinliği araştırmacılar tarafından bildirilmektedir (113). Öte taraftan, yüksek çözünürlük ve dağılıbilirlik, bazik maddelerin konak hücreler üzerindeki sitotoksik etkilerini arttırsa da endodonti uygulamalarında yüksek sitotoksikite istenen bir özellik değildir.

Hidroksil iyonunun oldukça yüksek pH değeri antibakteriyel etki için gereklidir.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile bakterilerin yok edilmesi, solüsyondaki hidroksil iyonlarının  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  patının uygulandığı yerdeki en yüksek olan kullanılabilirliğine bağlıdır.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , yüksek pH' ı sağladığı müddetçe antibakteriyel etkinliğini kök kanal sisteminde

gösterir. Eğer  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' in dokulara yayılması gerekirse ve hidroksil yoğunluğu tamponlama sistemlerinin (bikarbonat ve fosfat), asitler, proteinler ve karbon dioksitin faaliyetlerinin bir sonucu olarak azalır, antibakteriyel etkinliği zamanla azalacak veya engellenecektir (26, 104, 112).

Dentin tübüllerinin içindeki bakteriler, endodontik tedavi sırasında ve sonrasında kök kanal enfeksiyonunun veya tekrarlayan enfeksiyonun meydana gelebileceği önemli bir rezervuar oluşturabilir (110). Bazen kalan bu bakteriler, endodontik tedavinin sonuçlarını olumsuz yönde etkileyen dirençli enfeksiyonlara neden olabilirler. Dentin tübüllerinde bulunan bakteriler; konak savunma hücreleri ve moleküllerinden, sistematik yollarla alınan antibiyotiklerden ve kemomekanik preparasyondan korunurlar. Bundan dolayı, tübül enfeksiyonlarını doğrudan yok etmeye yönelik tedavi stratejileri gereklidir ve dentin tübüllerine penetre olup bakterileri öldüren medikamanları mutlaka içermelidir.

Kanal içi pansumanı olarak  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' in etkili biçimde hareket etmesi için hidroksil iyonlarının, dentine ve pulpal doku artıklarına doğrudan difüz olabilmesi gerekmektedir. Çalışmalar,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  medikamanından elde edilen hidroksil iyonlarının kök dentinine doğru yayıldığını göstermektedirler (5). Maymunlar üzerinde yapılan bir çalışmada, 4 hafta boyunca kanal içinde  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bekletilen dişlerin dentinindeki pH' ı kök kanalından uzaklaştıkça düştüğü bildirilmiştir. Kanal içinde pH 12.2' den fazla olduğu halde  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile direkt olarak temas eden çevresel dentinde 8-11 arasında ve en uzaktaki dentinde 7.4-9.6 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Nerwich ve arkadaşları,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pansumanından saatler sonra iç kısımdaki dentinin pH' ını servikalde 10.8 ve apikalde 9.7 olarak ölçmüşlerdir (114). Ancak 7 günlük sürede dış dentin pH' ında başlayan artışın, 2-3 hafta arasında en üst seviye olan servikalde 9.3' e ve apikalde 9' a ulaştığını bildirmişlerdir. Bu sonuçlar,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pansumanından kaynaklanan hidroksil iyonlarının dentin boyunca en hızlı olarak servikalde yayıldığını ve burada daha yüksek değerlere ulaştığını göstermiştir. Bu çalışmada dentinin iç kısımlarında ortalama pH yaklaşık 9 bulundu.

Kimi durumlarda, dentindeki bazı pH seviyeleri bazı bakteriyel suşların yaşamasına veya büyümesine izin verebilirler. Bakteriler, pH tolerans aralıklarında değişiklik gösterebilirler ve çoğu 6±9 pH aralığında çok iyi çoğalırlar (115). *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Enterobacter aerogenes* ve *Pseudomonas aeruginosa*'nın bazı suşları 8 veya 9 pH değerinde hayatta kalabilirler. Bu bakteri türleri, genelde ikincil enfeksiyonlara neden olan enfekte kök kanallarından izole edilmektedir (116). Bazı enterokoklar 9-11 arasında değişen yüksek pH aralıklarına dayanabilirler. Mantarlar da genel olarak 5±9 gibi geniş bir pH aralığında gelişim gösterirler. *Prevotella intermedia*, *Fusobacterium nucleatum* ve *Porphyromonas gingivalis*'in suşları 8 pH gibi alkali değerlerde sabit büyüme gösterebilirler.

Ortam pH'ı mikroorganizmalar üzerinde seçici bir baskı oluşturur. Ancak adaptasyon mekanizması olanlar, bu zor ortamda varlıklarını koruyup çoğalabilirler. Birçok önemli protein ve molekül, optimum aktivite ve stabilite açısından nötr pH civarında dar bir skalaya bağımlıdır. Tüm pH değişimlerine karşı bakteriyel tolerans, iç pH'ın neredeyse sabit tutulmasına yardım eden özelleşmiş proton pompaları, enzimatik sistemler ve/veya tamponlama araçlarının etkinliği nedeniyle oluşabilir (115). Bu mekanizmalara ek olarak, büyüme sırasında oluşan bazı bakteriyel ürünler, bakterilerin çevresel pH'ı etkisizleştirmesine yardım edebilirler.

Çeşitli çalışmalar, Ca(OH)<sub>2</sub>'in dentin tübülleri içerisindeki *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *F. nucleatum* gibi türlere ait bakteriyel hücreleri yok etmedeki yetersizliğini bildirmektedirler (112, 117, 118). Dentin tübüllerine yerleşik bakterilere karşı etkili olabilmek için Ca(OH)<sub>2</sub> kaynaklı hidroksil iyonlarının yeterli konsantrasyonlarda dentine geçmesi gerekmektedir. pH'ın değişmeden kalması için ilave proton veren hidroksi apatitin hidrate tabakasındaki H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve HCO<sub>3</sub> gibi proton vericiler sayesinde dentinin tamponlama yeteneğine sahip olduğu bilinmektedir (114, 119).

Dentin tübüllerinde antibakteriyel etki oluşturmak için Ca(OH)<sub>2</sub>'in iyonik difüzyonu, bakterilerin yok edilmesi için gerekli pH seviyesine ulaşım dentinin tamponlama yeteneğini aşmalıdır. Kısa süreli Ca(OH)<sub>2</sub> uygulamasında muhtemelen sadece tübül ağızlarındaki bakteriler, ölümcül hidroksil seviyelerine maruz kalmaktadırlar. Kök kanal

duvarlarında kolonize olmuş bakteri hücrelerinin yerleşim düzeni,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in antibakteriyel etkilerini azaltabilir çünkü daha dışarıda yerleşmiş kolonilerdeki hücreler, tübüllerin daha derinlerinde yerleşik olanları koruyabilirler (112, 113).

Dallanmalar, istmuslar ve düzensizliklerdeki nekrotik dokuda kolonize olmuş bakteriler, pH nötralizasyonu oluşturabilecek  $\text{Ca(OH)}_2$  etkinliğine karşı muhtemelen korunmaktadırlar. Bundan dolayı kısa süreli  $\text{Ca(OH)}_2$  pansumanı esas olarak ana kök kanalı veya pulpa çevresinde bulunan bakteriler gibi materyalle doğrudan temas eden bakteriyel hücreleri ortadan kaldırmaktadır. Bu alanlar, kemomekanik işlemlerden de çoğunlukla etkilenirler.

$\text{Ca(OH)}_2$ ' in doymuş sulu süspansiyonu, yüksek sitotoksik potansiyele sahip bir pH ortaya çıkarır. Buna karşın bu malzeme kendi biyouyumluğunu düşük su çözünürlüğü ve dağılılabirliğine borçludur. Bu özelliklerden dolayı sitotoksisite  $\text{Ca(OH)}_2$  ile doğrudan temas eden doku bölgesiyle sınırlıdır. Diğer taraftan,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in düşük çözünürlüğü ve dağılılabirliği, dentin tübülleri ve anatomik varyasyonlar içerisine yerleşik bakterilerin ortadan kaldırılması için pH' da hızlı ve belirgin bir artış oluşturmayı zorlaştırır. Aynı şekilde, doku tamponlama yeteneği pH değişikliklerini kontrol eder. Bu nedenlerden dolayı,  $\text{Ca(OH)}_2$  yavaş biçimde çalışan bir antiseptiktir. Uzamış temas, dentin ve doku artıklarının doygunluğuna olanak verebilir.

Teorik olarak, uzun dönem  $\text{Ca(OH)}_2$  kullanımı bakterisiz bir kök kanal sistemi elde etmek için gerekli olabilir. Ancak çoğu durumda, bir kanal içi medikamanı uzun bir dönem için rutin olarak kullanmak modern endodonti uygulamaları açısından kabul edilebilir görünmemektedir. Kök kanal sistemini  $\text{Ca(OH)}_2$  ile en uygun biçimde dezenfekte etmek için gereken süre hâlen bilinmemektedir.

Kök kanal örnekleme tekniğini kullanılan çalışmalar, çelişkili sonuçlar sunmaktadırlar. 1 haftalık  $\text{Ca(OH)}_2$  uygulamasında, Sundqvist ve arkadaşları, vakaların tamamında bakterileri yok ettiğini (3) bildiriyorken Orstavik ve arkadaşları, kök kanallarının %34.8' inde dirençli bakteriler bulmuşlardır (118). Bu nedenle, kök kanallarından enterokokların sıklıkla izole edilmesi, kalsiyum hidoksitin kanal içi medikamanı olarak rutin kullanımının sorgulanmasına neden olmaktadır (120).



Bakterilerin kanal içi medikaman uygulaması sonrası hayatta kalabilmesinin birçok nedeni olabilir. İlk olarak; kök kanal enfeksiyonunda mevcut olan bakteri suşları, kendiliğinden medikamana dirençli olabilirler. İkinci olarak; bakteriyel hücreler, medikamanın erişemeyeceği farklı anatomik yapıların içerisinde olabilirler. Üçüncü olarak; medikamanın doku bileşenleri, bakteriyel hücreler veya ürünleri tarafından etkisizleştirilerek antibakteriyel etkileri kaybolmaktadır. Dördüncü neden; medikamanlar, kök kanal sisteminde bakteriyel hücrelere ulaşım onları yok etmek için yeterli zamana sahip olmayabilirler. Son olarak da; bakteriler, çevresel durumlarındaki değişimler sonrası gen ekspresyon biçimlerini değiştirebilirler. Bu değişim, elverişsiz ortamlarda bakterilerin hayatta kalmalarını sağlayabilir.

#### **2.2.4.1. Antimikrobiyal aktivite üzerinde taşıyıcının etkisi**

Ca(OH)<sub>2</sub> için taşıyıcı olarak kullanılan distile su, salin solüsyonu, gliserin, kâfurlu paramonoklorofenol, metakresilasetat gibi birçok materyal vardır. Ancak bazı araştırmacılar, Ca(OH)<sub>2</sub>' in içine doku iritasyonuna neden olduğu gösterilen antimikrobiyal ajanlar ilave etmenin gerekmediğini düşünmektedirler (121, 122).

#### **2.2.4.2. Fiziksel bariyer**

Kanal içi medikamanlar; kök kanalında kemomekanik preparasyonundan etkilenmeden kalan canlı bakterilerin ortadan kaldırılmasına ek olarak, fizikokimyasal bariyer olarak artı kalan mikroorganizmaların çoğalmasını engellemede ve ağız boşluğundan gelen bakterilerin kök kanalında yeniden enfeksiyon oluşturmalarını önlemede görev yapabilirler (123).

Kanal içi medikamanları, tükürükteki bakterilerin kök kanalına girişini temel olarak iki yolla engelleyebilirler. Bunlardan birincisi; antibakteriyel özellikler sergileyen medikamanlar, sızıntıya karşı bakterileri öldüren ve kök kanalının içine girişini engelleyen kimyasal bir bariyer olarak görev yapabilirler. Bakteriyel hücrelerinin sayısı medikamanın antibakteriyel aktivitesini aşarsa, kök kanal sistemi tekrar kontamine olabilir. İlave olarak; tükürük medikamanı seyreltebilir ve etkisizleştirebilir. İkinci yol

ise; kök kanalını tüm uzunluğu boyunca dolduran medikamanlar bakteriyel sızıntıya karşı fiziksel bir bariyer olarak rol oynarlar.

Kök kanal sisteminin tekrar kontamine olması şu faktörlere bağlı olabilir; medikaman ve kök kanal duvarlarının arasındaki yüzeye tükürüğün sızması, medikamanın tükürük tarafından çözündürülmesi ve medikamanının tükürüğe geçirgenliği. Ancak bu mekanizmalarda, eğer medikamanın antibakteriyel etkileri de varsa, etkisizleştirme bakteriyel işgalden önce meydana gelmelidir.

Ca(OH)<sub>2</sub>' li patların doldurma yeteneği, kök kanalının yeniden kontaminasyonunu yavaşlatması açısından kimyasal etkisine kıyasla daha önemlidir. Çünkü Ca(OH)<sub>2</sub>' in; düşük su çözünürlüğü vardır, tükürükte yavaş biçimde çözünür, kanalda çok uzun bir süre kalır ve apikal foramene doğru bakteriyel ilerlemeyi geciktirir. Kullanılan taşıyıcıya rağmen, Ca(OH)<sub>2</sub> etkili bir fiziksel bariyer olarak da rol aldığı görülmektedir. Fiziksel bariyer olarak davranan medikamanlar, gelişim için alt yapıyı kısıtlayarak ve çoğalma için boşluğu sınırlandırarak arta kalan mikroorganizmaları öldürebilirler (124). Ca(OH)<sub>2</sub>' in sahip olduğu sınırlı antibakteriyel spektrum, endodontik floranın tüm üyelerine etki etmez. İlave olarak, bu maddenin fizikokimyasal özellikleri, kısa süreli kullanım sonrası tüm kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunda kendi etkinlerini sınırlandırabilirler.

### **2.2.4.3. Anti endotoksin etki**

Gram negatif bakterilerin hücre duvarında bulunan endotoksin, diğer bir ifadeyle lipopolisakkarit (LPS); polisakkarit, lipid ve proteinden oluşur (125). Endotoksinler; bakteri tarafından salgılanmazlar, ama bakteri parçalanırsa ortama salınan yapısal bir bileşenidirler. Potansiyel olarak toksik olabilecek bileşiklerdir. Endotoksinler doğrudan hücre veya doku hasarı yapmazlar. Ancak bakteriyel ölüm veya çoğalma sırasında salınan endotoksinler, enflamatuvar reaksiyonlara ve mineralize dokularda rezorpsiyona yol açan bir takım biyolojik etkilere neden olurlar. Makrofajları, nötrofilleri ve fibroblastları etkileyip tümör nekroz faktörü (TNF), interlökin-1 (IL-1), IL-5, IL-8, alfa interferon ve prostoglandin gibi inflamatuvar mediyatörlerin salınımına yol açarlar.

Endotoksinin periapikal lezyonlardaki rolü periapikal bölgedeki kemik yıkımıyla sonuçlanabilir.(126). Nelson-Filho ve arkadaşları, bakteriyel endotoksinlerin radyolojik olarak görülebilen periapikal lezyonlara neden olduğunu ama Ca(OH)<sub>2</sub> ile temas ettiğinde bu endotoksinlerin detoksifiye olduğunu bildirmişlerdir (127).

Katebzadeh ve arkadaşları, Ca(OH)<sub>2</sub> uygulamasının apikal bölgede enflamasyonu azalttığını ifade etmektedirler. Periapikal lezyon varlığında farklı tedavi seçeneklerinin uygulanmasını ve kemik kaybı görülen enfekte kök kanallarının dolundan önce Ca(OH)<sub>2</sub> ile dezenfeksiyonunu önermişlerdir. Çünkü antibakteriyel etkinin yanında endotoksin inaktivasyonu da endodontik başarı için gereklidir (128). Buna ek olarak, Leonardo ve arkadaşları kök kanal pansumanının yokluğunda periapikal tamir sürecinin bozulduğunu ve apikal kök darlığının sağlanamadığını rapor etmişlerdir (129).

Safavi ve arkadaşları, Ca(OH)<sub>2</sub>' in bakteriyel LPS' in lipit parçalarını hidrolize ederek hidroksil yağ asitlerinin salınmasına yol açtığını ve endotoksinin oluşturduğu yıkımın nedeninin Lipid A molekülü olduğunu gözlemlemişlerdir. Ca(OH)<sub>2</sub>' in Lipid A molekülünü yağ asitlerine ve amino grubu şekerlere çevirmesinin, endodonti pratiğinde Ca(OH)<sub>2</sub> kullanımından sağlanan olumlu etkinin önemli nedenlerinden biri olabileceğini iddia etmişlerdir (130).

Jiang ve arkadaşları, endotoksinlerin uyardığı doza bağımlı osteoklast benzeri hücre oluşumunun Ca(OH)<sub>2</sub> varlığında belirgin biçimde azaldığını bildirmişlerdir. Endotoksinlerin, Ca(OH)<sub>2</sub> aracılığıyla detoksifikasyonun, osteoklast benzeri hücrelerin farklılaşmasının tetiklenmesini azalttığı bu çalışmayla gösterilmiştir (51).

#### **2.2.4.4. Anti fungal etki**

Mantarlar; endodontik enfeksiyonlarda yer alabilen ve böylelikle periradiküler hastalıkların etiolojisinde görev alabilen kimoorganotrof ökaryotik mikroorganizmalardır. Çok değişik çevresel koşullara uyum gösterebilme, çeşitli yüzeylere tutunma, hidrolitik enzimler üretme, morfolojik dönüşüm, biyofilm oluşturma, konak savunmasını atlatma ve bağışıklığı yatıştırma gibi virulans özellikler gösterirler.

Mantarlar, bazen birincil kök kanal enfeksiyonlarda bulunmaktadırlar ama endodontik tedavinin başarısız olduğu dişlerin kanallarında daha sık görülmektedirler. *Candida albicans* enfekte kök kanallarında en sık rastlanan mantar türüdür ve dentine istilacı eğiliminden dolayı dentinofilik bir mikroorganizma olarak kabul edilir (131). Ancak yapılan in vitro çalışmalarda, Ca(OH)<sub>2</sub>' in *Candida albicans*' a karşı yeterince etkili olmadığı hatta diğer *Candida* türlerinin de ona direnç gösterdiği bildirilmiştir.

Dentin tübüllerini istila etmesi ve çok sık kullanılan Ca(OH)<sub>2</sub> gibi kanal içi medikamanlara direnç göstermesinin, dirençli apikal periodontitis vakalarında neden sıklıkla mantar izole edildiğinin açıklaması olabileceği düşünülmektedir (132). Bunlara ilaveten, *Candida albicans*' ın geniş pH aralığında hayatta kalabilmesi ve Ca(OH)<sub>2</sub>' in sağladığı kalsiyum iyonlarının mantarların çoğalmasını desteklemesi de Ca(OH)<sub>2</sub>' in etkisiz kalmasında rol oynayabilir (131). Ferguson ve arkadaşları, aköz Ca(OH)<sub>2</sub>' in *Candida albicans*' a karşı etki göstermediğini ancak Ca(OH)<sub>2</sub>' in kâfurlu para monoklorofenolle karışımının *Candida albicans*' la doğrudan temasında güçlü antifungal etki sağladığını rapor etmişlerdir (133).

#### **2.2.4.5. Biyofilmlere karşı etki**

Biyofilm, hücrelerin birbirine ve/veya buldukları yüzeye yapıştıkları bir mikroorganizma kümesidir. Birbirine bağlı bu hücreler, genellikle kendilerince üretilen hücre dışı polimerik bir maddenin içine gömülüdürler. Oral floradaki planktonik mikroorganizmalar, biyofilm organizasyonunda kaynak görevi görürler. Şen ve arkadaşları, endodontik tedavi uygulanmadan çekilen apikal periodontitisli dişlerin dentin tübüllerinde 10-150 µm mesafeye kadar bakteri penetrasyon olduğunu gözlemlemişlerdir. (134).

Kök kanal sisteminin anatomik olarak karmaşıklığı ve ulaşılamayan alanlardaki biyofilm varlığı, modern aletlerle ve tek başına irrigasyonla tek seansta yapılan tedavinin başarısını düşürmektedir. Tek seansta doldurulan kök kanalları üzerine yapılan in vitro bir çalışmada, kanalların % 90' ında biyofilm oluşumu gözlenmiştir (135). Bu durum, antibiyotik kullanmadan enfekte dişlere kanal tedavisi yaparken,

mekanokimyasal yöntemlerle biyofilmin kaldırılmasının ve kök içi mikrobiyal yükün mümkün olan en düşük seviyeye indirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Mikroorganizmaların ağız ortamında hayatta kalma şansı dental plak oluşumu ile artar. Direnç; sadece bakterinin bağlanma ve büyüme kapasitesine olduğu kadar çeşitli mikrobik etkileşimlere ve oksijen, pH ve karbonhidrat konsantrasyonundaki geniş dalgalanmalara dayanmasına da bağlıdır. Bu faktörlerden dolayı biyofilmdeki bakteriler, kanal pansumanları ve irrigasyonlar tarafından zorlukla yok edilirler. Örneğin, kök kanalında Ca(OH)<sub>2</sub> emdirilmiş paper pointlerin pansuman olarak kullanılmasına rağmen *E.faecalis*' in biyofilm oluşturduğu gözlenmiştir (136). Diğer taraftan Chai ve arkadaşları, Ca(OH)<sub>2</sub>' in *E.faecalis*' in oluşturduğu biyofilmin % 100' ünü yok ettiğini rapor etmektedirler (137).

Ca(OH)<sub>2</sub>' in biyofilmler üzerine etkisi hakkında yapılan çalışmalarda birbirinden farklı sonuçlar elde edilmektedir. Sık rastlanılan endodontik patojenlerin büyük çoğunluğuna karşı etkili olan Ca(OH)<sub>2</sub>' in, *Enterococcus faecalis* ve *Candida albicans*' a karşı daha az etkili olduğu ve mikrobiyal biyofilmlere karşı etkisinin tartışmalı olduğu iddia edilmektedir (138). Buna ilaveten, biyofilmi oluşturan mikroorganizmaların planktonik formlara göre 2-1000 kat daha dirençli olduğu da bildirilmektedir (139).

## **2.2.5. Kimyasal etkileşimler**

### **2.2.5.1. Dentinin kalsiyum hidroksit üzerine tamponlama etkisi**

Dentinin alkalilere karşı gösterdiği tamponlama yeteneği, kök kanalı içine yerleştirilen Ca(OH)<sub>2</sub>' in antibakteriyel aktivitesini azaltmaktadır (119). Haapasalo ve arkadaşları, dentinin; iyodin potasyum iyodit, klorheksidin, NaOCl ve Ca(OH)<sub>2</sub>' in üzerindeki etkisini araştırmak için dentin tozunu kullandıkları in vitro çalışmanın sonunda, dentin tozunun tüm medikamanlar ve irriganların üzerinde yavaşlatıcı etki yaptığını bulmuşlardır. Özellikle dentin tozu varlığında, Ca(OH)<sub>2</sub>' in *E.faecalis* üzerindeki etkisinin tamamen ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Bu etkinin; medikaman konsantrasyonunun yanında dentin tozuyla temas süresinin uzunluğuna da bağlı olduğu

sonucuna ulaşmışlardır. Dentin tozunun yanı sıra nekrotik pulpa ve enflamataur eksudanın da benzer etkiler gösterebilecekleri bildirilmiştir (140).

Porteiner ve arkadaşları,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in antibakteriyel özelliği üzerinde yaptıkları bir çalışmada, hidroksiapatitin dentine benzer etki gösterdiğini belirtmişlerdir.  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in dentin tozu, hidroksiapatit ve sığır serum albumini varlığında tamamen etkisizleştiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda değişik konsantrasyonlardaki doymuş  $\text{Ca(OH)}_2$  çözeltisinin bile etkileri dentin tarafından ortadan kaldırıldığı ve dentinin organik ve inorganik bileşenlerinin  $\text{Ca(OH)}_2$ ' e farklı etkilerinin olabileceği iddia edilmiştir (141).

### **2.2.5.2. Kalsiyum hidroksitin dentin üzerine etkisi**

$\text{Ca(OH)}_2$  ile pansuman yapılan ve guta perkayla doldurulan immatür dişlerin zayıfladığı ileri sürülmektedir (142). Andreasen ve arkadaşları,  $\text{Ca(OH)}_2$  ile bir yıllık dönemde temas eden dişlerin kırılma kuvvetlerinin yarı yarıya azaldığını ve uzun dönemler boyunca  $\text{Ca(OH)}_2$  ile doldurulan immatür dişlerde sıklıkla kırık rapor edilmesinin nedeninin bu olabileceğini iddia etmektedirler (143). Aynı araştırmacıların bu sefer kalıcı dişler üzerinde yaptığı diğer bir çalışmada  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in, 1 yıl içinde dentinin kırılma direncini %50 oranında azalttığı bildirilmiştir (144).

Kawamoto ve arkadaşları,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' e maruz kalan dentinin elastisite modülünün belirgin biçimde arttığını rapor etmişlerdir (145). Dentinin esnekliğini etkileyen hidroksiapatit ve kollojen ağ arasındaki bağlantının etkilenip kırılmaya yatkın hale geldiği düşünülebilir. Doyon ve diğerleri ise,  $\text{Ca(OH)}_2$  ile 180 gün temas eden diş kök dentinlerinin kırılma direncini belirgin oranda azaldığını bildirmişlerdir (71).

### **2.3. Kalsiyum Hidroksit Taşıyıcıları**

$\text{Ca(OH)}_2$ ' in tüm biyolojik etkilerinin, kalsiyum ve hidroksil iyonlarının iyonik çözülmesine bağlı olduğu bildirilmektedir.  $\text{Ca(OH)}_2$  taşıyıcıları medikamanın periapikal dokular ve kök kanalı içerisinde çeşitli oranlarda çözünmesine ve rezorbe olmasına yol

açan iyonik çözülmenin hızını belirleyerek işlemin bütünü üzerinde çok önemli bir rol oynamaktadırlar (146).

Bazı in vitro çalışmalar, medikamanın kontamine bir alana uygulandığı durumlarda taşıyıcı tipinin, antibakteriyel etkiyle olduğu kadar iyonik serbest kalmayla da doğrudan bir ilişkisi olduğunu göstermektedirler (147). İyonik çözülme hızındaki farklılıklar medikamanı elde etmek için kullanılan taşıyıcıyla doğrudan bağlantılıdır. Buna ek olarak, viskozitenin; bir akışkanın iç sürtünmesinin bir ölçüsü olduğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla, eğer bir çözelti kolayca akarsa düşük bir viskozitesi vardır ve parçacıklar arasındaki etkileşimler çok küçüktür. Medikaman kimyasal olarak kolloid kabul edildiğinden bu durum; sıvı taşıyıcının medikamanın iyonik dağılımını kolaylaştırabilir veya engelleyebilir çünkü daha düşük viskozitede daha yüksek iyonik çözülme olacaktır.

Genel olarak, endodontik uygulamalarda aköz, visköz veya yağlı olarak üç tip taşıyıcı kullanılmaktadır.  $\text{Ca(OH)}_2$  bu maddelerden biriyle karıştırıldığı zaman, kalsiyum ve hidroksil iyonları hızlı biçimde salınırlar. Bu tip taşıyıcılar, doku ve doku sıvılarıyla doğrudan temas ön planda olduğu zaman, medikamanın makrofajlar tarafından hızlıca çözülmesini ve rezorbe edilmesini teşvik ederler. Kök kanalı, iyileşme sürecinin gecikmesine neden olacak biçimde, kısa bir sürede boş hâle gelebilir. Klinik bakış açısıyla, bu istenen etki elde edilinceye kadar kök kanalına tekrar pansuman yapılması, dolayısıyla seans sayılarının artması gerektiği anlamına gelir (146).

Bazı visköz araçlar da uzun süreler için iyon salınımı yapan suda çözünebilir materyallerdir. Gliserin, polietilen glikol ve propilen glikol visköz araçlara örnek olarak verilebilirler. Aköz araçlarla kıyaslandığında, muhtemelen medikamanın yüksek moleküler ağırlığı daha düşük çözünebilirliği teşvik eder. Visköz taşıyıcıların yüksek moleküler ağırlığı; kalsiyum iyonunun dokulara dağılımını en aza indirir ve daha uzun süreler istenilen alanda medikamanı muhafaza eder. Bu etken, medikamanın işlevini uzatır ve iyonların daha düşük bir hızda dışarı salınımına yol açar. Aynı mekanizma yoluyla, medikamanlar uzatılmış süreler için canlı dokularla doğrudan temas içinde kalır. Medikaman içeren visköz bir aracın 2±4 aylık bir süre boyunca kök kanalı içerisinde kalması için kök kanalının pansuman tekrarı sayısı azaltılır.

Yağlı araçlar, dokular içerisinde en düşük çözünürlüğü ve difüzyonu teşvik ederek suda çözünemeyen materyallerdir. Bu tür taşıyıcıları içeren medikamanlar, kök kanalı içerisinde aköz ve visköz araç içeren medikamanlara göre daha uzun kalırlar. Yağlı araçlara örnek olarak zeytinyağı, silikon yağı, kâfur (kâfurlu paraklorofenolün esansiyel yağı), bazı yağlı asitler (metakresilasetat ve oleik, linoleik ve izostearik asitler) verilebilir (148).

Tercih edilen taşıyıcının türü; kök kanal medikamanının çözünme hızını olduğu kadar kalsiyum ve hidroksil iyonlarının dağılımını da belirler. Diş replantasyonu vakalarında görülen replasman rezorpsiyonundan kaçınmak için gerekli olan hızlı iyonik salınım ve pH döngüsü için tedavi uygulanır uygulanmaz aköz araçlı bir medikaman kullanıma sokulmalıdır. Ancak sonrasında, visköz araçlı bir  $\text{Ca(OH)}_2$  medikamanı periyodik pansumanlarla uygulanmalıdır çünkü medikaman, kök kanalında uzunca bir süre kalmalıdır. Bu süre boyunca pH bölgede sağlanacaktır ve yavaş bir iyonik salınım meydana gelecektir. Medikamandaki  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in alkalın özellikleri uzun bir dönemden sonra tükenecektir.

Özetlemek gerekirse, tedavinin başında hızlı bir iyonik serbestleşme gerektiren klinik durumlar aköz taşıyıcı içeren  $\text{Ca(OH)}_2$  gerektirirken, kademeli ve düzenli iyonik serbestleşme gerektiren klinik durumlarda visköz taşıyıcı içeren medikamanlar kullanılmalıdır. Yağlı araç içeren medikamanların sınırlı kullanım alanı vardır ve sadece çok yavaş iyonik dağılım gerektiren bazı klinik durumlarda kullanılırlar. Bundan dolayı,  $\text{Ca(OH)}_2$  ile kullanılan araç, medikamanların önemli bir bileşenini temsil etmektedir ve bu nedenle medikamanların sınıflaması araç tipine göre yapılmaktadır.

Kanal içi medikamanı olarak kullanılan  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in ideal toz-sıvı oranı ve gerekli sıvı türü konusunda farklı görüşler bulunmaktadır. Saf su, serum fizyolojik, lokal anestezi solüsyon, polietilen glikol, propilen glikol, gliserin, zeytinyağı, iyodoform ve trikrezol formaldehit gibi sıvılar, antibakteriyel etki için  $\text{Ca(OH)}_2$  tozuna ilave edilebilirler. Medikamanın radyoopasitesini geliştirmek için bazı araştırmacılar, toza baryum sülfat eklemeyi önermektedirler (149).



Endodontide kullanılan medikamanları oluşturmak için  $\text{Ca(OH)}_2$  ile karıştırılan araçlar, birleşimin fiziksel ve kimyasal özelliklerini ve dolayısıyla klinik uygulamalarını etkilerler. Genel olarak, visköz ve yağlı taşıyıcılar suda çözülen maddelere kıyasla  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in etkinliğini uzatır.

### **2.3.1. Aköz taşıyıcılar**

Su, salin, vazokonstriktörlü ya da vazokonstriktörsüz dental anestetikler, Ringer' s çözeltisi, metil selüloz, karboksimetil selülozün aköz süspansiyonları ve anyonik deterjanlar bu grupta yer alan solüsyonlardır. Aköz taşıyıcılar endodontik amaçlı olarak; pulpa kaplamasında (103), apeksifikasyonda (104), kanal içi medikament olarak (105), kronik periapikal lezyon (106) ve kök rezorpsiyonu varlığında (107) kullanılmaktadırlar.

Suda çözünen bu taşıyıcılar,  $\text{Ca(OH)}_2$  ile karıştırıldığında iyonlaşmaları çok hızlı olurlar. Bu taşıyıcılar; dokularla veya doku sıvılarıyla temas ettiğinde hemen çözünürler ve makrofajlar tarafından rezorbe edilirler ve sonuç olarak kök kanalı kısa bir süre içinde boşalarak, iyileşme sürecini olumsuz etkileyebilirler.

$\text{Ca(OH)}_2$  medikamanı hazırlamanın en kolay yolu, suyla tozu karıştırmaktır. Ancak endodontik literatür; medikamanı hazırlamak için steril su, distile su, steril distile su, iki kere distile edilmiş su ve iki kere distile edilmiş steril su gibi farklı tipte bir çok suyu tarif eder. Genellikle medikaman; steril bir cam yüzeyde steril bir spatülle hazırlanır. Toz likitle istenen kıvam elde edilinceye kadar karıştırılır ve kök kanalına uygun herhangi bir metodla taşınır.

Kullanıma hazır olarak satılan ticari ürünler de piyasada bulunmaktadır. Calasept (Nordiska Dental, Angelholm, İsveç), Calxyl (Otto&Co Frankfurt, Almanya), Pulpdent ve Tempcanal (Pulpdent Corp, Brooklyn, ABD), Calvital (Neodental Chemical Products Co, Tokyo, Japonya) ve Hypocal (Ellinan Co, Hewlatt, ABD) bunlardan bazılarıdır.

## 2.3.2. Visköz taşıyıcılar

Visköz taşıyıcıların bir kısmı suda çözünme özelliğine sahiptir. Yüksek molekül ağırlıkları sayesinde,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' in dokuyla temasında iyonizasyon daha uzun sürede ve daha düşük hızda olur. Kök kanalında 2-4 ay kadar kalabilmeleri sayesinde bazı endodontik tedavi türlerinde seans sayısını ve pansuman değiştirme sıklığını azaltabilirler.

### 2.3.2.1. Gliserin

Gliserin; visköz, renksiz, şeffaf, tatlı, nem çeken ve kendine has bir kokusu olan bir sıvıdır. Su, aseton, alkol ve diğer glikollerle herhangi bir oranda karıştırılabilir ama eter, kloroform, benzen ve uçucu yağlarda erimez. Molekül ağırlığı 92.02' dir. Nem alıcı özelliğinden dolayı nemlendirici madde olarak kullanışlıdır ve suda eriyebildiği için kolaylıkla kaldırılır. Dahası, toksik değildir ve kanal içi kaydırıcı olarak kullanılır (150). Gliserinin antibakteriyel etkinliği tek başına kullanıldığında yoktur (26).

Formülünde gliserin olan ilk  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  medikamanını, Steiner ve arkadaşları immatür cansız dişlerin kök uçlarının kapanmasında kullanmışlardır (151). Araştırmacılar, radyoopasiteyi arttırmak için iodoform, çinko oksit veya baryum sulfatın 1:8 oranında  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  tozuna karıştırılmasını önermektedirler (152, 153).  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  salınımı amacıyla gliserinin suyla karşılaştırıldığı in vitro bir çalışmada, gliserinin kök kanalını tamamen doldurma ve yoğunluk açısından üstün olduğu belirtilmektedir (154).

Steril suyla gliserinin kullanıldığı başka bir çalışmada ise;  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile pansuman yapılan dişlerde apikal sızdırmazlık değerlendirildiğinde, steril su kullanılan grubun istatistiksel olarak daha az sızdırmazlık gösterdiği görülmüştür (155). Ekstraoral fistüllü kronik abselerin tedavisinde gliserinin taşıyıcı olarak kullanıldığı  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' in, lezyonların tedavisini hızlı ve başarılı şekilde desteklediği bildirilmiştir (152, 156). Diğer taraftan, apikal periodontitisli vakaların 2-5 yıllık takiplerini içeren bir çalışmada, lezyonlara gliserinli  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  taşınmasının iyileşmeye olumlu veya olumsuz etkisinin olmadığı görülmüştür (153).

### **2.3.2.2. Polietilen glikol**

Polietilen glikol; visköz, renksiz, kendine has kokusu olan ve çok az nem çeken bir sıvıdır. Herhangi bir oranda su, aseton, alkol ve diğer glikollerle karışabilir ama eter ve benzen içinde eriyemez. Polietilen glikolün pH' ı 4.5-7.5 arasındadır.

### **2.3.2.3. Propilen glikol**

Propilen glikol; açık, renksiz, kokusuz ve gliserine benzeyen hafif karakteristik bir tadı olan bir sıvıdır. Kimyasal olarak, şurupsu kıvamlı dihidrik bir alkoldür. Doğası gereği nem çeker ve herhangi bir oranda su, aseton ve alkolle karışabilir. Molekül ağırlığı 76.09' dur. Nem çekme özelliğinden dolayı uzun süreler boyunca  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in sürdürülebilir salınımını garantiye alıp su emilimine izin verir. Kıvamı sayesinde de kanal içine  $\text{Ca(OH)}_2$  uygulanmasını kolaylaştırır.

Hazır olarak satılan Calen (Artigos DentaÂrios, Rio de Janeiro, Brezilya) SurePaste (Suredent Corporation, Gyeonggi-do, Kore) ve Ultracal (Ultracal; Ultradent products, Jordan, ABD) ticari olarak piyasada bulunan markalardan bazılarıdır.

### **2.3.3. Yağlı taşıyıcılar**

Suda çözünmeyen bu taşıyıcıların; dokulardaki çözünürlüğü ve difüzyon yetenekleri daha düşüktür. Bu sayede, diğerlerine göre kök kanalında daha uzun süre kalabilirler. Endodonti pratiğinde; pulpa kaplamalarında, kök rezorpsiyonlarında ve apeksifikasyonda kullanılmaktadırlar (157).

Ticari markaların; Endoapex (Lab. Inodon Ltda, Porto Alegre, Brezilya), L & C (Herpo Produtos DentArios Ltda, Rio de Janeiro, Brezilya), Metapex (Meta Biomed, Horsham, ABD) ve Vitapex (Neo Dental Chemical Products Co. Ltd, Tokyo, Japonya) gibi yağlı taşıyıcı tipte ürünleri bulunmaktadır.

### 2.3.3.1. Zeytinyağı

Saflaştırılmış zeytinyağı; hafif yeşil renkte kendine has kokusu olan, suda erimeyen ama tamamen alkolde eriyebilen bir sıvıdır. Kimyasal olarak oleik, palmitoleik, estearik ve linolenik asitler gibi yağ asitlerin esterlerinin birleşimidir.  $\text{Ca(OH)}_2$  için düşük çözünürlüğü destekler, ve fiziksel özelliklerini iyileştirir. Düşük çözünürlüğü nedeniyle, zeytinyağı içeren medikaman doku içine doğru düşük bir difüzyona sahiptir (146).

### 2.3.3.2. Kâfurlu paraklorofenol

Walkhoff tarafından 1891 yılında tanıtılmıştır. %  $33\pm 37$ ' ü paraklorofenolden ve %  $63\pm 67$ ' si kâfurdan oluşur. Paraklorofenolün molekül ağırlığı 128.56' dır ve kristal formda bulunur. Karakteristik olarak fenolik bir kokusu ve keskin bir tadı vardır. Kâfurun molekül ağırlığıysa 152.54' tür ve *Cinnamomum camphora*' dan elde edilir. Suda çözünürlüğü düşüktür.

Dezenfektan özelliğini fenol varlığındaki klorin serbestleşmesiyle kazanır.  $\text{Ca(OH)}_2$  medikamanının taşıyıcısı olarak kâfurlu paraklorofenol kullanıldığında yağlı bir karışım ortaya çıkar çünkü kâfur; su içinde çözünürlüğü düşük olan bir uçucu yağ olarak kabul edilir (146).

### 2.3.3.3. Metakresil asetat

Dişhekimliğinde ilk olarak Coolidge tarafından, 1912 yılında nekrotik pulpaların tedavisinde kullanılmıştır. Kimyasal olarak metakresil asetat; benzenle birleşim halindeki metakresolün asetik esteridir. Antibakteriyel, analjezik ve sedatif özellikleri olan yağlı bir sıvıdır (146). Düşük enflamatuar etkisinin yanında kâfurlu paraklorofenole kıyasla daha düşük sitotoksik potansiyeli de gösterilmiştir (158).

Metakresil asetat;  $\text{Ca(OH)}_2$  ile karıştırıldığında kalsiyum kresilat ve asetik asit açığa çıkaran bir kimyasal reaksiyon oluşur. Asetik asit, iyonik ayrışmaya uğrar ve hidrojen iyonlarını vererek pH' ın azalmasına neden olur.

### 2.3.3.4. Öjenol

Öjenol; çoğunlukla karanfil yağından elde edilir. Molekül ağırlığı 164.20' dir.

### 2.3.4. Kalsiyum hidroksitle karıştırılan diğer maddeler

Shokraneh ve arkadaşları, gut ve FMF tedavisinde kullanılan bir tür ilaç olan kolşisini  $\text{Ca(OH)}_2$  ile karıştırıp *E. Faecalis* üzerindeki etkisini derin dentin tabakalarında incelediklerinde; enfekte kök kanallarında sık kullanılan dezenfektanlar kadar etkili olduğunu bulmuşlardır (159).

Pissiotis ve Spangberg ise kollajen jelle  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in bir karışımını önermişlerdir (160). Multical (Pulpdent, Watertown, ABD) ticari adıyla piyasada bulunan medikamanın içinde % 34  $\text{Ca(OH)}_2$ , % 15 baryum sülfat ve % 51 kloro-timonol olduğu bildirilmektedir (161).

#### 2.3.4.1. Radyografik kontrast madde

Herhangi bir araçla karıştırılan  $\text{Ca(OH)}_2$ , radyopaklıktan yoksun olduğu için medikaman karışımlarına radyopak maddeler eklenmektedir. Bu sayede; lateral ve aksesuar kanallar, rezorpsiyon defektleri, kırıklar ve diğer yapılar kolaylıkla teşhis edilebilmektedirler (162). Radyopaklık için, bu maddelerin atomik ağırlığı kalsiyumdan fazla olmalıdır. Baryum sülfat ve bizmut, iyodin ve bromin içeren diğer bileşimler bu amaçla kullanılırlar. Bizmut ve baryum tuzlarının toksik olması daha çözünür radyopak maddeleri gündeme getirmiştir.

Çözünebilir organik iyodin maddesi, çözünmeyen iyodin yağları ve yavaş emilen iyodin yağları, hem taşıyıcı hem de radyopaklık amacıyla  $\text{Ca(OH)}_2$  le karıştırılmıştır (163). Diatrizoat, % 66' lık diatrizoat meglumin ve % 10' luk sodyum diatrizoatın aköz çözeltilerini içeren iyodin birleşimi, apeksifikasyon amacıyla kullanılmış ve radyografik açıdan görünürlüğü incelenmiştir (164).

Suda çözünebilen bir iyodin birleşimi olan iyotalamat,  $\text{Ca(OH)}_2$  ile beraber denendiğinde; diatrizoat ve  $\text{Ca(OH)}_2$  karışımıyla benzer sonuçlar elde edildiği için baryum sülfata alternatif olabileceği belirtilmiştir (162).

#### **2.3.4.2. Kortikosteroid-antibiyotik çözeltileri**

Enflamasyonu azaltma ve hasarlı pulpa dokusunun canlılığını ve bütünlüğünü sağlamada, kortikosteroid kullanımı yerleşik bir işlemdir (165).  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in daha iyi klinik sonuçlar sunabileceği kanıtlandığı için kortikosteroid ile beraber direkt pulpa kaplaması ve pulpatomi işlemleri gibi canlı pulpa tedavilerinde denenmiştir (166).

Bir antibiyotik olan polimiksin-B sülfat ile birer kortikosteroid olan neomisin ve hidrokortizon çözeltilerinin birleşimi olan otosporin, aköz bir taşıyıcıdır. Canlı pulpektomi işleminde, seanslar arası pansuman olarak pulpa kökünün bütünlüğünü sağlamak için köpeklerde denenmiştir (27). Pulpektomi sonrası postoperatif ağrı ile ilgili olarak insanlar üzerindeki denemelerde, otosporin çözeltisinden olumlu sonuçlar elde edilmiştir (146).

Ledermix; antiinflamatuar ve antibiyotikten oluşan bir birleşimdir. İçeriğinde triamkinolon asetonit ve demetilklorotetrasiklin bulunmaktadır. Ledermix ile  $\text{Ca(OH)}_2$  karışımı endodonti pratiğinde kullanılan popüler bir formüldür (146). İyonik difüzyon açısından (167), direkt pulpa kaplaması, rutin kanal pansumanı, apeksifikasyon işlemlerinde (168) ve geniş periapikal lezyonların tedavisinde (169) bu karışım araştırılmıştır. Ledermix' in Calnex (Associated Dental Products Ltd, Londra, İngiltere) ile karışımı pulpatomi sonrası uzun dönem prognozu açısından insanlar üzerinde denenmiştir (170).

#### **2.3.4.3. Antibiyotikler**

Quillin ve arkadaşları,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' e metronidazol ve klorheksidin ekleyerek oluşturdukları karışımın antibakteriyel etkinliğini değerlendirmişlerdir (171). Başka bir çalışmada,  $\text{Ca(OH)}_2$ , metronidazol, polietilenglikol ve siprofloksasinden hazırlanan bir karışım da araştırılmıştır (172).

## 2.4. Kalsiyum Hidroksitin Kök Kanalından Uzaklaştırılması

Endodonti pratiğinde sıklıkla kullanılan kalsiyum hidroksit uzaklaştırma teknikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Kanal içi pansuman materyali olarak kullanılan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’ in artıklarının, rezin esaslı patların kök kanal duvarlarına adezyonunu ve bağlanma gücünü etkilediği bildirilmektedir (173). Seans arası kanal medikamanı olarak uygulanan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’ in, özenli biçimde kaldırılmaya çalışıldıktan sonra bile sıklıkla endodontik boşlukta sıkışmış olarak kaldığı ve silikon esaslı bir kanal patının apikal sızdırmazlık kalitesini etkilediği gösterilmiştir (174).

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’ in çinko oksit öjenol siman ve çinko oksit öjenol esaslı patlara etkisini araştıran in vitro bir çalışmada, öjenolle etkileşime girerek çinko oksit öjenolün şelat oluşumunu engellediği rapor edilmiştir. Kalsiyum hidroksitin temas ettiği çinko oksit öjenol esaslı patın ve simanın, kırılma kıvamında ve granüllü yapıda olduğu görülmüştür. İlâveten, sadece NaOCl, NaOCl ve eğeleme, NaOCl sonrasında etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) ve eğeleme metodlarından hiçbirinin kalsiyum hidroksiti tamamen kaldıramadığı gözlenmiştir. Sadece EDTA uygulamasının, kalıntı boyutunu belirgin biçimde azalttığı da belirtilmiştir (175).

Kalsiyum hidroksit pansumanı sonrası kanal patlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu araştıran başka bir çalışmada, sadece NaOCl ile irrigasyonunun, kalsiyum hidroksiti kök kanal yüzeylerinden tamamen kaldıramadığını ve dentin tübüllerine patların penetre olamadığı bildirilmiştir. EDTA’ yı takiben yapılan NaOCl ile irrigasyonunun kalsiyum hidroksiti tamamen kaldırdığı ve bu sayede patların tübüllere penetre olduğu açıklanmıştır (176).

Farklı formüllerle hazırlanmış kalsiyum hidroksitlerin, #25 eğeleme ile mekanik preperasyon ile kullanılan NaOCl, salin ve tetrasodyum EDTA irrigasyon solüsyonlarının kalsiyum hidroksit kaldırma yeteneklerine etkisi incelenmiştir. Hiçbir metodun pansumanı tüm dentin duvarlarından tamamen kaldırmadığı ve medikaman

yoğunluğunun uygulanan pansuman kaldırma teknikleri üzerinde çok az bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. Metil selüloz gibi pansuman katkılarının muhtemelen kalsiyum hidroksitin tutunmasını etkilediği de ifade edilmiştir (177). Metapex ve saf kalsiyum hidroksit tozunun distile suyla karışımını kanallardan kaldırmak için % 17' lik EDTA ve % 10' luk sitrik asidin kullanıldığı bir çalışmada her iki irrigantın da distile suyla karıştırılan kalsiyum hidroksiti kanaldan kolayca uzaklaştırdığını ancak % 10' luk sitrik asidin Metapex üzerinde daha başarılı olduğu görülmüştür (178).

Kenee ve arkadaşları, NaOCl' nin EDTA irrigasyonu, el eğemesi, döner ege sistemi veya ultrasonik sistemle beraber kullanımının kanallardaki kalsiyum hidroksit kalıntılarını uzaklaştırma miktarını değerlendirdikleri bir çalışmada, hiçbir tekniğin tam olarak sonuca ulaşamadığını bildirdiler. Döner ege ve ultrasonik sistem birbirine yakın sonuçlar verdiler ve bu ikisi diğer tekniklerden başarılıydılar. Sadece irrigant kullanan teknikler de benzer etkinlik gösterdiler (179).

Aynı şekilde Yücel ve arkadaşları, EndoVac ve ProUltra® PiezoFlow™ ultrasonik irrigasyon sistemlerinin ve 30 gauge yarık uçlu iğneyle klasik irrigasyonunun, seans arası kalsiyum hidroksit kaldırma etkinliğini değerlendirildiler. EndoVac ve PiezoFlow verdikleri benzer sonuçlarla en temiz kanalların görüldüğü sistemlerdi. Klasik irrigasyonunsa yeterince kalıntı temizleyemediği görüldü (180).

Kalsiyum hidroksitin kanal duvarlarındaki düzensizliklerden tamamen uzaklaştırıldığını kabul etmek imkânsızdır. Kalsiyum hidroksit kalıntıları, kök kanal dolgusu sonrası apikal sızıntıya yol açabilecek boşluklara sebep olabilirler (175, 176). Porkaew ve arkadaşları, kök kanalındaki bu boşlukların kalan kalsiyum hidroksitin  $\text{CaCO}_3$ ' a dönüşmesiyle oluşabileceğini iddia etmişlerdir (181).

Kalsiyum hidroksit artıkları, kanal şekillendirilmesi sonrası oluşan smear tabakası ve pulpal debris ile karışabilir. Bu durum, kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasını zorlaştırır. Şen ve arkadaşları, EDTA ve NaOCl ile yapılan şırınga irrigasyonunun smear tabakası kaldırmada ultrasoniklerle yapılandan daha etkili olduğunu gösterdiler (182). Bunun yanında kanal kurvatürü, kullanılan irriganın çeşidi ve penetrasyon derinliği de kanal temizliğinde olumsuz faktörlerdir.



### **2.4.1. Şırınga irrigasyonu**

Şırınga ve iğneyle irrigasyon; endodonti pratiğinde en sık kullanılan yöntemdir. Geleneksel irrigasyonda kullanılan şırınga-iğne birleşiminde, sıvının üç boyutlu dağılımı sınırlıdır. İrrigant, iğne ucunun 1-2 mm ötesine dâhi ulaşmamaktadır. İğnenin boyutu ve esnekliği sıklıkla dişin apikal üçlü bölgesine ulaşmaya izin vermez ve yan uzantılardaki ve istmuslardaki debris uzaklaştırma yeteneği sınırlıdır (183). Hsieh ve arkadaşları, irrigasyon iğnelerinin kanala sokulma derinliğinin irrigasyon sıvısının kök kanallarındaki akış dağılımına etkisini inceledikleri çalışmada irrigasyon iğnelerinin çapı büyüdükçe, iğne ucuyla apikal darlık arası mesafe uzadıkça ve kanallar darlaştıkça akımın olumsuz etkilendiğini bildirmişlerdir (183). Şırınga irrigasyonu ile ultrasonik sistemin kök kanallarında oluşturulan düzensizliklerdeki debris üzerine etkinliklerinin değerlendirildiği başka bir çalışmada; şırınga irrigasyonu, düz ve geniş kanallarda ultrasoniklerden daha başarısız sonuçlar verdiği bildirilmiştir (185).

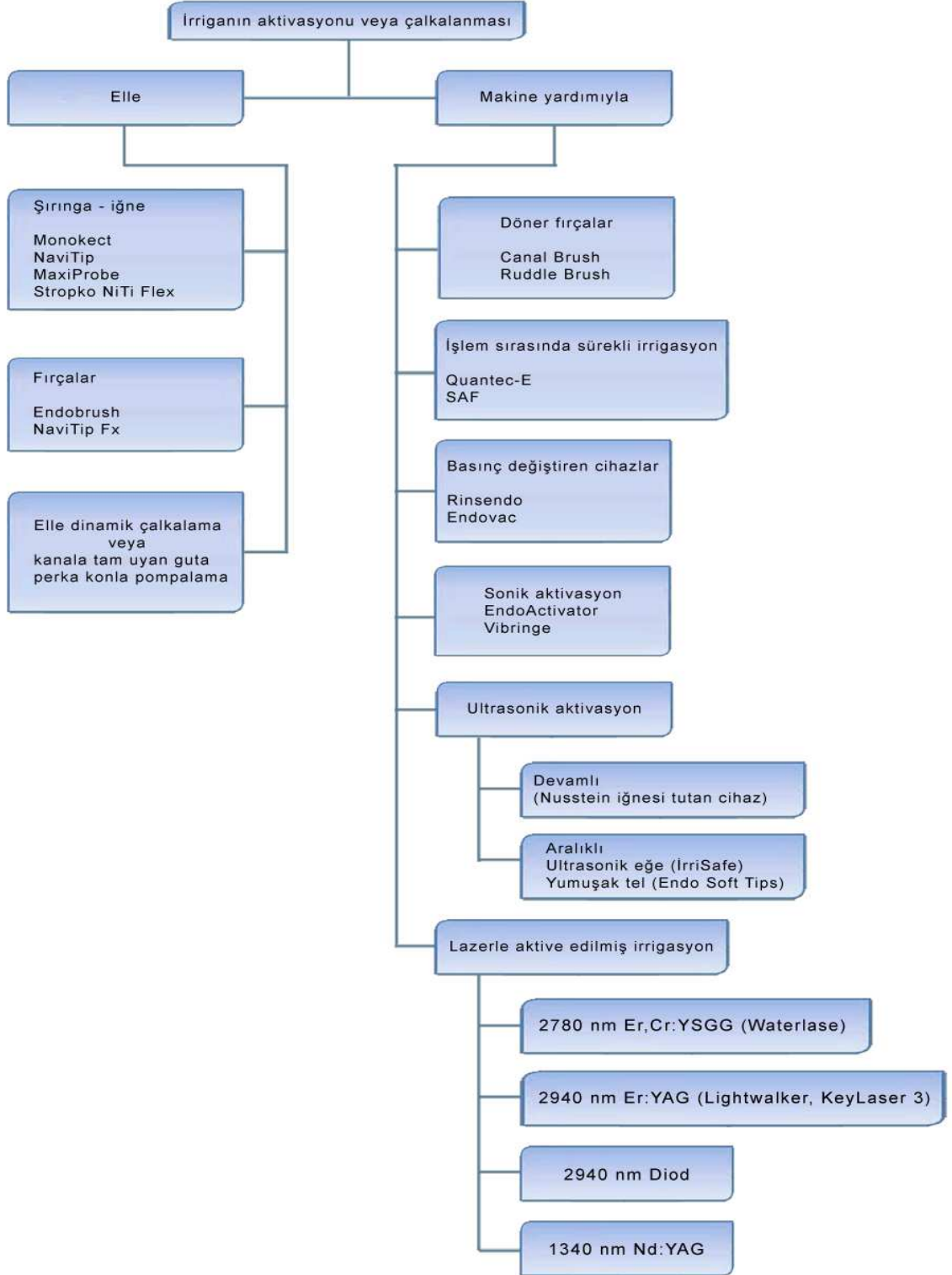
Yıkama etkisi, kök kanalının açısı gibi yapısal faktörlere de bağlıdır. Setlock ve arkadaşları, şırınga irrigasyonu ile Quantec-E irrigasyon pompa sisteminin kanal temizliği etkinliğini tarayıcı elektron mikroskopu (SEM) kullanarak karşılaştırdıkları çalışmada orta ve apikal üçlüde benzer sonuçlar alınırken sadece koronal kısımda Quantec-E' nin daha başarılı olduğunu rapor etmişlerdir (184).

Aynı konuyla ilgili olarak Walters ve arkadaşları, sadece apikale 5 mm kala yerleştirilmiş şırınga ucuyla Quantec-E irrigasyon sistemini karşılaştırmışlardır. Şırınga metodunda, apikale 1mm kala alınan kesitte 3 ve 5 mm kala alınan kesitlerden daha çok debris bulunduğu ancak Quantec-E sisteminde kesitler arasında belirgin bir fark olmadığını ve Quantec-E kullanımının daha az zaman gerektirdiğini bildirmişlerdir (187).

### **2.4.2. Ultrasonik irrigasyon**

Ultrasonik etki; kanal eğimi, kökün apikal üçlüsündeki genişliği, kullanılan solüsyonun hacmi, irrigantın yüzey ıslatabilirliği ve ultrasonik etkinin iletim biçimi gibi birçok

Tablo 2. İrrigasyon tekniklerinin özet şeması



özelliğe bağlıdır. Ultrasonik irrigasyon sırasında solüsyonların yıkama etkisi artmaktadır. % 12' lik NaOCl ile yapılan ultrasonik irrigasyonun, kök dentininin yüzeyinden derin katmanlarına kadar bakterileri etkili biçimde yok ettiğinin görüldüğü bildirilmektedir (185). Serbestçe salınan eğenin enerjisinin kök kanalı içindeki irrigasyon solüsyonuna aktarılmasıyla akustik dalgalanma hareketi meydana getirir.

Salınım yapan ultrasonik eğelerin etrafında oluşan akustik akım alanlarını inceleyen bir çalışmada, ultrasonik eğelerin hem boş alanda hem de dar kanalda akustik akım oluşturduğu gözlenmiştir. Daha yüksek hız akımı; hem daha küçük eğeler kullanıldığı hem de ege önceden büküldüğü zaman gözlenmiştir. Hafif ege-duvar teması, akımı tamamen engellemezken sıkı temas ege hareketini engellediği ve bunun sonucu olarakhiçbir akım gözlemlendiği bildirilmiştir.

Akım girdaplarının pozisyonları ve uzunluk ölçeği sınırların varlığından etkilenebileceği kanalı gibi sıkı sınırlanmış birboşlukta akustik akımın oluşması için sıkı ege-duvar temasından kaçınılması gerektiği alınan bu sonuçlarla gösterilmiştir. Hafifçe kanalı eğelemek veya uygulamanın bazı aşamaları sırasında eğenin serbestçe titreşmesine olanak sağlamak, kök kanalında akım oluşturmak bu çalışma sonucunda önerilmiştir (185). Lumley ve arkadaşları, endosonik eğelerin etrafında oluşan akım modellerini araştıran başka bir çalışmalarında, akım modellerlerinin, aletin güç ayarlarına, ege kenarının zorlanıp zorlanmadığına veya eğenin hafifçe değip değmediğine bağlı olduğunu bulmuşlardır. Sonik cihazın, serbestçe salınan ucun etrafında geniş bir çalkantı oluşturduğu ve yük altında bu akımın eğenin tüm uzunluğu boyunca meydana geldiği ayrıca baskıdan etkilenmediği gözlenmiştir (186).

Sjögren ve arkadaşları, ultrasonik kök kanal enstrümantasyonunu bakteriyolojik olarak değerlendirdikleri bir çalışmada ultrasonik tekniğin el egesi kullanımından daha etkili antibakteriyel etki oluşturduğunu gözlemlədiler (187). Ciucchi ve arkadaşlarıysa, EDTA ve ultrasonik sistemin beraber kullanımının, EDTA' nın çözücü kapasitesini arttırmadığını ancak dentin yüzeylerinde smear tabakasız yüzeyler oluştuğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Ciucchi ve arkadaşları NaOCl ve EDTA' nın ultrasonikle etkinliği, apikal kısımda belirgin biçimde düştüğünü vurgulamışlardır (188).

### 2.4.3. Pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ)

PUİ terimi, ilk kez Weller tarafından 1980' de kullanılmıştır (189). Kanal şekillendirme olmadan ve kök kanal anatomisini değiştirmeden uygulanan ultrasonik irrigasyon işlemleri; PUİ olarak tanımlanmaktadır. Bu kesmeyen teknoloji, kök kanal sisteminde anormal şekiller oluşturma potansiyelini azaltır. PUİ sırasında enerji, bir eğeden veya düzgün salınan telden irriganta iki fizik fenomeni olan akım ve kavitasyonu uyaran ultrasonik dalgalar vasıtasıyla iletilir. Akustik akım; titreten eğenin etrafında dairesel veya burgaç şeklindeki sıvının hızlı bir hareketi olarak tanımlanabilir. Kavitasyon ise; baloncuk akımı oluşumu veya bir sıvıda önceden var olan baloncukların patlaması, büzülmesi ve/veya bükülmesi olarak tarif edilebilir.

PUİ, geleneksel şırınga irrigasyonu ile karşılaştırıldığında; kök kanalından daha çok organik doku, mikroorganizma, smear tabakası, pulpa dokusu ve dentin debrisini kaldırmaktadır. Ayrıca, NaOCl' nin reaktivitesini artırır ve onu ısıtarak irrigasyonu daha etkin hâle getirir. Eğri kanallarda da etkili çalışabilir ve düz bir tel, kesici bir K eğe kadar etkili olabilir. Kök kanalının açısı ve çapı, PUİ' de önemlidir (190). Daha geniş açılı ve daha düz kanallarda daha etkilidir. Kök kanal dolumu öncesi final irrigasyonunun NaOCl ile 3 kez 20 saniyelik sürelerle, PUİ kullanılarak yapılması önerilmektedir.

Şırınga irrigasyonu ve ultrasonikler, prepare edilmiş kök kanal duvarlarındaki yapay düzensizliklerden debris kaldırma etkinliği açısından, Lee ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada kıyaslanmışlardır. Sonuçlar; her iki tekniğin etkin biçimde debrisini azalttığını ancak ultrasoniklerin daha başarılı olduğunu göstermektedir (191). Ultrasoniklerin molar dişlerden pulpa dokusu debrisini kaldırma kabiliyeti araştırıldığında, kök kanalını debride etmede ultrasoniklerin kalsiyum hidroksit pansumanı kadar etkili olduğu ve her iki tekniğin de apikale 1 mm mesafedeki istmuslarda standart enstrümantasyondan üstün olduğu görülmüştür (192).

Gutart ve arkadaşları, el ve döner alet enstrümantasyonu sonrası ultrasonik ucun 1 dakikalık kullanımının insan alt çene molarlarında belirgin biçimde daha temiz kanal ve istmuslar sağladığını rapor etmektedirler (193). Başka bir çalışmada ise ultrasoniklerle

aktifleştirilmiş % 1' lik NaOCl ile beraber nikel titanyum eğelerin kullanıldığı döner alet enstrümantasyonu, apikal üçlü bölgesinden debris kaldırmada Luer-Lok şırınga sisteminden daha iyi sonuçlar göstermiştir (194).Yapay aksesuar kanallarda PUI' un nekrotik pulpa dokusunu eritme özelliğinin değerlendirildiği bir çalışmada ise PUI' nin, NaOCl' nin doku eritici etkisini olumlu yönde etkilediği ve ana kanalda 5 dakikalık PUI uygulaması sonrası sıcaklığın ortalama 53.5 +/- 2.7 ° C' ye ulaştığı belirlenmiştir (195).

#### **2.4.4. Kanal fırçaları**

Kanal fırçası; plastik uçların bir gövdeye bağlanmasından oluşur. Pek çok kanal fırçası türü, döner bir motor sistemine bağlanarak uygulanırlar. Ancak Endobrush türü kanal fırçaları elle kullanılmak için tasarlanmıştırlar. Kök kanalından smear tabakanın temizlenmesinde ve adeziv sistemlerin kök kanalı içerisine uygulanmasında kullanılırlar. Keir ve arkadaşları, kanal enstrümantasyonu sonrası oluşan debrisin kaldırılmasında Endobrush' in enstrümantasyonla beraber uygulanmasının daha etkili debris temizliği yaptığını rapor etmişlerdir (196).

Fırça kaplı bir irrigasyon iğnesi olan NaviTip FX' in kök kanalından debris temizleme etkinliği, Al-Hadlaq ve arkadaşlarınca SEM' la araştırılmıştır. Koronal kısımdaki debris miktarının belirgin biçimde orta ve apikal kısımdan az olduğu görülmüştür (197). Garip ve arkadaşları ise, CanalBrush kanal fırçasının etkinliğini SEM ile incelemişlerdir. CanalBrush ile yapılan fırçalamanın irrigasyonla beraber yapılmasının, daha temiz kanal duvarları elde edilmesine yol açsa da CanalBrush ile irrigasyonun sadece geleneksel irrigasyon uygulamasına üstünlüğü bulunamamıştır (198).

#### **2.4.5. Hidrodinamik irrigasyon**

Sonik ve ultrasonik olarak aktive edilen irrigasyon teknikleri; düz veya oluklu paslanmaz çelik aletlerin kırılma, basamak oluşturma veya irrigan solüsyonun apikalden taşması risklerini barındırırlar. Bu yüzden farklı yöntemler araştırılmaktadır. Hidrodinamik irrigasyon yapan RinsEndo sistemi (Dürr Dental GmbH & Co. KG, Bietigheim– Bissingen, Almanya); hidrodinamik basıncın değiştirilmesiyle irrigasyon

işlemi yapılırken bir yandan da kullanılan solüsyonu aspire eden otomatik bir sistemdir. RinsEndo sistemi dakikada 6.2 mL solüsyonu kanal içine yollar ve 1.6 Hz güçle otomatik olarak aktifleştirir. Daha sonra bu solüsyonu basınçla geri çeker.

Braun ve arkadaşları, çekilmiş dişlerden pulpa dokusunun kaldırılmasında RinsEndo sisteminin geleneksel statik irrigasyona göre daha başarılı temizleme etkisine sahip olduğunu rapor etmişlerdir (199). Statik, manuel-dinamik ve otomatik-dinamik (RinsEndo®) irrigasyon sistemlerin etkinliğini biyofilm model oluşturularak bir çalışmada incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, RinsEndo sisteminin statik irrigasyondan daha etkili olduğu ancak manuel-dinamik irrigasyonundan başarılı olmadığı rapor edilmiştir. İrigasyonun, iğne ucu apikale yaklaştıkça daha etkili olduğu da gözlemlenmiştir (200).

Rödig ve arkadaşları, kalsiyum hidroksitin kaldırılmasında RinsEndo sistemi ile PUI' u karşılaştırdıklarında her iki sistemin de apikal kısımdaki kalsiyum hidroksiti kaldırmada tam başarı gösteremediğini bildirdiler (201). Yine Rödig ve arkadaşları, irrigasyon sistemlerini bu sefer farklı apikal boyutları olan kök kanallarında denediklerinde ultrasoniklerin şırınga veya RinsEndo' dan daha başarılı debris kaldırdığını ifade ettiler (202).

Hauser ve arkadaşları ise, statik irrigasyon, şırınga irrigasyonu ve hidrodinamik RinsEndo sisteminin etkinliklerini karşılaştırmada işaretleyici boya yöntemini kullanmışlar ve hidrodinamik uygulamada daha derindeki dentin tübüleri boyadığını ancak apikalden taşma da bu sistemin kullanıldığı örneklerde daha sık görüldüğünü belirtmişlerdir. Bu sonuçlara göre; geleneksel yöntemlere göre RinsEndo sistemin daha etkili olduğu ve apikalden irrigasyon taşmalarına karşı dikkatli olunması gerektiği vurgulanmıştır (203).

## **2.5. Lazerler**

Einstein; uygun boyutlu bir fotonun hâli hazırda uyarılmış durumdaki bir moleküle çarpması halinde, bu molekülün daha düşük enerji seviyesine inerken, kendisine çarpan fotonla aynı büyüklükte ve doğrultuda hareket eden bir foton salacağını ortaya

koymuştur. 1958' de Schawlow ve Townes; "Microwave amplification by stimulated emission of radiation" (MASER) ilkesinin ışık dâhil herhangi bir dalga boyundaki tüm elektromanyetik dalgalara uygulanabileceğinden hareket ederek, "light amplification by stimulated emission of radiation" (LASER) kavramını ortaya koydular. 1960' ta, alüminyum oksit ve kromiyum oksitten yapılmış sentetik yakut çubuğunu kullanarak ilk lazer cihazını Theodore Harold Maiman yapmıştır (204).

Lazer ortamı olarak bilinen katı, sıvı, gaz veya yarı iletkenle dolu optik bir odacık, bir dış faktör tarafından uyarıldığında lazer ışını oluşur. Oluşan bu spontan foton salınımı; lazer odacığının aynalarla kaplı iki duvarı arasında yansıyıp ortamı terkederken diğerk atomların uyarılmasına neden olur. Lazer ışığı kısmen geçirgen olan aynadan dışarı çıkana kadar, bu olay zincirleme biçimde devam eder ve yoğunlaştırılmış bir ışık demeti oluşur. Oluşan ışık; salınım anında elektronun sahip olduğu enerjiye göre belli bir dalga boyu ve bu dalga boyunu temsil eden bir renge sahip olur.

Lazerler, adlarını ışığı oluşturan kaynak atomun adından alırlar. Kullanılan özğün materyal, açığa çıkan enerjinin dalga boyunu ve lazerin klinik endikasyonunu belirlemektedir. Magid ve arkadaşları, estetik yumuşak doku modifikasyonlarında diyet, Neodmiyum: itriyum, alüminyum, garnet (Nd:YAG), karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve erbiyum lazerlerin dalga boylarını değıştirerek başka yöntemlerle elde edilemeyecek avantajların elde edilebileceğini bildirmişlerdir. Fonksiyonları değışen lazerlerin, estetik bütünlüğü destekleyecek etkilerinin yanında dezavantajlarının da hesaba katılması gerektiğini de ifade etmişlerdir (205).

Bazı lazer sistemleri; kesintisiz, sürekli lazer ışığı (continuous laser irradiation) sağlarken bazı cihazlarda kullanılan metal perdeciklerle, ışığın pulsatif akımı sağlanır. Bu tip kesikli ışığa "chopped laser beam" denilmektedir. Bazı sistemlerde ise enerji bir süre biriktirilip, daha kısa bir zaman diliminde salınmaktadır. Bu şekilde çok daha fazla enerji içeren bir atım elde edilebilmektedir. Bu karakterdeki lazer akımına; duraksatılmış akım anlamına gelen "pulsed laser irradiation" denilmektedir. Diğerk bazı sistemlerde elektronik olarak sağlanan kontrol ile super pulsed veya ultra pulsed lazer atımını elde edilebilmektedir (204).

Lazer cihazının üç temel bileşeni vardır:

1. Aktif lazer ortamı
2. Optik rezonatör: Aktif ortamın koherent olmayan fotonlarına yeniden yön veren ve çok parlak, doğrusal, tek renkli ve koherent ışık oluşturan kısımdır. Genellikle bir tanesi ışığı hem yansıtan hem de geçiren iki içbükey aynadan oluşur.
3. Aktif lazer ortamının atomlarını uyaran başlangıç enerji kaynağı

## **2.5.1. Sıcaklıklarına göre lazerler**

### **2.5.1.1. Soft (atermik) lazerler**

Düşük çıkış enerjisine sahiptirler. Soğuk (atermik) lazerler olarak da isimlendirilirler. Helyum-neon (He-Ne), galyum- arsenit (Ga-As) ve galyum-alüminyum-arsenit lazerler bu grupta yer almaktadır. Ağrı, enflamasyon ve ödemi azaltarak doku iyileşmesini hızlandırmak için kullanılırlar.

### **2.5.1.2. Hard (termik) lazerler**

Isı açığa çıkardıklarından "termik lazerler" olarak da bilinirler. Argon, CO<sub>2</sub> ve yitrium, alüminyum, garnet (YAG) lazerler bu gruptadır. Nd:YAG lazerin aktif ortamı, neodmiyum ile bir araya gelmiş itriyum ve alüminyumdan yapılmış katı bir garnet kristalidir. Salınım dalga boyu 1064 nm olup, kızılötesi spektrumunda yer alır. Kısa atım süresine sahip olan Nd:YAG lazerin dalga boyu, suda 60 mm derinliğe kadar penetre olur ve enerjisinin % 90' ı su içerisinde iletildiği için doku yüzeyinde absorbe olduğu zaman yumuşak dokuda daha fazla saçılma gösterir. Nd:YAG lazerler, dişin sert dokuları tarafından çok düşük oranda absorbe olmaktadır. Sahip oldukları esnek fiber optik uçlarla dokulara kolayca temas ettirilebilirler ve bu sayede yumuşak doku cerrahisinde, diş dokularına yakın alanlarda güvenli bir şekilde kullanılabilirler.

Fiber optik uçla temassız çalışıldığında, dalgaboyu birkaç milimetreye kadar etkili olup aftöz lezyon tedavisinde veya pulpa analjezisinde kullanılabilir (204). Bazı araştırmacılar, Nd:YAG lazerden süt dişi ampütasyonunda ve kök kanal sisteminin



dezenfeksiyonunda da yararlanabileceğini iddia etmektedirler. Siyah renk tarafından iyi absorbe edildiği için yumuşak dokuların hemostaz sağlanarak kesilmesi ve koagüle edilmesinde kullanılmaktadırlar. Ayrıca bu sayede sağlam mineye zarar vermeden pigment içeren çürük dokular da temizlenebilmektedir (206).

Neill ve arkadaşları, yaptıkları klinik deneylerin sonucunda kök yüzeyi düzleştirilmesi ve küretajla birlikte uygulanan düşük güçteki atımlı Nd:YAG lazerin periodontitisli hastalarda bakterilerin eliminasyonunda başarılı olduğunu bildirdiler (207). White ve arkadaşları da, atımlı Nd:YAG lazer uygulanarak yapılan restorasyonların üç yıllık takibi sonucunda tüm dişlerin canlılığını koruduğunu ve semptomsuz olduğunu tespit ettiler (206).

## **2.5.2. Aktif lazer ortamlarına göre lazerler**

### **2.5.2.1. Holmiyum: itriyum-alüminyum-garnet (Ho:YAG) lazerler**

Ho:YAG lazerler, kromiyum ile hassaslaştırılmış ve holmiyum ve tulyum iyonlarıyla güçlendirilmiş, itriyum alüminyum garnet katı kristali içermektedirler. Serbest çalışma atım modu da olan fiber optik sistemle 2100 nm dalga boyunda çalışan orta kızılötesi bir lazerlerdir. Nd:YAG lazerlere göre 1000 kat daha fazla su tarafından absorbe edilirler. Pigment içeren dokulara bir etkisi olmasa da sert dokuları kesebilirler.

Kıkırdak dokuları orta derece nekrozla kusursuz ve hızlı biçimde kesebildiği, klasik fiber optiklerden geçebildiği ve tuzlu suyla beraber çalıştırılabildiği için Ho:YAG lazerler, diş hekimliğinde temporamandibular ekleme yapılan artroskopik işlemlerde kullanılmaktadırlar (208).

Kautzky ve arkadaşları, farelerin oral mukozası üzerinde Ho:YAG lazerlerle yaptıkları bir çalışmada epitelyal yüzeyde karbonizasyon tabakası oluşmadığını gözlemlemişlerdir. Ho:YAG lazerle doku arasında ısısız olmayan ilave bir etkileşimin olduğu varsayımı bu çalışmayla desteklenmiştir (209).

### **2.5.2.2. Erbiyum: itriyum-alüminyum-garnet (Er:YAG) lazerler**

Er:YAG lazerin aktif ortamı, erbiyum ile bir araya getirilmiş katı itriyum, alüminyum garnet kristalidir. Er:YAG lazerin dalga boyu spektrumun gözle görülemeyen kısmında; yakın kızılötesi, orta kızılötesi sınırındadır. 2940 nm dalga boyu suda yüksek oranda absorbe olmaktadır (210).

Sasaki ve arkadaşları, Er: YAG lazer uygulanan kemik dokusunda 30 µm kalınlıkta bir tabakada mikro çatlaklar, apatit kristallerinde düzensizlik ve hafif rekristalizasyon ve etrafındaki organik matriksteyse azalma gibi değişiklikler gözlemlediler (211). Hibst ve Keller ise, sert doku uzaklaştırmayla ilgili mikro patlamalar teorisini ortaya atmışlardır. Bu teoride; enerji dokulardaki su ve su içeren organik yapılar tarafından absorbe edilir ve doku parçalanana kadar bir iç basınç oluşur. Er: YAG lazerin etkileri, ısısız değil daha çok sert doku içerisindeki su buharlaşması ile ilişkili mikro patlamalarla izah edilir (212). Keller ve Hibst, Er:YAG lazerin dişin sert dokuları üzerindeki etkisini ışık ve SEM ile inceledikleri bir çalışmada çevre dokularda minimal hasar gözlemlemişlerdir (207).

Ishikawa ve arkadaşları, kök çürüklerinin tedavisinde Er:YAG lazeri geleneksel mikromotor tekniğiyle kıyaslamışlardır. Er:YAG lazer kullanımı, daha uzun süre gerektirse de çürük dentini etrafındaki bitişik dentine en az termal zararlı etkili biçimde buharlaştırdı ve frezle aynı derecede enfekte ve yumuşamış dentini kaldırdığını gözlemlemişlerdir Bunlara ilave olarak çok düşük bir titreşim oluştuğunu da not etmişlerdir SEM incelemelerindeyse, lazer uygulanmış dentin yüzeyinde mikro düzensizlikler görmüşlerdir (213).

## **2.6. Hallerine Göre Lazerler**

### **2.6.1. Katı hal lazerleri**

Bir katı hal lazeri; yükselme ortamı olarak boya lazerlerindeki gibi sıvıdan veya gaz lazerlerindeki gibi bir gazdan çok bir katıyı kullanan bir lazerdir. Genel olarak, bir katı hal lazerin aktif ortamı; neodyum, krom, erbiyum itterbiyum gibi bir katkı maddesinin

eklendiği bir cam veya kristal halinde bir ana malzemeden meydana gelir. Ortak katkı maddelerinin çoğu nadir toprak elementleridir çünkü bu tür iyonların uyarılmış halleri kristal örgülerin (fononlar) termal titreşimleri ile güçlü biçimde birleşmezler ve operasyonel eşiklerine, lazer pompalamasının nispeten düşük yoğunluklarında ulaşılabilirler.

Lazer etkisi elde edilmiş olan yüzlerce katı hal ortamı bulunmaktadır ancak görece az sayıda türü yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bunlardan muhtemelen en yaygın Nd:YAG lazerdir. Nd:YAG lazer, 1064 nm dalga boyunda kızılötesi ışık yayar. Daha çok itriyum ve alüminyumdan yapılan bir garnet kristali bulunan bu tip lazerlere, YAG lazerler de denilmektedir. Lazer ışığının oluştuğu ortam, katı bir matriks içinde bulunur. Ancak bu tür lazerlerde ilk kullanılan materyal sentetik ruby (yakut) kristaliydi. Ruby lazerler, hâlen birkaç uygulama için kullanılsalar da düşük güç etkinliklerinden dolayı yaygın değildirler. Oda sıcaklığında ruby lazerler, sadece kısa ışık atışları yayarlar ama dondurucu sıcaklıklarda sürekli bir atış zinciri yayabilirler.

## **2.6.2. Gaz lazerler**

Bir gaz lazeri; tutarlı bir ışık üretmek için bir elektrik akımını bir gaz içinden boşaltan bir lazerdir. Gaz lazeri, ilk geliştirilen sürekli ışık lazer sistemidir ve 1.15  $\mu\text{m}$ ' deki spektrumda, kızılötesi bölgesinde tutarlı bir ışık demeti üreterek elektrik enerjisini lazer ışık çıkışına dönüştürme ilkesine göre çalışan ilk lazerdir. Helyum veya helyum-neon (He-Ne) lazer, en çok kullanılan gaz lazeridir ve görünür kırmızı ışık oluşturur. He-Ne lazer, istenilen dalga boyunda, Q boşluğundan tepe noktasını ayarlayarak 160 farklı dalga boylarında salınım yapabilir. Bu salınım; aynaların spektral cevabını ayarlayarak veya boşluk içinde bir dağıtıcı eleman (Littrow prizması) kullanılarak yapılabilir. 633 nm' de çalışan üniteler, düşük maliyetleri ve mükemmel ışın niteliklerinden ötürü okullarda ve laboratuarlarda çok yaygındırlar.

Bu gruba ait diğer örnekler ise CO<sub>2</sub> ve argon lazerlerdir. CO<sub>2</sub> lazerler; 9.6 ve 10.6  $\mu\text{m}$ ' da yüzlerce kilowatt yayabilirler ve genellikle sanayide kesme ve kaynak işlemleri için kullanılmaktadırlar. CO<sub>2</sub> lazerin etkinliği % 10' un üzerindedir. Argon-iyon lazerleri,

351-528.7 nm aralığında ışık yayarlar. Optik ve lazerin tübüne bağlı olarak çok farklı sayıda hat kullanılabilir ama en sık kullanılan hatlar 458 nm, 488 nm ve 514.5 nm' dir.

### **2.6.2.1 CO<sub>2</sub> lazerler**

Aktif materyali gaz olan CO<sub>2</sub> lazer; CO<sub>2</sub> molekülleri ile gaz karışımının bulunduğu bir tüpten elektriksel akımın geçmesiyle çalışır ve oluşan ışık içi boş eklemli kollarla iletilir. Dalgaboyu 10600 nm olan bu sistem, sürekli veya aralıklı dalga modlarından birinde çalışır. CO<sub>2</sub> lazerin enerjisi su tarafından çok iyi absorbe edilir. Yumuşak doku, % 75-90 oranında su içerdiği için enerjinin % 98' i ısıya dönüşür ve çok az saçılım ve penetrasyonla beraber doku yüzeyinde emilir (214).

Yumuşak dokuları kolayca kesmede ve koagülasyon işlemlerinde kullanışlıdır. İyi hemostaz oluşturduğu için hekime temiz çalışma alanı sağlar. Temassız kullanılabildiği için dil ve ağız tabanı gibi hareketli dokularla ilgili işlemlerde kolaylık sağlar. Sığ penetrasyon özelliği ile biyopsilerde, kanamaya yatkın lezyonlarda, aftöz ülserlerde, herpetik lezyonlarda idealdir (215, 216). Frenektomi, kron boyu uzatma, gingivoplasti ve gingivektomi gibi yoğun fibröz dokuların buharlaştırılmasını içeren işlemlerde de avantajlıdır (217, 218). Pick ve arkadaşları, gingivektomi işleminde CO<sub>2</sub> lazer kullanımının; kanama olmaması, kuru bir çalışma alanının sağlanması, temassız işlem yapabilme, cerrahi alanın sterilizasyonunun sağlanması, iyileşmenin teşvik edilmesi, en aza indirgenmiş operasyon sonrası rahatsızlık ve işlem süresi gibi avantajlarının olduğunu bildirmektedirler (219).

Pogrel ve arkadaşları, cerrahi CO<sub>2</sub> lazerin yumuşak dokularda çok az kanama, ağrı, şişme ve yara kasılmayla buharlaşma yaptığını klinik deneyle göstermişlerdir. Hızlı biçimde dokuları kaldırdığı için alttaki dokularda hasarın sadece yüzeyde kaldığı ve işlem sonrası, hastaların üçte biri analjezi kullanma ihtiyacı duymadığı rapor edilmiştir (220). Buna ilaveten, Convissar ve arkadaşları, CO<sub>2</sub> lazeri hareketli protez uygulamalarındaki tamamlayıcı tedavilerde başarıyla kullanmışlardır (221).

Fisher ve arkadaşları, klasik cerrahi eksizyonla CO<sub>2</sub> uygulamasının yara iyileşmesini histolojik olarak karşılaştırdıkları bir çalışmada, lazer yarasında bitişik dokularda

minimal hasar oluştuğunu, başlangıçta yara yzeyinde denatire protein pıhtısının meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Enflamatuar reaksiyonların ve yara kasılmasının daha az olduğu, yara dokusunda daha az kollajen oluştuğu, epitelyal rejenerasyon geciktiği ve daha az düzensizlik meydana geldiği belirtilmiştir (222).

Hidroksiapatit tarafından absorpsiyonu en fazla olan lazer olduğu için dişlere yakın alanlarda işlem yaparken, dişlerin mutlaka metal bir koruyucu ile lazer ışınından korunması gerekmektedir. Uzun atım süresi olan parametrelerle çalışılırken, diş sert dokularında karbonizasyona ve diş yapılarında çatlaklara neden olabilir. Bu konuyla ilgili olarak, Shariati ve arkadaşları yüksek enerjiye sahip sürekli dalga modundaki CO<sub>2</sub> lazerin kullanımının ardından dentin yzeyinde erimeyi takiben çukurlaşma ve dökülmeler gözlemlemişlerdir. Erime; katılaşmış materyalden oluşan gözenekli kürecik tabakası ve tübüllerde kısmi sızdırmazlıkla sonuçlanmıştır. Erimiş bölgenin altında, erimiş dentinin katılaşması ile dolan tübüllerin görüldüğu değişmiş bir dentin alanı olduğu bu araştırmanın sonucunda rapor edilmiştir (223).

Uzun atım süresine bağlı olarak diş dokusunda karbonizasyon ve çatlaklar meydana gelebilir. Pogrel ve arkadaşları, sürekli dalga CO<sub>2</sub> lazerinin minenin yapısında oluşturduğu morfolojik değişimleri incelediklerinde, 100 µm' luk diş tabakada erime ve sertleşme izleri görmüşlerdir. Bu tabakanın altında, 12 µm kalınlığında aside dayanıklı amorf tabaka ve onun da altında 110 µm' luk gözenekli bir katman bulunduğu gözlenmiştir (224).

### **2.6.2.2. Excimer lazerler**

Ultraviyole lazerlerin bir türüdürler. Argon, kripton veya zenon gibi soy gazlarla klorin veya florin gibi reaktif gazların bir birleşimini kullanırlar. Uygun elektriksel uyarılma ve yüksek basınç koşullarında, sadece enerji verilmiş bir durumda var olabilen ve ultraviyole aralığındaki lazer ışığının ortaya çıkmasına yol açabilen bir psödo molekül olan excimer oluşur. Bir excimer molekülündeki lazer hareketi; birleşmeyle ilgili (bağlı uyarılmış) bir durum olduğu kadar ayrılmayla da (itici zeminle) ilgilidir. Bunun nedeni; asal gazların yüksek derecede eylemsiz olması ve genelde kimyasal bileşikler oluşturmamasıdır.

Ancak yüksek enerji atımını oluşturan elektriksel bir boşalma veya yüksek enerjili elektron demetleri, uyarılmış bir durum başlattıkları zaman dimerlerle veya halojenlerle geçici bağlı moleküller oluşur. Bu uyarılmış bileşikler, fazla enerjisini iki bağlı olmayan atom halinde ve çok hızlı biçimde ayrılan güçlü bir itici zemin durum molekülüyle sonuçlanan, kendiliğinden veya uyarılmış bir salınım geçirerek bırakabilirler. Excimer lazerler, aktif ortamındaki materyale göre dörde ayrılır:

1. Argon Fluorit (Ar/F) lazerler 193 nm
2. Kripton Fluorit (Kr/F) lazerler 248 nm
3. Zenon Klorit (Xe/Cl) lazerler 308 nm
4. Zenon Florit (Xe/F) lazerler 351 nm

Bunlardan Ar/F ve Xe/Cl lazerler, diş hekimliği açısından önemli excimer lazer tipleridirler. Frenzen ve arkadaşları, excimer lazerde çevre dokulara zarar verebilecek termal hasarın sınırlı olduğunu bildirdiler. Bu termal olmayan fotoablasyon süreci sayesinde; seçici çürük uzaklaştırma, diş yüzeylerinin hazırlanması ve kök yüzeyi temizliğinin, küçük nekroz alanları ve kalıntı debris olmadan yapılabileceğini iddia ettiler (225). Bunlara ilaveten, excimer lazerlerin diş taşı, dental plak ve enfekte sementi kaldıracabilecekleri de in vitro çalışmalarla kanıtlanmıştır (226).

### **2.6.3. Boya (Dye) lazerler**

Lazer ortamı olarak organik boyaların sıvı çözeltilerini kullanırlar. Lazer ortamı olarak katı hal ve gazın kullanımına kıyasla, boyalar genellikle 50 ila 100 nm veya fazlasına uzanan geniş bir dalga boyu aralığında kullanılabilirler. Bant genişliğinin fazla olması, ayarlanabilir lazerler ve atımlı lazerler için özellikle istenen bir özelliktir.

Örneğin Rodamine 6 G boyası, 560 nm (yeşilimsi sarı) ile 635 nm (turuncumsu kırmızı) arasında ayarlanabilir ve bu boya sayesinde 16 femtosaniye kadar kısa süreli atımlar üretilirler. Dahası, aynı lazerde daha geniş bir aralıkta dalga boyları üretmek için genelde lazerin diğer optik bileşenlerinin değişimi gerektiği halde, boyalar sayesinde bir lazer başka tür bir lazerin yerine (yakın kızılötesinden yakın ultraviyoleye kadar) kullanılabilir.

#### **2.6.4. Yarı iletken lazerler (Diyot lazerler)**

Işık yayan diyotlarda bulunanlara benzer bir yarı iletken diyot tarafından oluşturulan aktif lazer ortamında, elektriksel olarak pompalanan yarı iletken bir lazerdir. Fiber optik iletişim araçları, barkod okuyucular, lazer pointerlar, CD/DVD/Blu-ray disk okuyucular ve yazıcılar, lazer yazıcılar ve tarayıcılar gibi birçok cihazda kullanılmaktadırlar. Katı halde bulunmazlar, küçük boyutludurlar ve güç tüketimleri düşüktür. Bu lazerler, genellikle kırmızı renkte ve 630- 680 nm aralığında ışık yayarlar.

Diyot lazerler, dişin sert dokuları tarafından çok az absorbe edildikleri için dişeti ve mukoza koagülasyonu, yumuşak dokuların küretajı veya dişeti oluşu debritmanı gibi yumuşak doku cerrahisinde kullanıldıkları zaman dişlerde hasar oluşmaz. Kullanıldığı dokular üzerinde aşırı ısı artışına neden olduğu için devamlı dalga modunda uzun süre kullanılmamalıdır (227).

#### **2.6.5. Argon lazerler**

488 nm ve 514 nm' lik iki dalga boyu çeşidi kullanan argon lazerler, sert dokular tarafından absorbe edilmezler. 488 nm dalga boyuna sahip olan argon lazerler, kompozit rezinlerin polimerizasyonunda ve çürük tespiti amacıyla kullanılır. 514 nm dalga boyuna sahip olan argon lazerler; hemoglobin, melanin ve koyu pigment içeren dokular tarafından fazla biçimde absorbe edildikleri için hemostatik etkileri yüksektir. Yumuşak doku cerrahisinde kullanıldığı zaman dişlere zarar vermezler (227). Powell ve arkadaşları, argon lazerin 600 J/cm<sup>2</sup>' den yüksek enerjilerde pulpal hasar oluşturduğunu ancak minde bir hasar görülmediğini bildirdiler. Bu parametreler aşılmadıkça argon lazerlerin, akut iltihaplı periodontal hastalıkların tedavisi, kistlerin çıkarılması, hemanjiyom tedavisi ve frenektomi gibi işlemlerde kullanılabileceklerini ifade ettiler (228).

### **2.7. Lazer Uygulama Parametreleri**

Diş hekimliğinde kullanılan lazer dalgaboyları; genelde CO<sub>2</sub> lazer için 193 nm' den Nd: YAG lazer için 10600 nm' ye ve ultraviyolenden uzak kızılötesine kadar geniş bir

yelpazededirler. İnsan gözünün göremediği kızılötesi aralığında olan bu lazerlere, kullanım sırasında gözle görülebilen He-Ne lazerler klavuz ışığı olarak eklenmişlerdir.

Lazer enerjisi dokulara uygulandığında; yansiyabilir, doku içinde dağılabilir veya dokuyu terk edebilir (transmisyon). Bu üç etkinin hiçbiri dokularda biyolojik bir etki oluşturmaz (204). Ancak lazer ışığı enerjisi dokuda bir miktar dağıldıktan sonra, doku içindeki termal etkiden sorumlu olan absorpsiyon meydana gelir. Lazerin enerjisi absorbe olunca, ısı enerjisine dönüşerek vaporizasyon veya karbonizasyon gibi fototermal etkiler oluşur. Bu etkiler; yumuşak dokulardaki hücre içi sıvının kaynayarak buharlaşması sonucu hücrenin patlayarak devamlılığının bozulması ile ortaya çıkmaktadırlar. Sert dokularda ise hidroksiapatit yapısı içinde patlamalar oluşabilir. Dokudaki absorpsiyonun miktarı, lazerin dalga boyu ve hedef dokunun optik özelliklerinden etkilenmektedir (214).

Eğer lazer ışığı, dokudan yansiyacak olursa dış ortama doğru dağılır. Doku içerisinde molekülden moleküle çarparak dağılmasına "scatter etkisi" denir. Scatter etkisi; enerjinin dokuda daha geniş bir hacme dağılmasını sağlayarak fototermal etkiyi azaltır. Dokudaki absorpsiyon arttıkça scatter etkisi de azalacaktır.

İdeal lazer enerjisi; hedef dokuda lazerin en az yansıma, saçılma veya transmisyonla uğradığı ancak en fazla absorbe olduğu dalga boyunda uygulanmalıdır. CO<sub>2</sub> veya Er:YAG gibi su tarafından absorbe edilen lazerler, su içeriği yüksek yumuşak dokuların cerrahisi için uygunken, hemoglobin tarafından absorbe edilen lazerler, vasküler doku ve lezyonlar için daha uygundur. Argon lazer dalga boyları, kompozit rezinler tarafından daha kolay absorbe edilirlerken, hem su hem hidroksiapatit tarafından absorbe olan Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerler sert dokudaki işlemler için uygundur (229).

Işıma yapılan alana ve hedeflenen amaca bağlı olarak parametreler de değişmektedir. Dişin her bir sert ve yumuşak dokusu için farklı lazer türü, güç, dalga boyu, atım süresi ve kullanım süresi gerekmektedir. Her hücrenin ve hücreler arası maddenin ışığı kırma miktarı farklıdır ve bu yüzden lazer ışığı farklı dokularda farklı biçimde ilerler (229). Lazer ışığının kullanıldığı bölgenin küçülmesi, birim alana uygulanan ışık gücünün



yoğunluğuyla ters orantılıdır ve daha derin bir ablasyon meydana gelmektedir. Fokus bölgesi tanımıyla; dokuya iletilen enerjinin en yüksek olduğu uzaklık ifade edilmektedir. Bunun tersine defokus bölgesi terimiyle; daha az soğurulma meydana gelen uzak alanlar tanımlanmaktadır. Her lazerin fokus ve defokus mod mesafesi farklıdır.

Lazer ışığının enerjisinin yoğunluk birimi  $\text{mJ}/\text{cm}^2$  ' dir. Lazer sistemlerinin ürettiği atımların kesintisiz ve sürekli olması "continuous wave" (CW) olarak tarif edilirken, metal perdelerle kesintili hale gelen atımlara da "pulsatif akım" denilmektedir (230). Sert dokuda kullanılan lazerlerin atım süreleri, termal etki meydana gelmemesi için mikrosaniyelere düşürülmektedir. Atım süreleri yumuşak dokularda daha uzundur çünkü yumuşak dokularda uygulanan işlemler için gerekli lazer enerjisi miktarı daha düşüktür. Bu yüzden birçok lazer sistemi, atım süresinin ayarlanabilir olması sayesinde hem sert hem de yumuşak dokuda kullanılabilir (231). Lazer saçılımı sırasında açığa çıkan ısının; diş yapısında genellikle karbonizasyon, erime ve çatlaklara, protein denaturasyonuna ve diş pulpasında enflamasyon veya nekroza yol açabileceği bildirilmiştir (232).

Dalga boyunun değişimi, ışık-doku etkileşimini doğrudan etkileyen ve oluşacak reaksiyonun türünü belirleyen parametrelerden biridir. Tüm dalgaların belirli bir frekansı vardır. Frekans birimi Hertz (Hz) ile ifade edilir. Lazer sistemlerinin frekansı bir saniyede kaç titreşimin dalgayı meydana getirdiğini göstermektedir. Dalga boyuyla frekans ters orantılıdır. Lazer sistemlerinin frekans aralığının geniş olması klinik kullanımda istenen bir özelliktir. Lazer enerjisinin miktarı ve uygulamanın yapıldığı dokunun hangi dalga boyunu absorbe ettiği, oluşan reaksiyonun derinliğini ve miktarını etkiler. Lazer cihazın çıkış gücü ve seçilen atım türünün özellikleri de lazerin etkinliği üzerinde etkili parametrelerdendir.

Su, kızılötesi bölgede enerjiyi iyi absorbe ettiğinden, sudan zengin dokularda ablasyon etkisi oluşturmak için suyun absorpsiyonunun yüksek olduğu bir dalga boyu kullanılır. Örneğin 2940 nm dalga boyundaki Er:YAG ve 2740 nm dalga boyundaki Er,Cr:YSGG lazerler, su tarafından iyi absorbe edildikleri için dişin sert dokularında etkili biçimde kullanılabilirler (204).

## 2.8. Lazer Güvenliği

Lazerlerin neden olabildiği hasarlar, primer ve sekonder olarak sınıflandırılabilir. Primer hasar; doğrudan lazerin neden olduğu göz ve deri yaralanmalarını kapsamaktadır. Lazer kaynağından direkt olarak veya yansıtıcı özelliğe sahip yüzeylere çarparak göze dolaylı olarak ulaşan ışıklarla göz hasarları oluşur. Gözün retina ve kornea tabakaları, 400-1400 nm dalga boyları arasındaki lazer ışığında yaralanmaktadırlar. Gözün lensi ve korneası ışığı odakladıklarından, düşük yoğunluklardaki lazerler bile retinada etkili hale gelerek kalıcı körlüklere yol açabilmektedirler. Derideki yaralanmalar ise lazerin termal etkileriyle; eritem, ülserasyon veya kabuklaşma biçimlerinde meydana gelebilirler (233). Lazerler; baş ağrısı, gözde sulanma, ağrı ve batma hissi ve görme bozukluğu oluşturabilirler. Lazer kullanımı sırasında endotrakeal tüpte yanma da görülebilir.

Sekonder hasarlar; dolaylı olarak lazer enerjisinin neden olduğu durumlardır. Elektriksel, kimyasal veya çevresel olarak etkiler gösterebilir. Yüksek voltaj ve elektrik akımına ihtiyaç duyan lazerler; elektrik çarpması, elektriksel yangın ve patlama risklerini arttırmaktadırlar. Kimyasal yönden; lazer cihazının yapısında bulunan maddelerin özelliklerine bağlı olarak zararlı etkiler oluşabilir. Örneğin, excimer lazerler klorin veya florin gibi toksik gazlar içerirler. Lazer cihazında oluşabilecek sızıntılarda, zararlı gazlar çalışma ortamında bulunanları solunum yoluyla yaralayabilirler.

Lazer sistemleri çevresel zararlara da yol açabilirler. Lazerlerin uygulandığı mekânlarda bulunan yanıcı ve patlayıcı özelliği olan maddeler kolayca yangılara neden olabilirler. Diş hekimliğinde kullanılan koruyucu örtüler, sterilizasyon ürünleri, ölçü maddeleri, dolgular, oksijen gazı, plastik içerikli malzemeler gibi pek çok ürünün kolayca tutuşabileceği unutulmamalıdır (234, 235). Lazer uygulaması sırasında etrafta alkol içeren topikal anestetik, oksijen tüpü, anestetik gaz karışımı gibi yanıcı ve patlayıcı maddeler olmamalıdır. Endotrakeal tüplerdeki gaz kaçaqları önlenmelidirler. Lazer uygulanan odalarda elektrik ve gaz kaçağı olmamasına dikkat edilmelidir. Lazer güvenliğiyle ilgili birçok önlem alınmasına rağmen, lazer kullanımının artmasıyla beraber lazer yaralanmaları da bildirilmektedir (236).

Tablo 3. Lazer kullanımında oluşabilecek tehlikelere karşı alınabilecek önlemler

<b>Lazer dumanının içeriği</b>	<b>Kaynak</b>	<b>Potansiyel tehlike</b>	<b>Önlemler</b>
Toz	CO <sub>2</sub> lazer kullanılan tüm işlemler	Akciğer hasarı	-Uygun maske -Duman temizleme sistemleri
Toksik kimyasallar: -Benzen -Siyanürler -Akrolein -Aldehitler -Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	İnsan ve hayvan dokularıyla, plastikte, teflonla ve kaplı ürünlerle temas eden lazer ışını	-Yangın -İritasyon -Karsinojenik, mutajenik ve teratojenik potansiyel	-Dumanın birleşimine uygun solunum koruması -Duman temizleme sistemleri
Biyolojik ajanlar	Tümör, HIV, kültür ortamı, bakteri, siğil ve yaralı ciltle temas eden lazer ışını	Enfeksiyon	-Dumanın birleşimine uygun solunum koruması -Duman temizleme sistemleri -Koruyucu kıyafet ve eldivenler
Duman	Buharlaşma, kesi, ciltle temas eden CO <sub>2</sub> lazer ışığı	-Solunum hasarı -Göz hasarı -İritasyon	-Kaynağa yakın dumanın temizlenmesi -Uygun göz ve solunum koruması

Lazer ışığının yanında, oluşturduğu duman da kaçınılması gereken bir etkidir. Birçok çalışmada, lazer dumanında; karbon monoksit, poliaromatik hidrokarbonlar ve çeşitli toksik gazların yanında bakteriyel sporların, kanser hücrelerinin, HPV, HIV ve herpes gibi virüslerin bulunabileceği gösterilmiştir. Ayrıca bu dumanda; formaldehit, hidrojen siyanür, akrolein ve benzen gibi kimyasallar da tespit edilebilmektedirler.

Klinisyenler, lazer cerrahisi sırasında uygun nefes filtresi, gözlük ve eldivenleri giymelidirler. Cerrahi maskeler; lazer dumanında bulunan solunabilecek virüs, mikroorganizma, kimyasal buhar, ince toz parçacıkları, aerosol veya hücrel debrislerden kaynaklanan enfeksiyon ve diğer tehlike risklerini ortadan kaldırmazlar. Bu nedenle, lazer ile çalışılan mekanlar çok iyi havalandırılmalıdırlar. Oluşan dumani çekmek için kuvvetli aspiratörler duman kaynağına yakın konumlandırılmalıdır. Tablo 3' de lazer kullanımında oluşabilecek tehlikelere karşı alınabilecek önlemler gösterilmiştir.

## **2.9. Lazerlerin Tehlike Sınıflandırması**

Lazerler, oluşturabilecekleri zararlara göre; American National Standarts Institute (ANSI) tarafından lazerin gücü, dalga boyu ve uygulama süresi dikkate alınarak 4 sınıfa ayrılmışlardır.

Sınıf 1: 0.4 mW gücün altındaki düşük enerjili ve hasar oluşturma kapasitesi olmayan lazerlerdir. Doğrudan lazer kaynağına bakılması önerilmemektedir. Diyot lazerler gibi güvenli, görülebilir dalga boyunda ışık yayan lazerler bu sınıfa örnek olarak verilebilirler.

Sınıf 1 M: Mikroskop ve lup gibi optik büyüteçler ile bakıldığında göze zarar verme potansiyeli olan lazerlerdir.

Sınıf 2: Yüksek frekanstaki darbeli lazer cihazları ve görülebilir dalga boyunda ışık yayan He-Ne lazerler gibi 1 mW gücündeki lazerler bu sınıftadırlar. Düşük enerjili ve gözle görülen lazer ışınları olup, uzun süreyle ve doğrudan bakılmadıkça bir tehlike

oluşturmazlar. Göz kırpma refleksinin, bu lazerlere karşı yeterli bir koruma sağladığı öngörülmektedir.

Sınıf 2 M: Optik cihazlar ile bakılmadığı sürece güvenlidir.

Sınıf 3: Doğrudan veya yansıyan ışıklara bakılırken önlem alınması gereken, orta dereceli enerjiye sahip lazerlerdir. İki alt sınıfa ayrılırlar.

Sınıf 3 A: Göze zarar verebilen, 0.1-0.5 mW güç aralığındaki lazerlerdir. Korumasız olarak doğrudan gözle bakılmaması gerekir. Dikkatli kullanıldığında ve doğrudan göz ile temastan kaçınıldığında güvenli olarak kabul edilirler.

Sınıf 3 B: 25 saniyeden uzun süre korumasız olarak, doğrudan bakılırsa zararlı olan lazerlerdir. Bazı oftalmik lazerler bu sınıfa girerler. Doğrudan göz ile temas sonucu yaralanmaya neden olurlar, ancak mat yüzeylerden yansıyan ışınlar göz için tehlikeli değildirler. Koruyucu gözlük kullanılması gereklidir.

Sınıf 4: Lazer ışık gücü 0.5 W' dan daha yüksek, cerrahi ve kesici lazerler bu sınıfadırlar. Bu tür lazerlerin yansıyan ışıkları bile göz ve cilt için tehlikelidirler. Ciltte yanıklar ve kalıcı göz hasarı oluşturabilirler. Patlayıcı materyaller ile temas sonucu yangın tehlikesi vardır. Bu lazerlerde mutlaka güvenlik anahtarı bulunmalıdır. Koruyucu gözlük kullanılması gereklidir (233).

Lazerler, birçok dental işlemde klinik başarıyı arttırmasına rağmen gerekli tedbirler alınmadığında hasta, hekim ve sağlık personeli için zararlı olabilirler (234).

## **2.10. Lazer Kullanımıyla İlgili Alınabilecek Bazı Önlemler**

- Lazer güvenliği eğitimi almış personelin bu tür sistemleri kullanması gerekmektedir.
- Lazer cihazlarının periyodik bakımları yetkili teknisyenler tarafından düzenli aralıklarla ve eksiksiz olarak yapılmalıdır.

- Lazer sistemlerinin fiber optik uçlarının yıpranıp yıpranmadığı her kullanımda kontrol edilmelidir.
- Lazer sisteminin tüm özellikleri dental işlemlerden önce öğrenilmelidir.
- Üretici firmanın uyarılarını içeren kullanım kılavuzları dikkate alınmalıdır.
- Lazer ışığının çıkış noktasına doğrudan koruyucu gözlükle dâhi bakılmamalıdır. Parlak yüzeylerden yansıyan lazer ışınları için çalışılan lazere uygun renkte koruyucu gözlük kullanılmalıdır. Örneğin argon lazerler için koruyucu gözlük amber rengiyken Nd:YAG lazerler için gözlük yeşil renkte olmalıdır.
- Lazer uygulanan mekânların havalandırması ve ışık yalıtımı çok iyi olmalıdır.
- Lazer ışığı uygulanan mekânlardaki sağlık personeli ve hastalar, koruyucu gözlük kullanılmalıdır. Büyütücü özelliği olan operasyon gözlükleriyle lazer ışığına bakılmamalıdır.
- Lazer uygulanan mekânlarda yansıtıcı özellikteki ayna, parlak kaplamalar veya metaller gibi materyaller bulundurulmamalıdır.
- Lazer tedavisi uygulanan odanın kapısı mutlaka kapalı tutulmalı ve üzerine lazer uyarı levhası asılmalıdır.
- Lazer cihazlarına gerekli olan yüksek voltaj için elektrik donanımı buna uygun hazırlanmalıdır.
- Elektrik yangınına yönelik önlemler alınmalıdır.
- Termal kaynaklı cilt hasarları için hastaların üzeri cerrahi örtülerle kaplanmalı ve sağlık ekibi kollarını örten önlüklerle çalışmalıdır.

## 2.11. Lazerlerin Diş Hekimliğindeki Kullanım Alanları

Kozmetik diş hekimliğinde; kron boyu yükseltilmesi, kron çevresinin gingival şekillendirilmesi, diş beyazlatma ve laminat çevresindeki yumuşak dokuların şekillendirilmesinde kullanılmaktadırlar.

Ortodontide; gömülü dişlerin üzerinin açılması ve üzerine braket yapıştırılması, ortodontik hastalarda yumuşak doku şekillendirilmesi, rutin braketleme öncesinde minenin pürüzlendirilmesi ve braket sökümünde kompozitlerin uzaklaştırılması amacıyla kullanılmaktadırlar (237).

İmplantolojide; implantın üzerinin açılması, periimplantitis tedavisinde titanyum yüzey detoksifikasyonunda ve implantın hemen yerleştirileceği vakalarda çekim sonrası socketin dezenfeksiyonunda kullanılmaktadırlar (238). Ayrıca, rehber aparey eşliğinde implant kavitesi de lazer kullanılarak hazırlanabilir (239).

Pedodontik ve restoratif diş tedavilerinde; süt ve daimi dişlerdeki kavite preparasyon, amputasyon ve pulpa kaplamalarında, daimi dişlerde kanal dezenfeksiyonunda, diş çürüğü teşhisinde, koruyucu diş hekimliği uygulamalarında, çürüğün uzaklaştırılmasında, dentin duyarlılığının giderilmesi ve kompozitlerin polimerize edilmesinde kullanılmaktadırlar.

Periodontolojide; periodontal cep tedavisi, gingivektomi, gingivoplasti, rejeneratif periodontal cerrahilerde ve greft uygulamalarında, de-epitelizasyon, granülatöz dokuların uzaklaştırılmasında ve kemik şekillendirilmesinde kullanılmaktadırlar.

Oral cerrahide; frenektomi, biyopsi, operkülektomi, oral yumuşak doku patolojilerinin tedavisi, yumuşak doku düzeltmelerinde, torus uzaklaştırılması, tüberoplasti, rezidüel kret düzeltilmesi, epulis fissuratum eksizyonu, protez stomatitinin tedavisi, apikal rezeksiyon, gömülü diş cerrahisi ve biyostimülasyon amacıyla kullanılmaktadırlar (229).

## **2.12. Endodontide Lazer Kullanımı**

Endodontik işlemlerde lazerler özetlenecek olursa: Dentindeki aşırı duyarlılığının giderilmesinde, pulpadaki kan akımının değerlendirilmesinde, pulpa kapaklaması ve pulpatomide, kök kanal duvarlarının modifikasyonunda, kök kanallarının dezenfeksiyonunda, kök kanal şekillendirilmesi ve doldurulmasında, endodontik cerrahi ve apikal rezeksiyon uygulamalarında kullanılmaktadırlar (240).

### **2.12.1. Pulpadaki kan akımının tesbiti:**

#### **2.12.1.1. Lazer doppler flowmetre (LDF)**

LDF; retina, renal korteks ve cilt gibi mikrovasküler sistemlerin kan akımını belirlemek için kullanılmaktadır. Ancak, pulpaya kan akışını ölçmede de kullanılabilen, daha güvenilir olan ama girişimsel olmayan, nesnel, ağrısız ve yarı sayısal bir yöntemdir. Herhangi bir zararlı uyarana neden olmadığı gibi, kaygılı ya da sıkıntılı hastalar, pulpa canlılığını değerlendirmede güncel yöntemlere göre bu yöntemi daha kolay kabul ederler. Lazer ışığı, bir fiber optik uç yoluyla pulpadan geçer (241). LDF; 1-2 mW'lık bir güçte, yarı iletken diyot lazer olarak He-Ne ve GaAlAs kullanır. He-Ne lazerin dalga boyu 632.8 nm ve yarı iletken diyot lazerinki ise 780-820 nm arasındadır. Kan dolaşımında hareket eden kırmızı kan hücrelerinden saçılan ışığın frekansı değişirken, durağan dokulardan saçılanlar değişmeden kalır. Değişen ve değişmeyen doppler ışığından oluşan bu yansıyan ışık, iletici fiberler tarafından dönüştürülür ve bir sinyal oluşturulur. Bu teknik, hem yetişkinlerde hem de çocuklarda pulpa canlılığının değerlendirilmesi için başarıyla kullanılabilir. Yansıyan sinyalin filtrelenmesinde; bant genişliğinin farklı aralıkları, , daha geniş hız aralığı olan hareketli kırmızı kan hücrelerine daha hassas olacak biçimde ayarlanabilirler (242).

Pulpa canlılığı açısından; teorik olarak 15 kHz gibi geniş bir bant tercih edilirken, pratik olarak 3 kHz gibi oldukça dar bir bant genişliği ideal olabilir. Dişlerle temas halinde olan LDF' nin prob ucundaki üçgen düzeninde; bir kaynak, iki dedektörlü bir yapılandırma ve ışığı hem yollayan hem de alan optik fiberler bulunur. Prob ucundaki optik fiberin ayırma mesafesi ne kadar büyükse, o kadar yüksek sinyal çıkışı o kadar



geniş bir yüzey alanını kaplayacaktır. Bu durum, pulpa kaynaklı olmayan kan akım sinyali kirliliği ihtimalini potansiyel olarak arttıracaktır. Kan akışının nabızsal doğası nedeniyle, yapılan çalışmalardaki sağlam bir pulpa kan akımı olan dişlerin LDF kayıtlarında, ritmik dalgalanmalar veya salınımlar olduğunu gözlemlenmiştir (243).

LDF' nin dezavantajı; pulpanın çizgisel ölçekteki asıl kan akımıyla ilgisi olmayabilen koronal kan akımını tespit etmesidir. Değerlendirme dış faktörlerle ilişkili çevre ve tekniklere oldukça duyarlı olabilir. Alerji ilaçları kadar nikotin kullanımı da uygun olmayan sonuçlar verebilir. Arka dişlere göre ön dişlerde kullanmak daha uygundur çünkü mine kalınlığı da değişik sonuçlar verebilir. PVC splintlerle ışık kontrol edilse bile periodontal dokulardaki, yanlış sonuçlar verebilen ışık saçılımı kirliliğini tamamen ortadan kaldırmak imkânsızdır. LDF, kron ve geniş restorasyon içeren dişlerde kullanışlı değildir.

#### **2.12.1.2. Pulse oksimetre**

Pulse Oksimetre; dolaşan arteriyel kanının oksijen doygunluğu yüzdesini belirlenmesi olarak tanımlanır (244). Oksijenlenmiş ve oksijenlenmemiş hemoglobin, renk olarak birbirinden farklıdır ve bundan dolayı farklı miktarlarda kırmızı ve kırmızıötesi ışık absorbe ederler. Bundan dolayı, pulse oksimetre; hedeflenen damarsal alanın içinden ışık geçirerek incelemek için kırmızı ve kırmızı ötesi ışık yayan, nabızsal kan dolaşımından dolayı soğurma doruğunu belirleyen foto dedektörlere izin veren ve bu yüzden nabız sayısını ve oksijen doygunluğu seviyelerini hesaplayan problemlerden yararlanır. Bir pulse oksimetre; ışığı iki dalga boyuna (kırmızı 660 nm, kırmızıötesi 850 nm) ileten bir foto elektrik diyotu kullanımı ilkesiyle çalışır. Pulse oksimetre; anestezi işlemlerde yaygın biçimde kullanılan ve göreceli olarak pahalı olmayan bir işlemdir. Pulse oksimetre, kolayca canlı ve cansız dişleri birbirinden ayırt edebilir.

#### **2.12.2. Dentin hassasiyeti tedavisi**

Dentin hassasiyeti; açığa çıkmış dentinden kaynaklanan, herhangi bir defekt veya patoloji ile ilişkilendirilemeyip termal, ozmotik veya kimyasal uyarılara cevap olarak oluşan, kısa süreli ve keskin bir ağrı olarak tanımlanmaktadır (245).

Dentin hassasiyeti tedavisinde, düşük çıkış güçlü lazerler (He-Ne, GaAlAs) ve orta çıkış güçlü lazerler (Nd:YAG ve CO<sub>2</sub>) kullanılmaktadırlar. Lazerlerin dentin hassasiyetini nasıl tedavi ettikleri tam olarak bilinmemektedir. Rochkind ve arkadaşları, düşük enerjili He-Ne lazer uygulamasının periferel sinirlerin elektrik aktivitesini ve morfolojisini etkilediğini gözlemledikleri çalışmada, sağlıklı bir sinirdeki aksiyon potansiyeli tek sefer lazer uygulamasıyla % 33 arttığını belirlemişlerdir. Bu çalışmada morfolojik olarak, lazer uygulanan hasarlı sinirlerde lazer uygulanmayanlara göre daha az skar dokusu olduğu rapor edilmiştir (246).

632.8 nm dalga boyundaki He-Ne lazerlerin, 6 mW güçte ve 1-3 dakika arası kullanımının dentin hassasiyetini iyileştirmede başarılı sonuçlar verebileceği bildirilmiştir (247). Wakabayashi ve arkadaşları, düşük güç GaAlAs lazerin 830 nm dalga boyunda ve 350 mW' da, diş yapılarına 120 saniye uygulanmasının, ince miyelinli lifleri etkilemeksizin pulpanın myelinsiz liflerinin uyarılmasını engellediğini gözlemlədiler. Bu sonuç; düşük güç lazer uygulamasının, merkeze giden C liflerinin depolarizasyonunu bloke ederek hasarlı doku üzerinde baskılayıcı bir etkiye sahip olduğu anlamına gelmekteydi (248). Bonin ve arkadaşları, CO<sub>2</sub> lazerlerin cm<sup>2</sup>' ye 570 J enerjiyle dentine uygulanmasının, alttaki pulpayı etkilemeden, dentinal tıkanmayı sağlayabileceğini bildirmişlerdir. Geçirgenliğin azalma kalitesi, enerji seviyesini tanımlayan farklı faktörlere bağlı olduğu bu çalışmandan çıkarılan sonuçlarındandır (249).

### **2.12.3. Pulpa kaplaması ve pulpatomi**

Moritz ve arkadaşları, sürekli dalga CO<sub>2</sub> lazerin direkt pulpa kapaklamasındaki etkinliğini iki yıllık takiple değerlendirdikleri bir çalışmada, kalsiyum hidroksit uygulanan dişlerin canlılığını koruma oranı % 66.6 iken, CO<sub>2</sub> lazeri uygulanan grupta bu oran % 93 olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak; CO<sub>2</sub> lazerin, direkt pulpa kapaklamasının etkinliğini artırmada değerli bir yardımcı olabileceğini bildirmişlerdir (250).

Odabaş ve arkadaşları, insan süt dişleri üzerinde formokrezol pulpatomisi ile Nd:YAG lazer pulpatomisinin klinik, radyografik ve histopatolojik etkilerini karşılaştırdıkları bir

çalışmada, lazer uygulanan dişlerde klinik olarak % 85.71 ve radyografik olarak % 71.42' lik başarı oranına ulaşmışlardır. Formokrezol uygulanan dişlerdeyse, klinik ve radyografik olarak % 90.47' lik bir başarı oranını tespit etmişlerdir. Her ne kadar lazer ve formokrezol grubunda klinik ve radyografik başarı oranları arasında istatistiksel bir fark bulunmasa da enflamatuar hücre cevabı açısından; Nd:YAG lazer istatistiksel olarak daha başarılı olduğunu belirten araştırmacılar, Nd:YAG lazerin süt dişlerine pulpatomi açısından formokrezole bir alternatif olarak değerlendirilebileceği sonucuna ulaşmışlardır (251).

Toomarian ve arkadaşları, köpek süt dişlerinde pulpatomi işlemine formokrezol ile Er,Cr:YSGG lazerin etkilerini kıyasladıkları çalışmada; pulpatomiden 7 gün sonra Er,Cr:YSGG lazer uygulanmış dişlerde, histolojik yönden daha başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Formokrezol pulpatomisinde bu değerlere yakın sonuçları ancak 60 gün sonra gözlemledikleri için Er,Cr:YSGG lazerin, süt dişlerinde pulpatomi işlemi için formokrezol yerine kullanılabilmesini bildirmişlerdir (252). Bu araştırmacılar tarafından pulpa kapaklaması ve pulpatomi amaçlı lazer uygulamasında, çok güçlü lazer enerjisi ortaya çıkaran parametrelerin başarısızlığa neden olabileceği ifade edilmektedir (240).

Lazerler; dokuyu buharlaştırma, kan damarlarını koagüle etme ve tıkama yetenekleri sayesinde pulpatomi için gerekli kansız ve steril bir çalışma ortamı oluşturular. Melcer ve arkadaşları, pulpa dokusuna CO<sub>2</sub> lazeri uyguladıklarında, pulpanın ilk hücre tabakalarında seyrekleşme ve hücre dejenerasyonu oluştuğunu ve 3 ay içinde, odontoblastların uyarılmasıyla veya daha önce fonksiyon gören pulpa hücreleri tarafından üretilen yaklaşık 300 µm kalınlığında kalsifiye dentin oluşumu görüldüğünü bildirmişlerdir. CO<sub>2</sub> enerjisinin pulpaya uygulanması; pulpanın kısmi nekrozuna, çeşitli enflamatuar görünümlere ve 1 ayda 200 µm yeni dentin köprüsüyle yarı-sürekli rejenerasyona yol açtığını rapor etmişlerdir (253).

Dang ve arkadaşları, 3.5 W gücünde CO<sub>2</sub> lazerin pulpa cerrahisi sonuçlarına etkisini köpekler üzerinde inceledikleri çalışmada, lazerin daha iyi klinik ve radyografik sonuçlara neden olduğunu ve ayrıca lazer uygulanan alanın altındaki yapılarda bir hasara rastlanmadığını bildirmişlerdir (254). Bunlara ilave olarak, Wilder-Smith ve

arkadaşlarının CO<sub>2</sub> lazerle köpekler üzerinde yaptıkları pulpa cerrahisi çalışmalarının 1 yıllık takibi sonunda bu yöntem uygulanabilir bulunmuştur (255).

#### **2.12.4. Kök kanallarının şekillendirilmesi**

#20-40 eğelere denk gelen, 200-400 µm çapa sahip ve esnek fiber uçlu lazer sistemleriyle kök kanallarındaki dentini kaldırarak şekillendirmek mümkün olabilmektedir (256). Yapılan çalışmalarda; kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında, lazer sistemlerinin geleneksel yöntemlerle beraber kullanımının, sadece lazer uygulamasından daha etkili olduğu bildirilmektedir (231).

Levy ve arkadaşları, kök kanal temizliği ve şekillendirmesinde Nd:YAG lazeri ve geleneksel yöntemleri SEM değerlendirmesi ile kıyasladıkları çalışmada; lazerin şekillendirmede kullanılabileceği ve kanal duvarlarının temizliği yönünden geleneksel yöntemlere göre başarılı olduğu sonucuna ulaşmışlardır (257).

#### **2.12.5. Kök kanallarının sterilizasyonu**

Lazer, sahip olduğu enerji seviyesi ve dalga boyu özellikleri yardımıyla mikroorganizmalar üzerinde etkilidir (258). Lazer ışığının etkinliği, kök kanal sistemine ulaşmasını kolaylaştıran fiberoptik uçlarla daha da artırılmıştır. Hardee ve arkadaşları, Nd:YAG lazer uygulamasının bakteriyel koloni oluşumunda 2 log azaltma oluşturduğunu rapor etmişler ancak tüm örneklerde sterilizasyon sağlanamadığını da ilave etmişlerdir (259).

McKinley ve Ludlow isimli araştırmacılar, yaptıkları bir çalışmada kök kanallarında endodontik amaçlı argon lazer kullanımı sırasında oluşan buhardan *E. coli* kültürü elde etmişler ve bu sonuca göre diş hekimlerinin, lazer dumanı yoluyla bakteriyel kontaminasyona mâruz kalabileceğini ve enfeksiyon yayılımına karşı gerekli önlemlerin alınması gerektiğini vurgulamışlardır (260).

Yüksek güç ayarlarında kullanılan bütün lazerler, bakterisid etki gösterirler. Uygun olmayan parametrelerde yapılan kök kanallarının sterilizasyonu, periodontal dokularda

termal yaralanmaya yol açabilir (240). Gutknecht ve arkadaşları, 980 nm dalga boylu, sürekli dalga diyot lazerin kök kanalı duvarı dentinindeki antibakteriyel etki derinliğini incelediler. 100 µm derinlikteki bakterilerin % 97' sinin 2.8 W güçte yok edildiğini ve bunun endodontik tedavi başarısını arttırabileceğini bildirdiler (261). Fegan ve arkadaşları, Nd:YAG lazer uygulamasının *B. Stearothermophilus*' un çoğalmasını yavaşlatmakta etkili olduğu sonucuna vardılar (262).

### **2.12.6. Lazerle yapılan kanal dezenfeksiyonu**

Kök kanal dezenfeksiyonunda lazerlerin kullanılmasının düşünülmesinde; el aletleri ve kimyasalların ulaşamayacağı alanlara ışığın ulaşabileceği, paralel demet ve atımlı modun lokalize enerji yoğunluklarıyla sonuçlanabileceği ve monokromasının dalga boyuna özel etkileşimlere yol açması gibi nedenler rol almıştır (263).

Kök dentini temizliğinde kullanılan bazı lazerlerin dalga boyları; CO<sub>2</sub> için 9600-10600 nm, Er:YAG 2949 nm, Nd:YAG 1069 nm, diyot 635-980 nm ve potasyum titanil fosfat (KTP) 532 nm' dir. Lazer ışınlarının düz olarak yayılmasından dolayı yan kanal duvarlarına etki gösterememesi, kök kanal sisteminden smear ve debris tabakasının tamamen kaldırılması işlemini olanaksız kılmaktadır. Kök kanallarının tüm yüzeylerine ışınımı mümkün hale getirmek için endodontik lazer uçlarının geliştirilmesi önerilmektedir (258).

Günümüzde endodontik fiberlerle kök kanal dezenfeksiyonunda iki yaklaşım bulunmaktadır. İlk yaklaşımda; fiber kurutulmuş kanalda kullanılmaktadır. Lazer ışınlarının düz hareket etmesinden dolayı, kök kanal duvarına uygulama için fiber uç dairesel olarak hareket ettirilir. Debris ve smear tabakasını uzaklaştırmak ve biyofilmle etkileşime girmek mümkündür. Kızılötesine yakın lazerlerin etkisi, ağırlıklı olarak fototermal etkileşim üzerine kurulmuştur.

İkinci yaklaşımda; fiber irrigantın içinde olacak şekilde, kanal ağzı seviyesinde veya kanalın içerisinde tutularak kullanılır. Bu yaklaşımın amacı; kavitasyon veya sıvı hareketini lazer aktivasyonu ile oluşturmaktır. Kavitasyon, buhar baloncuklarının oluşumu temeline dayanır. Sıvı ajitasyonu ise baloncukların genişlemesi ve iç patlaması

sayesinde mümkün olmaktadır. Günümüz teknolojisiyle düşük enerji ve kısa aktivasyon sürelerini kullanmak mümkündür. Bu iki parametrenin farklı birleşimleri sayesinde yüksek güç değerleri elde edilir. Sonuç olarak; termal hasar riski olmadan sıvı ajitasyonu yapılabilir. Ancak yine de, erbiyum lazerlerde şiddetli sıvı ajitasyonu riski bulunmaktadır.

Nd:YAG lazer, endodontik açıdan en çok araştırılan lazerdir. 1984 yılında ilk raporlar yayınlandı ve 1990 yılında Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), yumuşak doku cerrahisi için ilk atımlı ve serbest çalışan lazerin satışına izin verdi. Nd:YAG lazerin kanal içinde uygulanmasıyla, termal etkilerine bağlı olarak smear tabakasının camlaşma, erime ve buharlaşması tarif edilmektedir. Ancak EDTA kullanımının, camlaşma oluşumunu önlediğini gösteren bir çalışma da vardır.

Araştırmalar, 1.5 W, 15 Hz ve 90 saniyelik ayarlarda kök yüzeyindeki sıcaklığın 38°C'ye kadar yükseldiğini göstermiştir. Nd:YAG lazer için güvenlik sınırın; 1.5 W, 15 Hz, 100 mJ ayarlarında, 5 saniye boyunca 4 defa fiber ucun helezonik olarak kök içinde hareket ettirilmesi ve aralarda 20 saniye beklenmesi olduğu belirtilmiştir. Antibakteriyel etkisi; tamamen biyofilm ve mikroorganizmalarla olan termal etkileşimine bağlıdır. Ancak siyah pigmente mikroorganizmalar üzerinde ve eğri kanallara etkisi zayıftır (264). *E. faecalis* biyofilmleri üzerine etkisi, fotoaktif dezenfeksiyon ve düşük güç diyet lazerlerden düşüktür. Antibakteriyel etkinliğinin, NaOCl irrigasyonundan düşük veya eşit olduğunu gösteren karşılaştırmalı çalışmalar vardır. Bu nedenle; yüksek enerji yoğunluklarına ihtiyaç duyması, geleneksel kanal dezenfeksiyon yöntemlerinden üstün olmaması ve tüm kök kanal sistemine ulaşamaması, endodontideki kullanımını sınırlamaktadır.

Uygun dalga boyu, güç, ışınma süresi ve atım sayısı gibi birçok parametrenin ayarlanmasıyla, lazerlerin fototermal ve fotomekanik etkilerinin oluşması sağlanır ve dentin, smear tabakası, debris ve pulpa artıkları kök kanal sisteminden buharlaştırılarak uzaklaştırılabilir. Fototermal etkilerin etkisi; dentinin 1 mm içerisine kadar etki ederek mikroorganizmaların hücre duvarını yıkar ve derin dentin tabakalarında bile dekontaminasyonu gerçekleştirir. Orta kızılötesi lazerler, su içeren dentin tarafından

absorbe edildikleri için kanal dentininde yüzeysel ablyasyon ve bakterisidal etkiler meydana getirirler (265).

Su açısından fakir kalsifiye peritübüler kısımlardan çok, su açısından zengin intertübüler bölgelerde bu etki oluşmaktadır. Fototermal etkiler; dentin yüzeylerinde erime, mineral matriksin rekristalizasyonu ve karbonizasyonla birlikte yüzeysel mikro çatlaklar gibi istenmeyen durumlar oluşturabilirler. Eksternal kök yüzeylerinde oluşan termal hasarın miktarı; güç yoğunluğu, lazer ışınına maruz kalma süresi ve atım aralığı gibi lazer enerjisi parametrelerine bağlıdır (266).

Er,Cr:YSGG lazer dezenfeksiyon için uygulanmadan önce, kök kanallarının biyomekanik preparasyonu tamamlanmalıdır. Fiber uç, kök kanalının apikaline yerleştirildikten sonra çalıştırılmalı ve dairesel hareketlerle kanaldan çıkarılmalıdır.

Lazer enerjisi en düşük seviyede kullanıldığında, istenmeyen ablatif ve termal etkiler en aza inmektedir. Yüksek lazer enerji seviyeleriye, su moleküllerini uyararak kanal içi irrigasyon solüsyonlarının dentin duvarlarında fotomekanik ve fotoakustik etkiler oluşturmasını sağlar. Dentin duvarlarından smear tabakası ve debrisin temizlenmesinde, bakteriyel biyofilm tabakasının uzaklaştırılmasında ve kök kanal sisteminin dekontaminasyonda bu etkilerin rol aldığı birçok araştırmacı tarafından iddia edilmektedir. Abad Gallegos ve arkadaşları, Er,Cr:YSGG lazerin diş kökünün dış yüzeyinde, 1 W güçte 3.84 ° C ve 2 W güçte 5.01 ° C sıcaklık artışı oluşturduğunu ölçtüklerinde bu artışın klinik olarak önemsiz olduğunu ve lazer uygulanan dişe komşu periodontal ligamentte ve alveoler kemikte zarar oluşmadığı sonucuna vardılar (267).

Arnat ve arkadaşları, Er,Cr:YSGG lazerin 2 W güçte, 20 Hz' de, 60 saniye uygulanmasının, *Enterococcus faecalis* üzerinde % 5' lik NaOCl kadar etkili olduğunu rapor etmişlerdir (268). Ishizaki ve arkadaşları ise, Er,Cr:YSGG lazerin karbonizasyon ve erime oluşturmadan smear tabakası ve debrisi kaldırmada, 400 µm çapında fiber uçla 5 W güçte kullanımının etkili olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre; periodontal ve kemik dokulara en az zarar verecek sıcaklık artışının sağlanabileceği kanıtlanmıştır (268).

De Moor ve arkadaşları, Er,Cr:YSGG lazerle yapılan irrigasyon solüsyonu aktivasyonunun, debris oluşturulan yapay oluktan PUI ve geleneksel irrigasyon tekniklerinden daha başarılı biçimde kaldırdığı sonucuna vardılar (269). Silva ve arkadaşlarıysa, Er,Cr:YSGG lazerin endodontik tedavisi sonrası kök kanal dentin geçirgenliğini arttırdığını bildirmişlerdir (270). Eldeniz ve arkadaşları, düz kanala sahip köklere uygulanan Er,Cr:YSGG lazerin, *Enterococcus faecalis* sayısını belirgin oranda düşürmesine rağmen tamamen yok edemediğini bildirmişlerdir (271). Wang ve arkadaşları, bakterisidal etkinlik açısından Er,Cr:YSGG ile Nd:YAG lazerin her ikisini de belirgin olarak etkili bulsa da, Nd:YAG lazerin daha başarılı olduğunu rapor etmişlerdir (272).

Er,Cr:YSGG lazerin endodontik amaçlı tasarlanan ilk fiber uçlarında, lazer ışığının çoğu doğrusal biçimde kök kanalına yayılırken çok az bir kısmı da açışal olarak yayılmaktaydı (273). Daha sonra yapılan değişikliklerle modifiye radial firing uçlar (RFT) üretildi. 60° lik koniklikte tasarlanan bu uçlar, kök kanal duvarlarında daha homojen bir lazer ışması sağlayabilmektedirler.

Schoop ve arkadaşlarının yaptığı bakteriyolojik değerlendirmede, bu uçlarla uygulanan Er,Cr:YSGG lazerin kesin bir dezenfeksiyon etkisi görülmüştür. SEM analizinde ise, smear tabakasının homojen biçimde kaldırıldığı gözlemlenmiştir (273). Gordon ve arkadaşları, RFT ile kullanılan Er,Cr:YSGG lazerle *Enterococcus faecalis* üzerinde elde edilen dezenfeksiyon etkisinin 120 saniyelik NaOCl uygulamasına eşdeğer olduğunu ve bakteri sayısındaki % 99.7' lik azalma sayesinde endodontik tedavi için etkili bir antimikrobiyal yöntem olduğunu bildirmişlerdir (274).

### **2.12.7. Kök ucu kavitesi hazırlanması ve retrograd dolgularda mikrosızıntının önlenmesi**

Karlovich ve arkadaşları, kök ucu kavite preparasyonunda Er:YAG lazeri ultrasonik cihazlarla karşılaştırdıklarında farklı retrograd dolgu maddelerinin mikrosızıntısının en az Er:YAG lazerle hazırlanan kavitelerde görüldüğünü bulmuşlardır (275). Oliviera ve arkadaşlarıysa, Er:YAG ve Nd:YAG lazerler ile apisektomi yapıp kök ucu kavitesi hazırlanan dişlerin dentin ve kenar geçirgenliğini değerlendirdikleri araştırmalarında



SEM görüntülerine göre lazer uygulanan dişlerde daha az sızıntı oluştuğunu göstermişlerdir (276).

### **2.12.8. Lazerlerin periapikal cerrahide kullanımı**

Friedman ve arkadaşları, CO<sub>2</sub> lazerin apikal cerrahi başarısına etkisini değerlendirmişler ancak lazer uygulamasının tedavi sonuçlarını etkilemediğini rapor etmişlerdir (277). Stabholz ve arkadaşları apisektomi işlemi sırasında Nd:YAG lazerle kesilen kök ucu dentinini inceledikleri araştırmada Nd:YAG lazerin apikal dentin yüzeylerini erittiğini ve erimiş materyalin birbiriyle bağlantılı cam damlacıkları görüntüsünde olduğunu bildirmişlerdir. Bu araştırmanın sonuçlarından biri ise erimiş alanlardaki yeniden katılaşmaların ve kristalleşmelerin eksik ve aralıklı olduğu olarak belirtilmiştir (278).

Wong ve arkadaşları, apikal rezeksiyon sonrası bakteri ve boya geçirgenliği açısından amalgam dolgu ve Nd:YAG lazer uygulamasının kıyaslandığı çalışmalarında; iki yöntem arasında istatistiksel bir fark bulamamışlardır (279).

### **2.12.9. Guta perkanın yumuşatılarak kök kanallarının doldurulması**

Maden ve arkadaşları, Nd:YAG lazerle yumuşatılmış guta perka ile doldurulan kanalların, apikal sızdırmazlık yönünden lateral kondensasyon tekniği veya Sistem B tekniği kullanılan dişlerle benzer sonuçlar verdiğini göstermişlerdir (280). Ancak, Anić ve arkadaşları CO<sub>2</sub>, argon ve Nd:YAG lazerlerle yumuşatılmış guta perkanın kök kanalını tıkama yeteneğini incelediklerinde; CO<sub>2</sub> ve Nd:YAG lazer sistemlerinin, tüm kök kanalı boyunca vertikal dolum yapmada yetersiz kaldıklarını tespit etmişlerdir. Sadece argon lazerin, apikal kısımdaki guta perkayı başarıyla yumuşatabildiği için iyi bir apikal dolum sağlayabileceğini bildirmişlerdir (281).

### **2.12.10. Kök kanal dolgusunun yenilenmesi**

Keleş ve arkadaşları, oval şekilli kanallardan döner alet sistemi, Er:YAG lazer, Er:YAG lazer temelli foton başlatıcılı fotoakustik akım (PIPS) ve Nd:YAG lazer kullanarak kanal dolgusu çıkarmayla ilgili bir in vitro çalışma yapmışlardır. Tüm örneklerin apikal

üçlü kısmında ve kanal düzensizliklerinde dolgu artıklarının kaldığını görmüşler ve Er:YAG lazerin, Er:YAG lazer temelli PIPS' den daha çok dolgu maddesi uzaklaştırdığını, en iyi sonuçların ise döner alet sonrası Er:YAG lazer kullanımıyla elde edildiğini bildirmişlerdir (282).

Aynı şekilde, Tachinami ve arkadaşları da, Er:YAG lazerin kök kanal dolgusu uzaklaştırma etkinliğini değerlendirdiklerinde; enerji seviyesi arttıkça gerekli olan çalışma süresinin kısaldığını ve Er:YAG lazerin kanal dolgusu sökümü için kullanışlı olduğunu ortaya koydular (283). Viducic ve arkadaşları ise, Nd:YAG lazeriyle beraber ökalptol ve dimetil formamit gibi guta çözücülerin kullanımını incelediler. Sadece Nd:YAG lazer kullanımının guta yumuşatmak için yeterli olduğu ve ilaveten çözücü kullanımının, ne gerekli olan işlemin süresini kısalttığı ne de kök kanal duvarlarında artakalan guta perka miktarını azalttığı sonucuna vardılar (284).

### **2.12.11. Diş beyazlatma**

CO<sub>2</sub>, argon ve 980 nm dalga boylu GaAlAs lazerler bu amaçla kullanılmışlardır (285). Daha ince, esnek ve sağlam lazer fiber uçları geliştikçe, lazer hızlı ve güçlü beyazlatma sağlayan bir yöntem olmuştur. Buna karşın lazer sistemlerinin gücü arttıkça, çevre dokularda termal hasar oluşma riski de artmaktadır (256). Bu durumu incelemek için Luk ve arkadaşları, argon ve CO<sub>2</sub> lazerlerin beyazlatma işlemi sırasında diş yüzeyinde oluşturduğu termal değişiklikleri değerlendirmişler ve CO<sub>2</sub> lazerin en yüksek sıcaklık artışına neden olduğunu ve beyazlatma etkisinin en fazla ancak sıcaklık artışı en az olan parametrelerin seçilmesi gerektiğini bu çalışmada vurgulamışlardır (286).

Eldeniz ve arkadaşlarıysa, diyot lazerle beyazlatma işleminde pulpada oluşan sıcaklık artışını ölçtüklerinde, diyot lazerin beyazlatma işleminde pulpal sağlık için kritik olabilecek yükseklikte sıcaklık artışına yol açtığını görmüşlerdir (287).

### **2.12.12. Diş kırıklarının önlenmesi**

Atımlı Nd:YAG, CO<sub>2</sub> ve argon lazerler bu amaçla kullanılabilirler. Örneğin, Yokoyama ve arkadaşları, % 38' lik diamin gümüş florür [Ag(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F] çözeltisiyle beraber

Nd:YAG lazerin beraber uygulamasının endodontik tedavi görmüş dişleri kırılmaya karşı dirençli hale getirdiğini iddia etmektedirler (288).

### **2.13. Lazer Uygulamasına Bağlı Kök Kanal Duvarlarındaki Değişimler**

Miserendino ve arkadaşları, Nd:YAG lazerle kanal preparasyonunun kök kanal duvarına etkilerini incelediklerinde, geçirgenliğin belirgin biçimde azaldığını gözlemlediler (289). Aynı şekilde, Saunders ve arkadaşları Nd:YAG darbeli lazeri kök kanal temizliğinde kullandıkları araştırmada; debrisin ve pulpa dokusunun tamamen kaldırabildiğini bildirmişlerdir ancak dentin talaşı ve hidroksiapatitlerle kaynaşmış apikal bir tıkaç oluşturamayacağını bildirmişlerdir (290).

Koba ve arkadaşları, Nd:YAG lazer uygulamasının debrisi tamamen kaldırdığını, uygun parametreler seçilirse Nd:YAG lazerin tek seansta kök kanal tedavisi için uygun olduğunu bildirmişlerdir (291). Aynı biçimde, Harashima ve arkadaşları da, 2 W güçte ve saniyede 20 atımlı Nd:YAG lazerin, hem smear tabakasını hem de debrisi dentin tübül ağızlarıyla dolu kök kanal duvarından temizlediğini ancak kanalın iç yapılarında erimelere neden olduğunu gözlemlemişlerdir (292).

Koba ve arkadaşları başka bir çalışmalarında, Nd:YAG lazer uygulandığında periapikal bölgede oluşan morfolojik değişiklikleri değerlendirmişler ve 1 W güçteki 2 saniyelik ışımanın, kök kanallarında karbonizasyona ve periapikal bölgede enflamasyona neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre; pulpanın çıkarılmasından hemen sonra debris temizliği işleminde, daha düşük güç ayarlarındaki Nd:YAG lazerin yan etki oluşmadan kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Histopatolojik olarak yaptıkları çalışmadaysa, lazer kullanımından 8 hafta sonra periapikal bölgede daha az enflamasyon görüldüğünü belirtmişlerdir (293). Miserendino ve arkadaşlarıysa, ısıl olarak soğutulan Nd:YAG lazer uygulaması sonunda, dentin permeabilitesinde azalma olduğunu tespit etmişlerdir (289).

Moshonov ve arkadaşları, 300 µm fiber optik uçla, 2 W güçte ve 100 milisaniyelik atımlarla 5 saniye kullanılan argon lazerin, prepare edilmiş kök kanal sisteminden etkili bir debris temizliği gerçekleştirdiğini bildirdiler (294). Harashima ve arkadaşlarıysa,

argon lazerin; 1 W güçte, atış frekansı 0.05 saniyede ve 5 Hz ayarlarında kullanımının debrisini çoğu örnekte tamamen temizlediğini ve kavitede buharlaşmış pulpa dokusu artıklarının bulunduğunu gözlemişlerdir (295).

Matsuoka ve arkadaşları, Er:YAG lazerin apikal kısımdaki kök kanal duvarlarında debris kalıntılarını uzaklaştırma yönünden etkili olduğu sonucuna varmışlardır (296). Takeda ve arkadaşlarıysa, morfolojik açıdan geleneksel temizlik yöntemleriyle Er:YAG lazeri kıyasladıklarında; lazer uygulanmış dentin yüzeylerinin klasik metotlarla temizlenmiş alanlara göre debristen daha iyi arındırıldığını, dentin tübüllerinin açık olduğunu ve smear tabakasının buharlaştığını tespit etmişlerdir (297). Buna ek olarak SEM incelemesinde; 1 ve 2 W güç ayarları arasında istatistiksel olarak smear tabakası temizliği açısından da bir fark bulamamışlardır (295).

Aynı araştırma grubu, % 6 fosforik asit, % 6 sitrik asit ve % 17 EDTA solüsyonlarıyla final irrigasyonu ile CO<sub>2</sub> ve Er:YAG lazerlerin smear tabakasını kaldırma etkinliğini karşılaştırmışlar ve fosforik ve sitrik asitin EDTA' dan daha etkili olduğunu ve hiçbir solüsyonun smear tabakasını tamamen kaldıramadığını bildirmişlerdir. İlave olarak bu asidik irriganların, tübüller arasındaki dentini demineralize ettiğini, tübül açıklıklarını genişlettiğini ve CO<sub>2</sub> lazerin orta ve apikal uçludaki dentini kömürleştirerek, eriterek, yeniden kristalleştirerek ve camlaştırarak smear tabakasını yok ettiğini bildirmişlerdir. Er:YAG lazerin ise, smear tabakası temizliğinde CO<sub>2</sub> lazerden daha etkili olduğunu vurgulamışlardır (298).

Tewfik ve arkadaşları, Nd:YAG lazerin 532 nm dalga boyundaki bir modifikasyonu olan KTP/532 lazerin uygulandığı kök dentinindeki yapısal ve fonksiyonel değişiklikleri inceledikleri bir çalışmada; her ne kadar smear tabakası yüzeyinde değişimler gözlenirse de, dentin geçirgenliğinde dentin tübüllerinin ağızlarındaki genişlemeye bağlı olarak küçük bir artış görüldüğünü bulmuşlardır (299). İlaveten, Machida ve arkadaşları, KTP:YAG lazerin termal ve mikroyapısal etkilerini incelediklerinde; 3 W, 2 saniye ve 5 Hz ayarlarında periodontal dokulara ısısal bir hasar oluşturmadan debris ve smear tabakasının kaldırıldığını rapor etmişlerdir (300).

Stabholz ve arkadaşları, 308 nm dalga boyundaki XeCl excimer lazer,  $\text{cm}^2$ ' ye 1 J enerji uyguladığında dentini eriterek dentin tübüllerini tıkayabileceğini göstermişlerdir. 4 J ve üzeri ayarlarda dentin tübüllerinin açıldığı ve eriyen dentinde kırılmalar olduğu çalışmada rapor edilmiştir (301). Yine aynı araştırmacılar, bu kez XeCl 308 nm excimer lazerin boya geçirgenliği üzerine etkisini değerlendirmişler ve her bir  $\text{cm}^2$ ' ye 0.7 J enerji uygulandığında, koronal dentinin mavi boya geçirgenliğinin belirgin biçimde azaldığını bildirmişlerdir (302).

Dankner ve arkadaşlarıysa, 25 Hz frekansta, 4 saniye sürede ve 1 J enerjide XeCl 308 nm excimer lazerin dentinin mineral yapısına ve morfolojisine etkilerini incelediklerinde; fosfor seviyesinin belirgin biçimde düştüğünü gözlemlemişlerdir. Kalsiyum, sülfür ve potasyum seviyelerinde ölçülen düşüşlerin istatikselsel olarak anlamlı olmadığını ve kısmen erimeye bağlı oluşan tıkalı dentin tübüllerinin yanında çatlakların da bulunduğunu bildirmişlerdir (303).

## **2.14. Diş Hekimliğinde Erbiyum Lazerler**

Esas olarak; mine, dentin, sement ve kemik gibi sert dokular için tasarlanan erbiyum lazerler yumuşak dokular için de kullanılmaktadırlar. Suyu absorpsiyonu en yüksek lazer olmasının yanında hidroksiapatite ve kollajene afinitesi de yüksektir (304). Erbiyum lazerlerin ortak özellikleri bulunsa da, Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerler olarak iki farklı türü vardır (204). Her iki lazerin de aktif ortamı katı kristaldir ancak dalga boyları farklıdır. Er:YAG lazer 2940 nm, Er,Cr:YSGG lazer ise 2790 nm dalga boyuna sahiptir. Sahip oldukları dalga boyları; elektromanyetik spektrumun gözle görülmeyen ve iyonize olmayan kızılötesi bölgesindedirler (227).

İlk başlarda her çeşit kavitenin preperasyonu için kullanılan bu lazerler, günümüzde; yumuşak doku kaldırmada, endodontik kanallardaki bakterilerin dezenfeksiyonunda, oral ve maksillofasiyel cerrahide kemik dokuların kaldırılması için yüksek hızlı el aletlerine alternatif olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca periodontolojide; kalkulusların kaldırılması dâhil birçok işlemde kullanılabilirlerdir. Sert doku lazerlerinin; titreşimleri, anguldurvanın sesli vınlamasını, mikro çatlakları ve yaygın olarak yüksek hızlı el aletleri ile ilişkili olan ve hastaların korktuğu rahatsızlıklardan bazılarını azaltma

veya ortadan kaldırma yetenekleri etkileyicidir. Buna ek olarak, bu lazerler birçok dental işlem için gerekli lokal anestezi miktarını da azaltabilirler (305).

Deneysel çalışmalarda; Er:YAG lazerin diğer lazer tipleri ve endodontik irrikanlardan daha etkili kök kanal duvarı temizliği yaptığı , debris ve smear tabakasını kaldırdığı ve dentin duvarlarındaki tübülleri açtığı gözlenmektedir (298, 306).

Erbiyum lazerlerin etkileri; güç ayarları, enerji iletim modu, lazerin tipi ve durumu, hedeflenen doku ve su soğutması gibi birçok faktöre bağlıdır (307). Erbiyum lazer ucu yerleştirildiği kanaldan dairesel hareketlerle geri çekilirken, tüm yüzeylere ışınım yapılmadığı için dentin tübüllerinin tamamı açılmamaktadır. Güç ayarlarındaki farklar, smear tabakası kaldırma etkinliğinde belirgin değişikliklere yol açmamaktadır (296, 308).

Erbiyum grubu lazerlerin bakterisidal etkisi, bakteri hücreesindeki suyun lazer ışığını absorbe ederek hücrenin buharlaşmasıyla meydana gelir. Mehl ve arkadaşları, Er:YAG lazerin uygulama süresine bağlı olarak 50 mJ' da, saniyede 15 atımla NaOCl uygulaması kadar etkili bir antimikrobiyal etki yaptığını belirtmişlerdir (309). Yumuşak dokular üzerinde de kullanılabilen erbiyum lazerler, derin dokulara zarar vermezler. Dokuya penetrasyon özelliklerinin zayıf olmasından dolayı koagülasyon etkileri zayıftır ve bu yüzden hemostatik amaçlı kullanımları sınırlıdır (204).

Hem sert hem de yumuşak dokularda kullanılabilen erbiyum sınıfı lazerlerin, dokuların içerdiği su miktarlarının farklı olması nedeniyle uygulanması gereken enerji seviyeleri de farklı olmalıdır (305). Diş sert dokularındaki lazer uygulamalarında, 'hidrokinetik etki' olarak isimlendirilen, su spreyi ile lazer enerjisi arasındaki ilişki önemlidir. Uygulama sırasında, lazer enerjisi diş sert dokuları tarafından absorbe edilerek mine, sement ve kemik gibi sert dokuların uzaklaştırılmasında termal hasar yaratmaz (310).

Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerler yumuşak dokularda da kullanılabilirler. Düşük derinlikte etkin olarak çalışan erbiyum lazerler, daha derin dokulara hasar vermezler. Minede 4-8 W, dentinde 2-5 W, çürük dokularda 1-3 W, kemikte 1.5-3 W ve yumuşak dokularda 1-3 W arası enerji düzeyleri uygundur (305). Moritz ve arkadaşları,

antibakteriyel açıdan; erbiyum lazerlerin Nd:YAG ve Ho:YAG lazerlerden daha etkili olduklarını göstermişlerdir (311).

Er,Cr:YSGG lazerin düz endodontik uçla kullanılması, her atımla beraber kanal içerisinde sıvı hareketi oluşturur ve bu hız 100 km/saat' e çıkar. Bu durum, kavitasyon etkisinin kanal içine ve dışarı doğru yüksek hızlı sıvı hareketlerini başlatmasından kaynaklanmaktadır. Ani ısınmaya bağlı olarak, irrigantın buharlaşmasıyla oluşan yüksek basınçlı buharın varlığı gösterilmiştir. Sürecin sonunda, genişleyecek ve şiddetle içeriye doğru çekilecek olan baloncuk oluşumu ortaya çıkar. Bu baloncuklar hem suda hem de NaOCl' de aynı şekilde oluşur.

Erbiyum lazer saçılımının enerjisi, neredeyse tamamen lazer ucunun bitişiğindeki 10 µm kalınlıktaki irrigasyon solüsyonu tarafından emilir. Sıvı anında kaynama derecesine kadar ısınır ve 1 mikrosaniye içinde buhara döner. Buhar baloncuğunun genişlemesiyle, lazer ışığının önünde bir boşluk oluşur. Buhar balonu, lazer ışınımı bitene kadar genişler. Bittiğindeyse buhar baloncuğu büzölmeye başlar. Baloncuğun etrafındaki sıvı, daha sonra açılmış buhar boşluğunun içine akar. Şiddetle içeriye doğru çekilme anında, başlangıçta süpersonik daha sonra sonik hızda ilerleyen basınç dalgaları üretilir. Baloncuğun çökmesi sırasında, baloncuk-alt tabaka ve/veya baloncuk-serbest yüzey etkileşiminin bir sonucu olarak yüksek hızlı sıvı akışı da oluşur.

Geniş buhar baloncuğunun tamamen çökmesinden sonra çok sayıda küçük kavitasyon baloncukları görülür. Bu baloncuklar, lazer fiber ucunun etrafındaki suyun basıncının ani ve geniş kapsamlı değişimine bağlı olarak çok sayıda yeni kavitasyon baloncuğunun çekirdeklenmesiyle oluşur. Bu fenomen, bir yankılanma olarak tarif edilebilir. İkincil baloncuklar; ilk buhar baloncuğundan çok daha küçüktürler ve çöktükten sonra azalan sayılarda tekrar tekrar kaybolarak daha da küçük baloncuklar oluşturabilirler.

Matsumoto ve arkadaşları, kavitasyon baloncuklarının sayısının ve kavitasyon görünüm sıklığının, kök kanal sistemini taklit eden modellerde sadece suda oluşanlardan daha fazla olduğunu bulmuşlardır (312). Lazerle aktive edilen irrigasyonda, lazer ucu sıvıyla dolu kanal içerisine uygulanır. Lazerle uyarılmış baloncukların neden olduğu çöküntü şoku dalgaları ve hızlı akım, temizlik işlemini gerçekleştirir. Baloncuğun yanlara doğru

serbestçe genişlemesi kanal içinde mümkün olmadığından, irrigant kanal içinde ileriye ve geriye itilir. İrrigasyon solüsyonunun, buharın ileri doğru genişlemesini engellemesinden dolayı baloncuk, fiber boyunca geriye doğru büyür. Baloncuk içerisindeki basınç, uzun bir süre yüksek kalır çünkü küçük kanal içerisinde yer değiştirebilmek için su direncine karşı mücadele etmesi gerekmektedir. Bu sürecin, kapalı bir ortamda olmayan suya kıyasla genişleme ve iç patlama dinamiklerini 3 kat geciktirdiği gözlenmiştir (313).

Kanal içinde yana ve ileri doğru genişleme, kanal duvarı tarafından sınırlanmaktayken geriye doğru genişleme de, kanalın lümenini daha da küçük hâle getiren fiber uç tarafından engellenir. Bu durum; kanal duvarı boyunca irrigantın temizleme yeteneğini arttıran makaslama stresini oluşturur. Dahası, ikincil kavitasyon baloncuklar, sonraki lazer atımlarıyla aktifleştirilir ve kök kanal duvarı boyunca konumlandığında iç patlamaları ve bölgesel olarak yüksek güçlerle duvara dik mikro akımları oluştururlar. Bu mekanizma, kök kanal duvarlarındaki hücrelerin ve smear tabakasının parçalanmasına da katkıda bulunabilir (263).

Kavitasyon fenomenini etkileyen farklı lazer parametreleri vardır:

1. Atım enerjisi, baloncuğun süresine ve boyutuna etki eder.
2. Fiber ucun çapının artması, baloncuğun da boyutunu artırır.
3. Atım uzunluğu, baloncuğun boyutunu ve az da olsa şeklini belirler. Daha kısa atımlar daha geniş baloncuklar oluştururken daha uzun atımlar baloncuğun boyutunu azaltır.
4. Fiber ucun şekli, büyük oranda kavitasyon şeklini belirler. Düz fiber uçlar, oval sferoidal baloncuklara yol açar. Sferoidin bir kutbu fiber uçta, diğeri ise ucun birkaç milimetre uzağında konumlanmıştır. Açılı fiber uçlar, fiber ucunun kürenin merkezi olarak hareket ettiği daha sferik baloncuklar oluştururlar. Düz sonlanan konik uç, elma şekilli baloncuklar meydana getirir.



5. Atım frekansının etkisi tam olarak araştırmamış olsa da, frekans sıklığının artmasının, atım etkisiyle dalgaların üst üste gelmesine neden olabileceği ifade edilmektedir. Bu risk yüzünden, çok sayıda lazer sabit bir frekansta kullanılır.

Fiber uç, apekse 5 mm mesafede kullanıldığı zaman subablatif ayarlarda kullanılır. Yapay kanal düzensizliklerinden debris kaldırmanın değerlendirildiği çalışmalarda, aynı enerjiyle atım süresinin azalmasının daha yüksek doruk güçlerine yol açtığı gösterilmiştir.

Lazer aktivasyonlu irrigasyon uygulamasında, fiberin kanal içinde sabit tutulması veya apekse 1 mm mesafeden 4 mm mesafeye yukarı aşağı hareketle kullanılmasının, kanal düzensizliklerinden debris ve smear tabakası kaldırmada, PUI' la karşılaştırıldığında, daha başarılı olduğu bildirilmiştir (263, 269, 314-316).

Tüm lazer grupları, önemli derecede apikalden taşmaya yol açacak etkiler meydana getirirler. George ve arkadaşlarının yaptıkları boya deneyinde, erbiyum lazerlerin irrigasyon aktivasyonunda kullanıldığı örneklerde, klasik irrigasyona kıyasla, 4 katı fazla boya saçılımı gözlenmiştir (316). Araştırmacılar, bu sonucu; atımlı erbiyum lazerlerin, akıcı irrigasyon sıvısının mikro damlacıklarını apikal daralımın ötesine itmek için yeterli kuvvette basınç dalgaları oluşturabilmesiyle açıklamaktadırlar. Özellikle dişin apikal forameni büyükse veya fiber uç, apikal foramene çok yakın konumlandırıldığında bu durum ortaya çıkmaktadır.

### **2.14.1. Er:YAG lazerler**

2940 nm dalga boyundaki Er:YAG lazerlerde; erbiyumla karıştırılmış itriyum alüminyum garnet, katı kristal aktif ortamı bulunmaktadır. Er:YAG lazerlerde oluşan ışık, fiber optik kabloların yanında reflektörlerle donatılmış hortum sistemiyle de hedeflenen dokuya iletilir. Er:YAG lazer sistemler mutlaka su ve havayla beraber alıştırılmalıdırlar. Er:YAG lazerler, dental dokuları kaldırmada etkili oldukları kadar çürük temizleme de kullanılmaktadırlar. Ancak Martínez-Insua ve arkadaşları, mine ve dentini Er:YAG lazerle pürüzlendirdiklerinde rezin bağlanımında başarısızlık tespit etmişlerdir (204). Cozean ve arkadaşlarıysa, Er:YAG lazerin sert diş dokularının

tedavisinde; çürük kaldırma, kavite preparasyonu ve mine asitlemesinde kullanımının hem güvenilir hem de etkili olduğunu bildirmişlerdir. FDA'ın insan dişlerini kesmek amacıyla kullanılan ilk lazere onay verdiğini de vurgulamışlardır (317).

Schoop ve arkadaşları, Er:YAG lazerin belirgin bakterisidal etkisinin; uygulanan çıkış gücüne ve bakteri türlerine bağlı olduğunu vurguladılar. Kök kanal duvarlarında dentinin kesintili biçimde kaldırıldığını ve kök yüzeyindeki maksimum sıcaklık artışın 4.5 °C 'yi bulduğunu bildirmişlerdir (318).

Ebihara ve arkadaşlarıysa, Er:YAG lazerin atış süresi, tekraylayan ışımaya ve su spreyi soğutması parametrelerinin dentine etkilerini incelemişlerdir. Konfokal lazer tarama mikroskobu (CLSM) ve SEM'le yapılan incelemelerde, kavitelerin pürüzlü olduğu ve debris içermediği gözlemlenmiştir. Bu araştırmada; lazer enerjisinin, elektromanyetik dalga boyunun değiştirilmesiyle, preparasyon işlemlerinde faydası olabilecek farklı etkileri kök kanal yüzeyinde başlatabileceği bildirilmiştir (307).

Er:YAG lazerlerin, seçici biçimde diş taşlarının temizlenmesinde kullanılabilecekleri Schwarz ve arkadaşları tarafından bildirilmektedir. Klinik kullanımda; Er:YAG lazerlerin kök yüzeyinde pürüzsüz bir morfoloji oluşturduğu, SEM görüntüleriyle tespit edilmiştir (319). Yine aynı araştırmacı grubu, kök yüzeyi düzleştirilmesi açısından karşılaştırıldığında; Er:YAG lazerin cerrahi olmayan periodontal tedaviler için uygun bir alternatif sunabileceğini söylemektedirler (320).

Kök kanal sisteminin etkili temizliği için Stabholtz ve arkadaşları tarafından yanlardan ışımaya yapan uçlar tasarlanmıştır (321). Yanlardan lazer ışığı saçabilen bu spiral endodontik ucun; kenarları kazınmıştır, altın kaplıdır ve konik şekillidir. Ucu ise apikal foramenden transmisyonu önlemek için kapatılmıştır. Er:YAG lazer, ışınımını tüm uç boyunca uzanan spiral bir yarıktan kök kanal duvarlarına yayar. Bu ucun sınırlamaları ise; #60 boyuta kadar kanal preparasyonu ve apikal sonlanmaya kadar ucun yerleştirilmesinin gerekmesidir.

2010 yılında DiVito, "foton başlatıcılı fotoakustik akım (PIPS) ucu" olarak adlandırılan tasarımı tanıttı. Bu ucun son 3 mm'indeki poliamit kılıf soyulmuştur ve

açılı dairesel ateşleme yeteneğine sahiptir. Diğer uçlarda olduğu gibi kök kanalının içine yerleştirilmek yerine, pulpa odasında tutulması yeterlidir. Atımlı lazer işlemi, irrigant içerisinde fotoakustik şok dalgalarını uyarır ve bu dalgalar kök kanal sistemi boyunca yayılarak üç boyutlu hareket ederler. 10 veya 20 mJ gibi düşük ve subablatif atım enerjilerinin kullanılması, diğer yöntemlerde görülen termal etkileri en aza indirir. 50 mikrosaniye gibi kısa atımlar sayesinde, düşük atım enerjilerinde bile organik dentin yapısına termal zarar vermeden, smear tabakası ve debris uzaklaştırmada artış sağlayan bir yüksek güç oluştururlar.

PIPS tekniğinin, hem EDTA hem de NaOCl' le kullanımının; kök kanal sistemindeki bakteri miktarını ve onunla bağlantılı olarak biyofilmi üç boyutlu olarak azalttığı gözlenmiştir (322). Konik uçlar, düz uçlara oranla üç kat yüksek optodinamik dönüşüm etkinliğine sahiptirler.

Lewandrowski ve arkadaşları, maksillofasiyal cerrahide Er:YAG lazerle delme osteotomilerinin kemik iyileşmesini karşılaştırdıkları çalışmada; Er:YAG lazerin, ince ve kırılğan kemik olan bölgelerde klinik olarak kullanılabilceği sonucuna varmışlardır. Bunun sebebinin atımlı Er:YAG lazer; kemik ile fiziksel temas gerektirmemesi, minimal termal hasar ile kemiği kesmesi ve kemiği kesilmesi sırasında çok hassas bir kontrol olanağı sağlaması olduğunu bildirmişlerdir (317). Er:YAG lazer, yüksek oranda su içeren yumuşak dokular üzerinde etkili olsa da hemostatik etkisi azdır. Gingival depigmentasyon işlemlerinde kullanımı önerilmektedir.

## **2.14.2. Er,Cr:YSGG lazerler**

Er,Cr:YSGG lazerler; erbiyum ve krom katılmış itriyum skandiyum galyum garnet katı kristal, aktif ortama sahiptirler ve 2.78 µm dalga boyundadırlar. Sadece fiber optik sisteme sahiptirler ve serbest çalışma atım modları vardır. Er:YAG lazerlerde olduğu gibi bu sistemde de dental işlemler için su ve havaya ihtiyaç duyulur. Bu lazer enerjisi; apatit kristali içerisindeki hidroksil radikaliyle ve dişin kristalin yapılarına yapışmış olan su ile birleşmektedir. Mineral substratlar içindeki suyun buharlaşması, büyük hacim artışına neden olur ve bu büyüme çevredeki dokularda mikro patlamalar meydana getirirler (204).

Laboratuvar alışmaları; lazer tedavisi sırasında tedavi edilen dişin pulpal ısısının 5 °C' ye kadar çıkabileceğini göstermiştir (204). Er,Cr:YSGG lazer cihazında bulunan hava-suyu spreyi; pulpa ve periodontal dokular üzerinde zararlı termal etkiler oluşturmadan mine, dentin, sement ve kemikte kesim yapılmasına olanak sağlamaktadır. Er,Cr:YSGG lazerler; kayda değer çatlamalar oluşturmadan, mine ve dentin üzerinde pürüzlü yüzeyler meydana getirebilmektedirler. Smear tabakasını kaldırdıkları için bonding işlemlerinde iyi sonuçlar elde edilmektedir (310).

Ancak yine de, Er,Cr:YSGG lazerlerle hazırlanan kavitelere mikrosızıntıyı önlemek için asitleme yapmak gerekmektedir. Gutknecht ve arkadaşları, lazerle açtıkları sınıf II kavitelere yapılan kompozit dolguların kenarlarının kalitesini boya penetrasyonu ile incelediklerinde; asitlenmeyen örneklerde daha yüksek sızıntı tespit etmişlerdir. Her ne kadar lazer uygulanarak pürüzlendirilen dişlerle asitlenmiş dişler arasında bağlantı gücü açısından fark bulamaları da, bu araştırmacılar Er,Cr:YSGG lazer preparasyonu sonrası asitleme önermektedirler (323).

Er,Cr:YSGG lazerler; pulpaya zarar vermeden çürük kaldırmada ve kavite preparasyonunda lokal anestezi ihtiyacını azaltırlar veya ortadan kaldırırlar. Eversole ve arkadaşları, Er,Cr:YSGG lazerle güçlendirilmiş hidrokinetik sistemle kavite aımı sırasında oluşan pulpa cevabını hayvanlar üzerinde değerlendirdiklerinde; hiçbir enflamatuvar cevap oluşmadığını gözlemlemişlerdir (324). Aynı şekilde, Rizoiu ve arkadaşları, Er,Cr:YSGG lazer uygulamasıyla çürük temizliği ve kavite preparasyonu sırasında, pulpadaki sıcaklık değişikliklerini ölçmüşler ve bu tür lazerlerin pulpa boşluğunda zararlı termal etki oluşturmadığı kanaatine varmışlardır (325).

İrrigasyon aktivasyonunda Er,Cr:YSGG lazer kullanımının, apikalden irrigant taşımına yol amadığı in vivo olarak bir çalışmada gösterilmiştir. O çalışmaya dâhil edilen bireylerdeki nekrotik dişlerin endodontik tedavisi, 1 W, 35 Hz ve 28.5 mJ ayarlarında, 400 m çapında düz kuvars uç takılı Er,Cr:YSGG lazerle, irrigant olarak kullanılan radyopak NaOCl' in aktive edilerek yapılmıştır. Tek ve iki köklü dişlerde 60 saniye,  ve dört köklü dişlerde ise 120 saniye boyunca lazer ucu kanal ağızları üstünde tutulmuş ve bu çalışma sonucunda, hiçbir vakada radyografik olarak apikalden irrigant taşması tespit edilememiştir (326).

Hossain ve arkadaşları, diş sert dokularındaki çürükleri kaldırmada yüksek hızlı anguldurvanın yerini alacağı beklentisiyle piyasaya sürülen Er,Cr:YSGG lazerin mine ve dentinde oluşturduğu morfolojik değişiklikleri incelemişlerdir. Su spreyi ile ışımanın, ablasyon derinliğini arttırdığını ve susuz uygulamanın, mine ve dentinde kahverengi veya koyu renkli karbonizasyonlara yol açtığını gözlemlemişlerdir. İlâveten, dentinde erimiş lava benzer görünümlü kavitelerin oluştuğunu ve birçok mikro delik bulunan düzensiz yapılar bulunduğunu rapor etmişlerdir (308).

## 2.15. Endodontide Kullanılan Diğer Lazerler

Nd:YAG, endodontik açıdan en çok araştırılan lazer türüdür. Nd:YAG lazer uygulaması; mevcut kanal dezenfeksiyonu protokolleri için alternatif değil, muhtemel bir tamamlayıcıdır. Lazer ışığının özellikleri, dentinin 1 mm ötesinde bir bakterisidal etkiye izin verebilir. Biyofilm oluşturan endodontik patojenleri, doğrudan lazere maruz kalsalar bile ortadan kaldırmak zordur. Klinke ve arkadaşları, Nd:YAG lazeri 1.5 W güçte, saniyede 15 atım olacak şekilde 20 saniyelik 4 tekrarlı uyguladıklarında, dentindeki *Streptococcus mutans* bakterilerinin en fazla % 95.7' sinin yok edilebildiğini ancak 1000 µm kalınlıktaki dentin kesitinde ise bu oranın % 84.8' e düştüğünü bildirmişlerdir (327). Hardee ve arkadaşları, çekilmiş dişlere 3 W çıkış gücünde Nd:YAG lazer uyguladıklarında, *Bacillus*' un koloni oluşumunda 2 log azalma gözlemlemişlerdir, ancak dişlerde yüksek sıcaklık artışı da görüldüğünü belirtmişlerdir (259). Brugnera ve arkadaşları ise, çeşitli irrigasyon çözeltileri kullanıp, Nd:YAG ile Er:YAG lazerin kök dentininin geçirgenliğine etkisini kıyasladıkları araştırmada Er:YAG lazerin, dentin geçirgenliğini Nd:YAG lazerden daha çok arttırdığını göstermişlerdir (328).

Folwaczny ve arkadaşları, Nd:YAG lazerin antibakteriyel etkilerini, ışığa duyarlı boya kullanmadan da elde ettiklerini ancak sıcaklığın oldukça arttığını bildirdiler. Açık tübül sayısındaki azalmanın; apikal geçirgenlikteki azalmayı desteklediği ve kanal dolununun etkinliğini arttırdığını bu çalışmalarında göstermişlerdir (329). Benzer şekilde, Park ve arkadaşları Nd:YAG lazerin kök kanal dolununun ardından apikal sızıntıyı azalttığını rapor ettiler (330). Moriyama ve arkadaşları ise, Nd:YAG lazerin kısa ve uzun atım sürelerinin dentine etkilerini inceledikleri bir çalışmada; süre ile morfolojik değişimlerin

bağlantılı olduğunu ancak kalsiyum ve fosfor yoğunluğundaki artışın süreyle bağlantısının olmadığını gözlemlemişlerdir. Bu sonucu; daha uzun etkileşim sürelerinin daha çok erimiş madde oluşumuna neden olmasına ve ortaya çıkan erimiş tabakanın ısılanmamış dentine göre daha yüksek inorganik madde konsantrasyonu içermesine bağlamışlardır (331).

Schoop ve arkadaşları, 1 mm kalınlığındaki dentinde Nd:YAG, Er:YAG ve diyet lazerlerin bakteri sayısını azalttıklarını belirlemişlerdir. Er:YAG lazerin *E. coli*' yi 4 log, *E. faecalis*' i 2-4 log arası azalttığını gözlemlemişler ve 1.5 W gibi yüksek güç ayarındaki tüm lazer sistemleri *E. coli*' yi azaltırken, sadece Er:YAG ve diyet lazerlerin *E. faecalis*' i belirgin olarak azalttığını bildirmişlerdir. Ancak sıcaklık artışı ile bakterisid etki arasında bir bağlantı bulamamışlardır (332). Schoop ve arkadaşları, yaptıkları diğer bir çalışmada, 532 nm dalga boyundaki KTP lazer ve 980 nm dalga boyundaki diyet lazerin derin dentin katmanlarındaki antibakteriyel etkileri incelemişler ve 1 W çıkış gücünde *E. coli*' de 3 log azalma her iki lazerde de gömüşler ancak KTP lazerin *E. coli*' nin %75' ini yok ettiğini bildirmişlerdir. 1.5 W güçte ise hem *E. coli*' de hem de *E. faecalis*' te belirgin azalma gösterdiğini rapor etmişlerdir. Tüm bu bilgilerden; bu iki dalga boyunun derin dentin tabakalarında bile dezenfeksiyon gerçekleştirebileceği sonucuna ulaşmışlardır (333).

Normal dalga boyundan daha yüksek bir değerde kullanılan Nd:YAG lazerin, suda daha iyi bir emilim sağlayacağı ve kavitasyon baloncukları meydana getirebileceği iddia edilmektedir. 1320 nm dalga boyunda NaOCl veya EDTA ile kullanıldığında, sadece NaOCl irrigasyonundan daha iyi kanal patı penetrasyonu sağlandığı gösterilmiştir. Bu etkinin, EDTA ile yapılan son yıkamaya eşit olduğu da belirtilmiştir (334).

CO<sub>2</sub> lazeri; kanama yapmadan dokuları kesebilme ve işlem sonrası rahatsızlığı azaltan dokuyu buharlaştırıp kolagüle etme yeteneğinden dolayı dental cerrahi alanında geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Yapılan araştırmalarda; bu tip lazerlerin ışığa tam maruz kalınması için kanal iç yüzeyini doğrudan görmeleri gerektiğinden dolayı, CO<sub>2</sub> lazer ışığının kanal sterilizasyonu etkinliğinin sınırlandığını ifade edilmiştir (335).

Diyot lazerin; küçüklüğü ve düşük maliyetinden dolayı önemi artmaktadır. Bakterisidal etkisi; fotokimyasal etkileşimlerden değil termal etkilerinden kaynaklanmaktadır. Diş yapılarına Nd:YAG lazerle benzer etkiler oluşturur. De Moura-Netto ve arkadaşları, 2.5 W güçte, continuous modundaki diyot lazerin apikal sızıntıyı azalttığını ancak Nd:YAG lazerin daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir (336). Moritz ve arkadaşları da, endodontik uygulamalarda kullanılan Nd:YAG lazerin penetrasyon derinliğinin daha az olduğunu, ancak bu durumun istenmeyen sıcaklık riskini düşürdüğünü hastalar üzerinde gözlemlemişlerdir. Yüksek güç diyot lazeri, 10 hastanın 6' sında bakteri sayısını 1 log seviyesinde azalttığını ve bu sonucun enfekte kök kanallarında bakteri eliminasyonunda lazerin uygun olduğunu gösterdiğini bildirmişlerdir (337). Aynı araştırma grubunun bir başka çalışmasında, 810 nm dalga boyunda ve 4 W güçteki diyot lazerin, kök yüzeyinde en çok 6 C° artışa neden olduğu ve dentin tübüllerinde tam bir tıkama sağladığı rapor edilmiştir (338).

980 nm' lik diyot lazerin kavitasyon etkisini inceleyen bir araştırmada, baloncuk oluşumuna 7 W ve ötesinde rastlanmıştır. Ancak bu güç ayarı klinik kullanıma uygun değildir ve termal hasar yönünden risklidir. Bu çalışmada, oluklardan debris uzaklaştırmada; diyot lazer, geleneksel şırınga irrigasyonundan etkili bulunmasına karşın geleneksel uçlu Er:YAG lazer ondan daha başarılı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (314). Baloncuk oluşumu sadece fiber ucun etrafındaki alanla sınırlı kaldığı ve akımdan çok buhar baloncuklarının sonucu olduğu rapor edilmiştir (338). Kreisler ve arkadaşları, NaOCl-hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) kombinasyonuyla 809 nm dalga boylu yarı iletken GaAlAs Diyot lazerin kullanılmasının, sadece irrigasyona kıyasla daha yüksek antibakteriyel etki gösterdiğini bulmuşlardır (339). Da Costa Ribeiro ve arkadaşları, diyot lazer uygulanmış apikal bölge dentininde kapanmış dentin tübüllerini SEM' de gözlemledikleri araştırmada, diyot lazerin endodontik amaçlarla kullanımında periodontal dokuların güvende olacağını ortaya koymuşlardır (340).

532 nm dalga boyundaki KTP lazer aslında beyazlatma amacıyla kullanılır ancak endodontide kanal dezenfeksiyonu da yapar (333). Tewfik ve arkadaşları, KTP/532 lazerin smear tabakası kaplı dentinde geçirgenliği değiştirmediği halde SEM' de smear tabakası yüzeyinde modifikasyonlar oluşturduğunu görmüşlerdir. Smardan arındırılmış dentindeyse; dentin tübül ağzlarının genişlemesi ve çatlamasına bağlı olarak, kök

geçirgenliğinde bir miktar artış tespit edilmiştir (299). Machida ve arkadaşları ise, KTP:YAG lazerin periodontal dokuların zarar görebileceği eşiği aşmadan smear ve debris tabakasını temizlediğini bildirmişlerdir (300).

Nd:YAG lazerin smear tabakasına etkilerinin incelendiği, Harashima ve arkadaşlarına ait bir çalışmada; smear ve debris temizliği açısından kullanışlı olan bu lazerin, 2 W ve saniyede 20 atımlık bir ışımayla, eğelenmiş kök kanal duvarlarının iç yapılarında erimelere neden olduğunu gözlemlenmiştir (292). Aynı biçimde, Takeda ve arkadaşları argon, Nd:YAG ve Er:YAG lazerlerin smear tabakası kaldırma yeteneklerini karşılaştırdıkları bir çalışmada; her ne kadar argon ve Nd:YAG lazerler kullanışlı bulunsalar da en etkili smear tabakası temizleyicinin Er:YAG lazer olduğunu vurgulamışlardır (306).

Endodontik alanda kullanılan lazerler; LDP gibi teşhiste, pulpa kaplamasında, pulpatomide, kök kanal hazırlığında, sterilizasyonda ve kök kanal şekillendirilmesinde kullanılmaya devam etmektedir. Ancak lazerlerin hâlen kanal içindeki kullanımlarıyla ilişkili birçok sınırlama bulunmaktadır. Bilinen ışıkların aksine bir lazer demeti; çok yoğundur ama dağılmaz veya çok az dağılır. Yayılan lazer demetinin uzun mesafeleri düz bir hatta katetmesine bağlı olarak, karmaşık kanal sistemindeki mikroorganizmalar ulaşamaz kalmaktadırlar. Bu yüzden, kök kanalının tüm alanlarına ışımaya olanak verecek endodontik uçların geliştirilmesine yönelik girişimler devam etmektedir.

## **2.16. Kalsiyum Hidroksit Uzaklaştırılma Etkinliğinin Değerlendirildiği Yöntemler**

Bilgisayarlı tomografi; 3 boyutlu olarak görüntüleme yaptığı için 2 boyutlu alan analizi yapan tekniklere göre daha gerçeğe yakın sonuçlar verebilir. Kesit görüntü incelemeleri için örneklerin kesilmesine ihtiyaç duyulmaz ve görüntülerden model oluşturulabilir. Ancak pahalı cihazlardır ve inceleme sırasında teknik zorluklar yaşanabilir. Nandini ve arkadaşları, kök kanal sisteminden kalsiyum hidroksit medikamanının uzaklaştırılma etkinliğini spiral bilgisayarlı tomografi yardımıyla volümetrik olarak bir çalışmada analiz etmişlerdir (178).



SEM; dentin tübüllerinin ağızlarını en ayrıntılı gösterebilen yöntemdir. Ancak SEM' le görüntüleme yapmadan önce, örneklerin farklı tekniklerle hazırlanması gerekmektedir. Ayrıca profesyonel bir ekipten yardım alma zorunluluğu ve kolay ulaşılabilir bir cihaz olmaması diğer dezavantajlarındandır. Salgado ve arkadaşları, yaptıkları farklı irriğanların kalsiyum hidroksit temizliği değerlendirmesinde SEM tekniğini kullanmışlardır (341).

Kök kanal sistemindeki düzensizliklerin temizliği, birbirinden farklı birçok teknikte araştırılmaktadır. Yapay oluk açma tekniği; çoğunlukla çekilmiş insan dişlerinde uygulanan bir yöntemdir (342-344). Ancak, kök kanal sistemini taklit eden plastik bloklarda da bu uygulama yapılabilir (191, 345). Bu tür çalışmalarda genellikle bulamaç halindeki dentin debrisi, oluşturulan bu oluklara doldurulur. Irrigasyonu takiben, olukların dijital fotoğrafları çekilir ve skorlama yapılır. Ancak tüm bu çalışmalarda; biyofilm, smear tabakası veya bakteriyel eliminasyona bakılmaz, sadece yapay oluklardaki görünür temizlik değerlendirilir.

Stereo mikroskopun; kullanımının kolay olması, incelenecek materyal bir ön işlem gerekmemesi ve görüntü elde etmede rahatlık gibi avantajları bulunmaktadır (214, 344, 346).

Dijital kameralarla arta kalan kalsiyum  $Ca(OH)_2$ ' lerin kanal içinde görüntülenmesi de yaygın bir tekniktir (347).

### 3. GEREÇ ve YÖNTEM

#### 3.1. Örneklerin Hazırlanması

Bu in vitro çalışma, Gaziantep Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 2014/433 karar nolu ve 29.12.2014 tarihli etik kurul raporu ile bilimsel ve etik açıdan uygun bulunmuştur. Çalışmanın deneyleri, Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Çalışma öncesi yeni çekilmiş, daha önce kök kanal tedavisi yapılmamış, kök ucu kapalı, çürüksüz, tek köklü insan dişleri 4° C sıcaklıkta ve % 0.9 NaCl solüsyonunda kullanılacakları güne kadar bekletildi. Dişler, çalışmadan 24 saat önce oda sıcaklığına transfer edildi. Dişlerin periapikal radyografları alınarak kök kanalında kalsifikasyon, birden fazla kök kanalı, eksternal veya internal rezorpsiyon ve kök kanalında 10° den fazla kurvatür varlığı incelendi. Kalsifikasyon izlenmeyen dişler, stereo mikroskop altında kırık, çatlak veya başka bir yapısal hasar açısından araştırıldı ve kusurlu olanlar çalışmadan çıkarıldı. İncelenecek grup sayısının 4 olması kararlaştırıldı. Araştırma öncesi yapılan power analiziyle, her grupta 10 örneğin araştırmanın güvenilirliğini sağlayacağı gösterildi. Kalan dişlerden rastgele seçilen 40 tanesinin üzerindeki yumuşak ve sert eklentiler, kretuar yardımıyla uzaklaştırıldı. Standart kök uzunluğu elde etmek amacıyla, kök-kron birleşiminden yavaş turlu elmas disk ile su soğutması altında kök boyu 13 mm olacak şekilde ayrıldı. #20 K tipi kanal eğesinden (Diadent, Burnaby, Kanada) daha büyük boyutlu eğelerin apikalden görüldüğü kökler çalışma dışı bırakıldı. Çalışma boyu; #10 K tipi kanal eğe (Diadent, Burnaby, Kanada) ucunun apikalden görüldüğü uzunluktan 1 mm çıkarılarak belirlendi. Operatör tarafından yapılan hataları en aza indirmek amacıyla, her bir kanal için aynı araştırmacı tarafından, Revo-S™ döner alet sisteminin sırasıyla SC1, SC2 ve SU eğeleriyle (Micro-Mega, Besancon, Fransa) şekillendirildi (Resim 3.1.). Eğeler, Dentsply X-Smart endodontik motora (Dentsply, Maillefer, İsviçre) bağlı angldrüva ile dakikada 250-400 arası tur yapacak biçimde kullanıldı. Şekillendirme sırasında, üretici firmanın tavsiyelerine uyuldu (Resim 3.2.).



Resim 0.1. Revo-S™ eğe seti



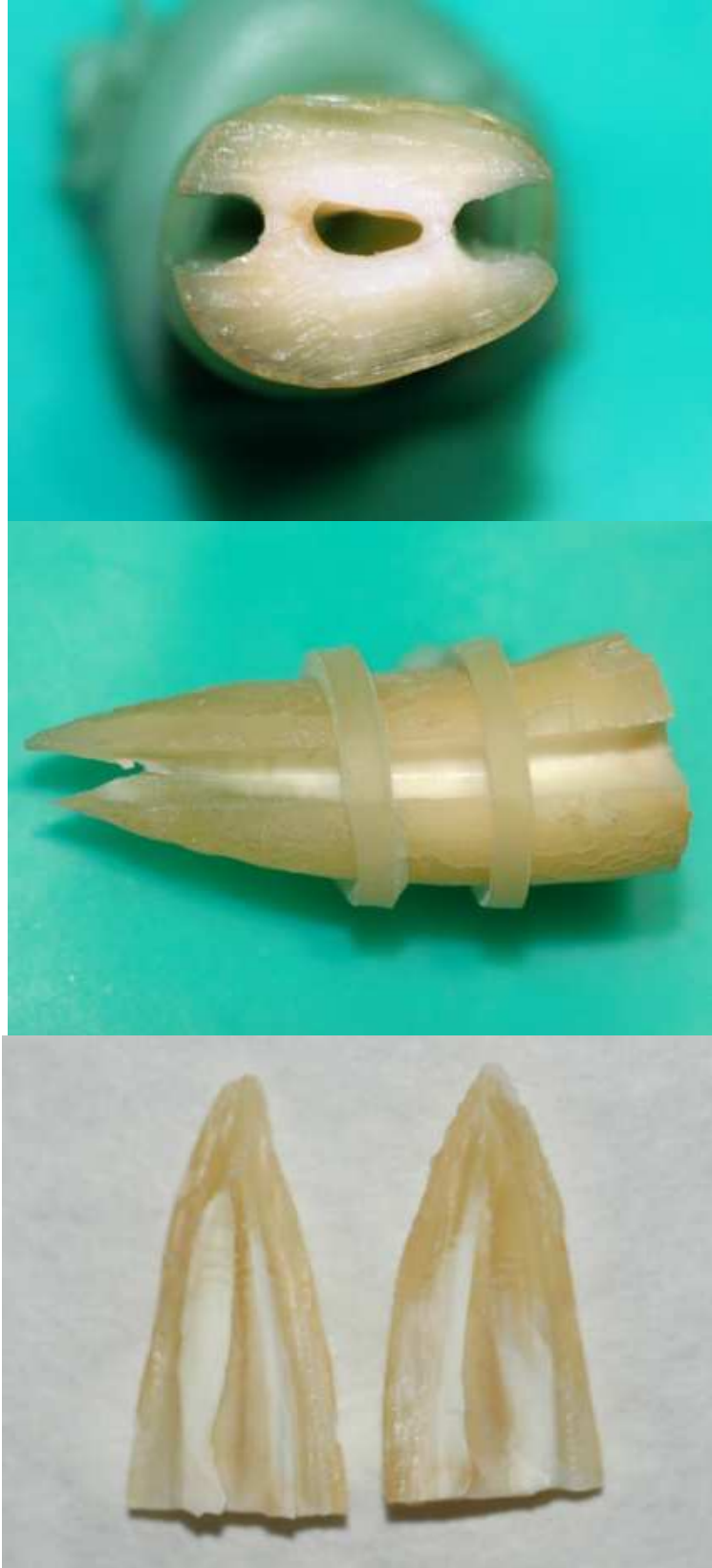
Resim 3.2. Dentsply X-Smart endodontik motor

#25 ve 0.06 açılı SC1 eğesi, serbestçe ilerleyecek biçimde, baskı oluşturmadan, yavaş ve tek bir hareketle apikal yönde çalışma boyunun üçte ikilik kısmına kadar kullanıldı. #25 ve 0.04 açılı SC2 eğesi, ilerleyici 3 dalga hareketiyle (yukarı aşağı) çalışma boyuna ulaşıncaya kadar kullanıldı. #25 ve 0.06 açılı SU eğesi ise serbestçe ilerleyecek biçimde, baskı oluşturmadan, yavaş ve tek bir hareketle ve apikal yönde çalışma boyuna kadar kullanıldı. Daha sonra apikal patensi kontrol edildi ve gerekirse, yukarı doğru çevresel eğeleme hareketi gerçekleştirildi. Her 3 kanal için bir set yeni eğe kullanıldı. Eğeler,

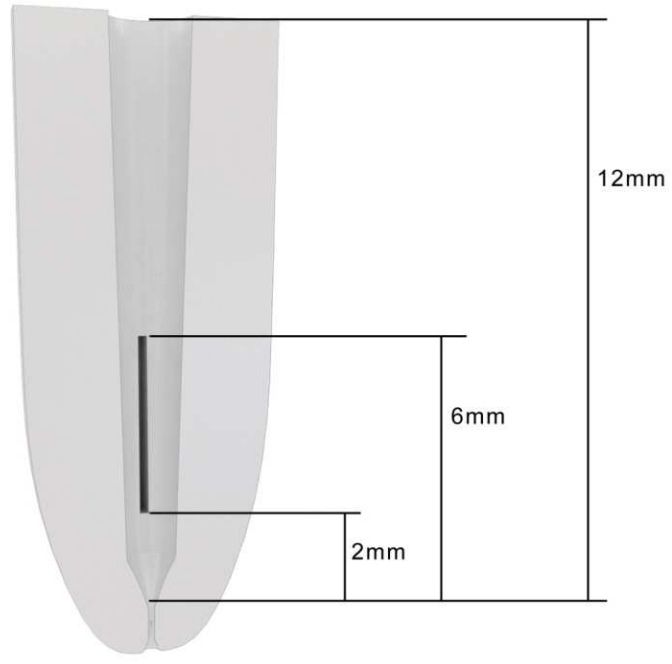
sıklıkla kanal dışına çıkarıldı ve nemli spançla eğe üzerinde birikmiş dentin talaşı temizlendi. Kanaldan her eğe çıkarıldığında, kök kanalına çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde uygulanan 0.4 mm çapında 27 gauge dental şırınga (Set Medikal, İstanbul) ile % 5' lik, toplam 10ml NaOCl solüsyonu (Wizard, Rehber Kimya San, İstanbul) ile irrigasyon yapıldı. Eğe kullanımı sırasında, herhangi bir kayganlaştırıcı ar ajan kullanılmadı. Şekillendirme işlemi sırasındaki her kullanımdan sonra eğelerin boyları ölçülerek kırık olup oluşmadığı kontrol edildi. Kırık oluşması durumunda, örnek diş değiştirildi ve şekillendirme işlemi yeni bir eğe kullanılarak yapıldı. Final irrigasyonu için 1 dakika boyunca 2 ml % 5' lik sodyum hipoklorit, 1 dakika boyunca 2 ml % 17 EDTA (Sigma Chemical Co, St Louis, ABD) ve takiben 2 ml distile su kullanıldı.

Türbine takılan elmas fissür frezle, (Hahnenkratt GmbH, Königsbach-Stein, Almanya) su soğutması ile kök kanalına girmeden ve apikal darlığa zarar vermeden, dişlerin bukkal ve lingual yüzlerine, uzunlamasına ve dişin uzun eksenine paralel oluklar açıldı (Resim 3.3.). Daha sonra bu oluklara #11 bistüri ucu (Beybi Plastik Fabrikası San AŞ, İstanbul) yerleştirilip çekiç yardımıyla tek seferde kuvvet uygulanarak, dişler ikiye ayrıldı. Ayırma işlemi sonrası, tekrar birleştirilemeyecek kadar zarar gören 40 dişten 12' si çalışmadan çıkarıldı ve yerine yeniden, önceki aşamalara göre örnek dişler hazırlandı.

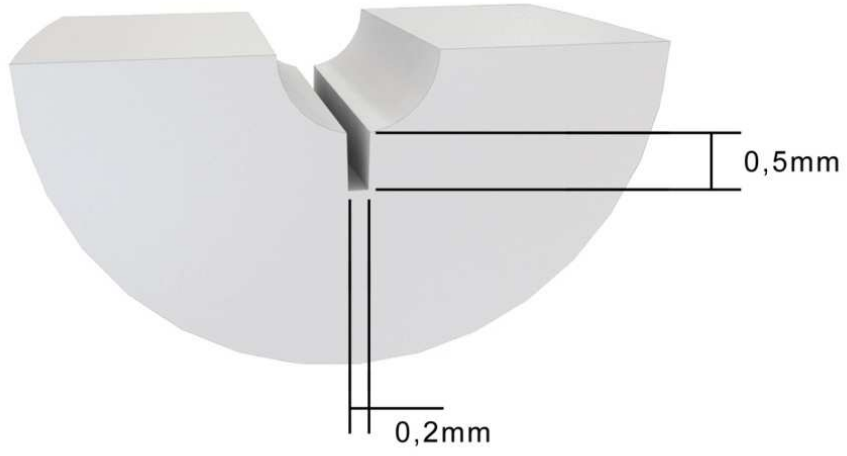
Preparasyon sonrası apikal bölgede kalabilecek kanal düzensizliklerini taklit etmek amacıyla; dişin iki parçasından birine ultrasonik EMS miniMaster Piezon cihazına, (EMS Electro Medical Systems SA, Nyon, İsviçre) modifiye ederek keskinleştirdiğimiz ultrasonik ucu takılarak, (Sonicmax, Maximum Dental, Japonya) su soğutması altında yapay bir oluk oluşturuldu (Resim 3.8.). Standart uzunluğu sağlamak için # 15 bir finger spreader, ucundan 4 mm olacak şekilde büküldü (Resim 3.6.). Ultrasonik ucun yanında konumlandırılarak oluk açılırken ölçüm yapıldı (Resim 3.5.). 4 mm uzunluğunda, 0.2 mm genişliğinde ve 0.5 mm derinliğindeki oluk (Şekil 9.2.), kök kanalı boyunca olacak şekilde, apekten 2 mm korondan 8 mm uzaklıkta kök kanal duvarında oluşturuldu. (Şekil 9.1, Resim 3.6). Diş fırçası ile yapay oluk ve her iki diş parçası dentin talaşlarından temizlendi. Hava spreyi ve pamuk peletlerle örnek parçaları kurutuldu.



Resim 3.3. Bukkal ve lingual yüzeylere açılan oluklar ve ikiye ayrılan diş



Şekil 3.1. Yapay oluğun diş parçasındaki konumu



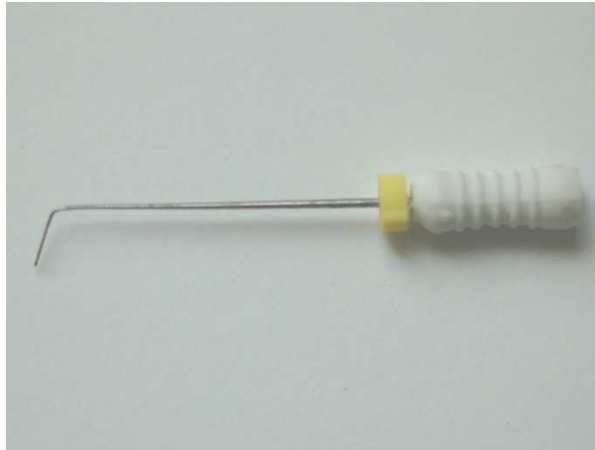
Şekil 3.2. Yapay oluğun enine kesiti



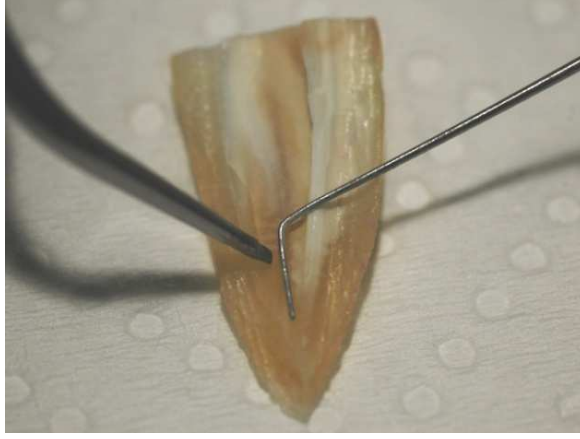
Resim 3.4. Modifiye edilerek keskinleştirilen ultrasonik uç



Resim 3.5. Su soğutması altındaki oluk açma işlemi



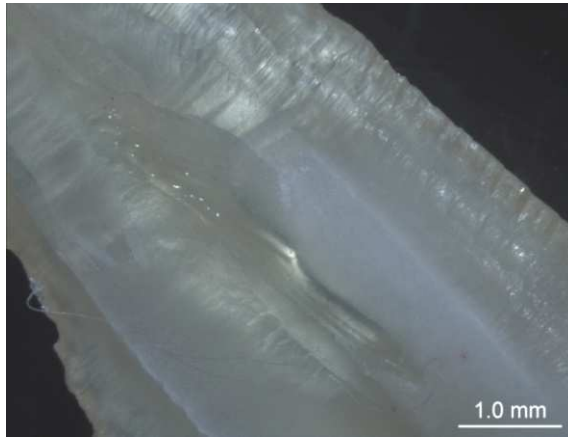
Resim 3.6. Ucu 4 mm bükülen finger spreader uç



Resim 3.7. Spreader uçla ölçüm işleml



Resim 3.8. Diş üzerine açılan oluk



Resim 3.9. Açılan oluğun stereo mikroskopla alınan görüntüsü



Operatöre bağılı hataları önlemek ve standardizasyonu sağlamak amacıyla, kullanıma hazır şekilde şırınga içindeki baryum sülfatlı kalsiyum hidroksit patı Best (Bem Dental Kimya İlaç San, İzmir) çalışma için seçildi (Resim 3.10.). Suda çözünebilen bu pat, üretici firmanın kullanım talimatlarına uygun biçimde öncelikle yapay oluktan başlayarak, her iki diş parçasının kök kanalının tamamına tek kullanımlık plastik uçlarla uygulandı. Paper pointlerle oluklar dolduruldu (Resim 3.11). Örneklerin ayrıldığı kenarlara taşan kısımlar pamuk peletlerle temizlendi.



Resim 3.10. Best baryum sülfatlı kalsiyum hidroksit patı



Resim 3.11. Kalsiyum hidroksit patın oluğa uygulanması



Resim 3.12. Kalsiyum hidroksit patın kanal içine uygulanması

Örnekler, önce iki adet Dragon ortodontik lastikle (G&H Wire Co, Indiana, ABD) orta kısmından birleştirildi (Resim 3.13). Daha sonra, örneklerin ayrıldığı kenarlar guta kesicinin oluşturduğu sıcaklıkla eritilmiş yapıştırıcı mum (Erk Dental, İzmir, Türkiye) (Resim 3.15) yardımıyla hermetik biçimde sabitlendi (Resim 3.14). Örneklerin koronal kısımları pamuk pelet ve 1 mm kalınlığında geçici dolgu maddesi Cavit-G (3M-ESPE, Minnesota, ABD) kapatıldı. Geçici dolgu maddesinin üstüne de yapıştırıcı mum uygulandı.



Resim 3.13. Ortodontik lastik



Resim 3.14. Ortodontik lastikle iki diş parçasının bir araya getirilmesi



Resim 3.15. Yapıştırıcı mum



Resim 3.16. Yapıştırıcı mumla hermetik biçimde sabitlenmiş diş parçaları

Örnekler 1 hafta boyunca 37 °C ve % 100 nemli ortamda, ağız ortamında iki seans arasındaki geçen zamanı temsilen distile suda bekletildi (Resim 3.17). Sudan çıkartılan dişler, 1.5'lik ml Eppendorf tüplere (Fırat Plastik Kauçuk San, İstanbul) yerleştirildi. Tüp içinde dişleri sabitlemek için C tipi silikon ölçü (Zetaplus, Badia Polesine, İtalya) katalizörle (Zhermack, Badia Polesine, İtalya) karıştırıldı. Dişler, silikon ölçü sertleşmeden 1 mm'lik kısımları dışarıda ve kök kısımları tamamen ölçü içinde kalacak şekilde tüplere yerleştirildi (Resim 3.18). İşlemler için beklerken dişlerin açıkta kalacak kısmı su içinde kalacak şekilde içi su dolu kaplara ters olarak konuldu (Resim 3.19). Kalsiyum hidroksit uzaklaştırma işlemlerinden önce, geçici dolgu maddesi ve pamuk pelet dişlerden uzaklaştırıldı. Kanallar #25 K ege ile elle eğelendi.



Resim 3.17. 1 hafta distile suda bekletilen örnekler



Resim 3.18. Silikonla sabitlenmiş örnek



Resim 3.19. Eppendorf tüplerin ters biçimde suda bekletilmesi

## **3.2. Grupların Belirlenmesi**

40 tek köklü diş rastgele seçilerek 4 gruba ayrıldı. Tüm Eppendorf tüplerin kapaklarına, dişlerin ait olduğu grup ve sıra numaraları sabit kalemle yazıldı. Kök kanallarının mumla kapatılması, irrigasyon solüsyonunun kök içinde göllenip kanal duvarlarına temas süresini etkileyeceği için, tüm irrigasyon işlemleri sırasında örnekler belirtilen sıvı temas süreleri aşılmadan tamamlandı. Tüm örnekler kalsiyum hidroksit uzaklaştırılması işlemleri sonunda paper pointlerle çalışma boyu dışına çıkılmadan kurulandı.

### **3.2.1. Grup 1 (Kontrol Grubu)**

10 dişlik bu grup, çalışmada kontrol grubu olarak değerlendirildi. 0.4 mm çapında 27 gauge şırınga iğnesi (Set Medikal, İstanbul) kanalda çalışma boyutundan 1 mm kısa olacak şekilde kanala yerleştirildi. % 5' lik 10 ml sodyum hipokloritin ardından % 17' lik 10 ml EDTA akışı altında, kalsiyum hidroksit uzaklaştırması yapıldı. Aktif irrigasyon süresi boyunca şırınga iğnesi ile aşağı-yukarı yönde hareketlerle ajitasyon sağlandı. Şırınga irrigasyonunu takiben, #25 H master apikal eğe ile kanallara rekaptülasyon işlemi yapıldı. Final irrigasyonu olarak 10 ml distile su uygulandı. Tüm örnekler, kalsiyum hidroksit uzaklaştırılması işlemleri sonunda paper pointlerle çalışma boyu taşılmadan kurulandı.

### **3.2.2. Grup 2 (Er: YAG Lazer Grubu)**

Bu gruba ayrılan 10 diş, kontrol grubunda final irrigasyonuna kadar yapılan tüm işlemler uygulandı. Daha sonra kök kanalının içi tamamen % 5' lik sodyum hipokloritle dolduruldu. Er: YAG lazerin (AT Fidelis, Fotona, Ljubljana, Slovenya) R14-C-759 başlığına (Fotona, Ljubljana, Slovenya) takılan düz, silindirik, kuvars, 300 µm çaplı, 14 mm uzunluğunda (Preciso 300/14, Fotona, Ljubljana, Slovenya) uç takıldı. Irrigasyonun lazerle aktivasyonuna başlandı (Resim 3.20, Resim 3.21, Resim 3.22). Lazer parametreleri; 2940 nm dalga boyunda 1 W enerji çıkışı her atımda 50 mJ, frekansı 20 Hz, kontak modunda, 50 mikrosaniye atım uzunluğunda, hava ve su spreyi kapalı biçimde ayarlandı (Resim 3.23). Çalışma boyundan 5 mm kısa olacak kadar kök

kanalına uzatılan lazer ucu, kanal duvarlarına değdirilmeden sabit tutuldu. Bu işlem 4 kez, 5 saniyelik sürelerle toplam 20 saniye olarak yapıldı (Resim 3.24). Her tekrarda 5 saniye ara verildi ve azalan irrigasyon solüsyonu tekrar eklendi. Her işlemden sonra lazer ucu kontrol edildi ve kalsiyum hidroksitle kirlenmişse ıslak spançla uç silindi. Lazer uygulaması esnasında, negatif etkilerinden korunmak amacıyla lazer güvenlik önlemleri uygulandı ve koruyucu gözlük kullanıldı. Er: YAG lazerle aktive edilmiş irrigasyonu takiben #25 H master apikal eğe ile kanallara rekapitülasyon işlemi yapıldı. Final irrigasyonu olarak 10 ml distile su uygulandı. Tüm örnekler kalsiyum hidroksit uzaklaştırılması işlemleri sonunda paper pointlerle çalışma boyu taşınmadan kurulandı.



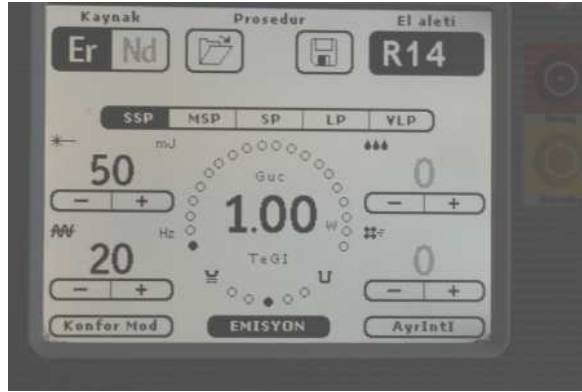
Resim 3.20. Fotona AT Fidelis Er: YAG lazer cihazı



Resim 3.21. Fotona R14-C-759 başlığı



Resim 3.22. Fotona Preciso 300/14 uç



Resim 3.23. Kullanılan Er:YAG lazer parametreleri



Resim 3.24. Er:YAG lazer kullanımından bir görünüm

### 3.2.3. Grup 3 (Er: Cr: YSGG Lazer Grubu)

Bu gruba ayrılan 10 dişe, kontrol grubunda final irrigasyonuna kadar yapılan tüm işlemler uygulandı. Daha sonra, kanalın içi tamamen % 5' lik sodyum hipokloritle dolduruldu. Tek kullanımlık 275 µm çapındaki "Radial Firing Tip" RFT2 21 mm fiber optik uç, Er: Cr: YSGG lazerin (Waterlase, Biolase, Kaliforniya, ABD) MD Gold başlığına takılarak H modunda "Cleaning & Shaping" ayarları seçildi (Resim 3.25, Resim 3.26, Resim 3.27). 2.78 µm dalga boyunda, 140-200 µs atım aralığında, 50 Hz frekansında lazer uygulandı. Lazerin çıkış gücü 1.25 W olarak belirlendi. Hava % 34' e ve su çıkış gücü % 24' e ayarlandı (Resim 3.28). Fiber optik uçtaki lastik rondel çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde ayarlandı. Kanalın içi tamamen % 5' lik sodyum hipokloritle doluyken, çalışma boyundan 1 mm kısa bir mesafeye kadar kanal içerisinde ilerletildi. Lazer sistemi aktive edildi ve lazer ucu dişin apikalinden koronale doğru, kök kanalının her milimetresinde bir saniye kadar tutulmaya çalışılarak ve kanal duvarının yan yüzeyiyle temas sağlayacak biçimde çekildi (Resim 3. 29). 3 kez bu hareket serisi uygulandı. Her tekrarda 5 saniye ara verildi ve eksilen irrigasyon solüsyonu tekrar eklendi. Her işlemden sonra lazer ucu kontrol edildi ve kalsiyum hidroksitle kirlenmişse ıslak spançla uç silindi. Lazer uygulaması boyunca örneklerin ısınmasını önlemek için iletim sisteminin hava-su spreyi kullanıldı. Lazer uygulaması esnasında, negatif etkilerinden korunmak amacıyla lazer güvenlik önlemleri uygulandı ve koruyucu gözlük kullanıldı. Er: Cr: YSGG lazerle aktive edilmiş irrigasyonu takiben #25 H master apikal eğe ile kanallara rekaptülasyon işlemi yapıldı. Final irrigasyonu olarak 10 ml distile su uygulandı. Tüm örnekler kalsiyum hidroksit uzaklaştırılması işlemleri sonunda paper pointlerle çalışma boyu taşılardan kurulandı.



Resim 3.25. Biolase Waterlase Er: Cr: YSGG lazer cihazı

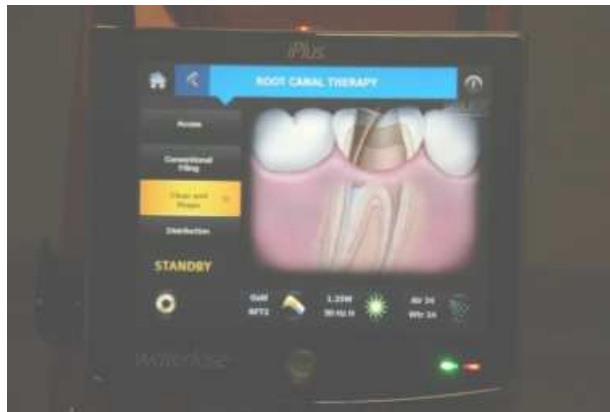




Resim 3.26. Biolase Waterlase RFT2 21 mm fiber optik uç



Resim 3.27. Biolase Waterlase MD Gold başlık



Resim 3.28. Er: Cr: YSGG lazer cihazı parametreleri



Resim 3.29. Er: Cr: YSGG lazer kullanımından bir görünüm

#### **3.2.4. Grup 4 (Pasif Ultrasonik İrrigasyon Grubu)**

Bu gruba ayrılan 10 dişe, kontrol grubunda final irrigasyonuna kadar yapılan tüm işlemler uygulandı. Daha sonra ultrasonik irrigasyon cihazının (EMS miniMaster Piezon, Le Sentier, İsviçre) sıvı haznesinde % 2.5' luk NaOCl irrigant olacak şekilde pasif ultrasonik irrigasyon için ayarlandı (Resim 3.30.). Cihazın el aletine 120° açılı eğe tutucu (EMS Piezon DS-010, Nyon, İsviçre), anahtar yardımıyla sıkıştırıldı ve yumuşak yapıdaki #15 ve 0.02 açılı endodontik irrigasyon ucu (EMS Piezon DT-069A, Nyon, İsviçre) takıldı (Resim 3.31, Resim 3.32, Resim 3.33). İrrigasyon ucu, kanaldan 1 mm kısa olacak şekilde kök kanalına yerleştirildi. Cihaz, üretici firmanın önerileri doğrultusunda "Endo" modunda, maksimum su çıkışı ve minimum güce ayarlandı. Cihazın salınımı ve irrigasyon aynı anda başlayacak şekilde 3 seferde 20 saniyelik uygulamalarla, toplam 1 dakika boyunca, sürekli % 2.5' luk NaOCl akışı ile kanal duvarlarına değmeden, pasif olarak kalsiyum hidroksit uzaklaştırması yapıldı. Pasif ultrasonik irrigasyonu takiben, #25 H master apikal eğe ile kanallara rekapitulasyon işlemi yapıldı. Final irrigasyonu olarak 10 ml distile su uygulandı. Tüm örnekler

kalsiyum hidroksit uzaklaştırılması işlemleri sonunda paper pointlerle çalışma boyu taşılmadan kurulandı. 10 diş için tek eğe, üretici firmanın önerisi doğrultusunda kullanıldı.



Resim 3.30. EMS miniMaster Piezon ultrasonik irrigasyon cihazı



Resim 3.31. EMS Piezon DS-010 120° açılı eğe tutucu



Resim 3.32. EMS Piezon DT-069A #15 ve 0.02 açılı endodontik irrigasyon ucu



Resim 3.33. DT-069A irrigasyon ucunun eğe tutucuya takılı haldeki görünümü

### 3.3. Stereo Mikroskoplara Görüntülerin Kaydedilmesi

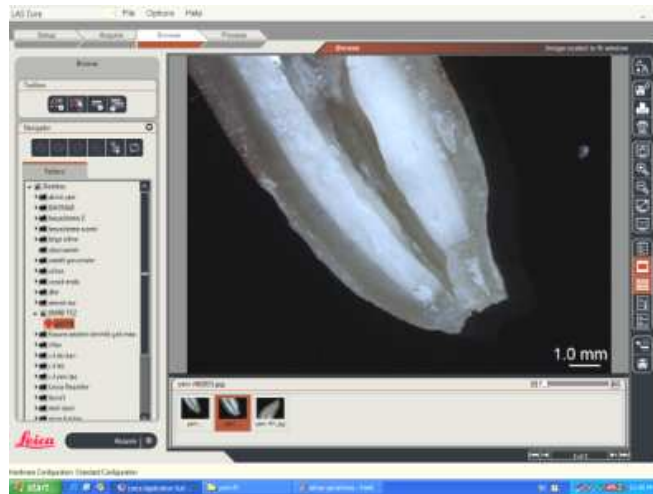
Tüm örnekler, Eppendorf tüplerdeki sertleşmiş silikonlardan çıkarıldı. Ortodontik lastikler uzaklaştırıldı ve yapıştırma mumları temizlendi. Tekrar ikiye ayrılan parçalar kurumaya bırakıldı (Resim 3.34). Daha sonra örnekler, stereo mikroskopta (Leica M165C, Leica Microsystems Ltd, Wetzlar, Almanya) x20 büyütmede incelendi (Resim 3.35). Görüntüleme programı yardımıyla (Leica Application Suite Version 3.6.0, Leica Microsystems Ltd, Wetzlar, Almanya) görüntüler kaydedildi (Resim 3.36).



Resim 3.34. Kurumaya bırakılmış parçalar



Resim 3.35. Leica M165C stereo mikroskop



Resim 3.36. Leica Application Suite Version 3.6.0 görüntüleme programı

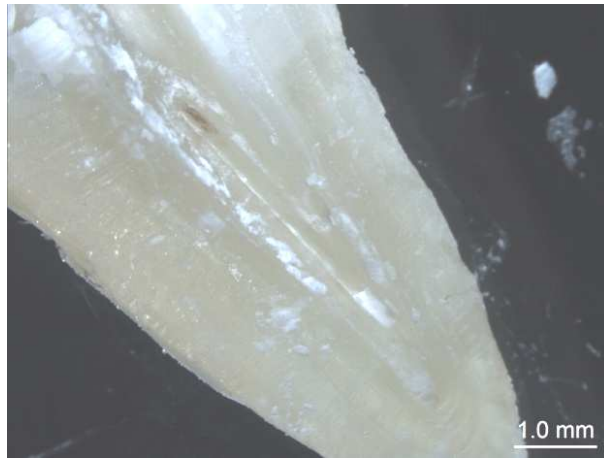
### 3.4. Olukların Skorlanması

Ca(OH)<sub>2</sub> kalıntılarının olukları doldurma miktarı araştırmacı tarafından 1 hafta arayla 2 kez tekrarlamaya yolu ile Van der Sluis ve arkadaşlarının (23) oluşturduğu aşağıdaki skor değerlerine göre skorlandı.

- 0– Olukta hiçbir kalsiyum hidroksit kalıntısı yok (Resim 3.37)
- 1 – Oluğun yarısından azı kalsiyum hidroksit kalıntısı ile dolu (Resim 3.38)
- 2 – Oluğun yarısından fazlası kalsiyum hidroksit kalıntısı ile dolu (Resim 3.39)
- 3 – Oluğun tamamı kalsiyum hidroksit kalıntısı ile dolu (Resim 3.40)



Resim 3.37. Olukta hiçbir kalsiyum hidroksit kalıntısı yok



Resim 3.38. Oluğun yarısından azı kalsiyum hidroksit kalıntısı ile dolu



Resim 3.39 Oluğun yarısından fazlası kalsiyum hidroksit kalıntısı ile dolu



Resim 3.40. Oluğun tamamı kalsiyum hidroksit kalıntısı ile dolu

### 3.5. İstatiksel Değerlendirme

Elde edilen verilerin istatistiksel analizi, tekrarlı ölçümlerde varyans analizi ile yapıldı. Her 4 gruptan elde edilen skor değerleri arasındaki farklar  $p=0,05$  değeri ile üç yönlü ANOVA ile Tukey istatistik testleri, IBM SPSS 20.0 programı (IBM SPSS Inc, Şikago, ABD) kullanılarak değerlendirildi.

#### 4. BULGULAR

Yapay olukları dolduran Ca(OH)<sub>2</sub> miktarının skorlanmasından elde edilen veriler üç yönlü ANOVA testi ile değerlendirildi.

Tablo 3 . ANOVA testinin sonuçları

	Karelerin Toplamı	df	Karelerin Ortalaması	F	Anlamlılık
Gruplar arası	15.875	3	5.292	7.030	0.001
Grup içi	27.100	36	0.753		
Toplam	42.975	39			

Tablo 4. Tanımlayıcı istatistik tablosu

	Örnek sayısı	Ort	Standart sapma	Standart hata	% 95 güven aralığı		En az	En çok
					Alt sınır	Üst sınır		
Kontrol	10	2.00	0.816	0.258	1.42	2.58	1	3
Er:YAG	10	0.70	1.059	0.335	-0.06	1.46	0	3
Er:Cr:YGSS	10	0.30	0.483	0.153	-0.05	0.65	0	1
PUİ	10	0.90	0.994	0.314	0.19	1.61	0	3
Toplam	40	0.98	1.050	0.166	0.64	1.31	0	3



Tablo 5. Tukey istatistik tablosu

(I) Yöntem	(J) Yöntem	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	Anlam	% 95 güven aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
Kontrol	PUI	1.100*	0.388	0.036	0.05	2.15
	Er:YAG	1.300*	0.388	0.010	0.25	2.35
	Er,Cr:YGSS	1.700*	0.388	0.001	0.65	2.75
PUI	Kontrol	-1.100*	0.388	0.036	-2.15	-0.05
	Er:YAG	0.200	0.388	0.955	-0.85	1.25
	Er,Cr:YGSS	0.600	0.388	0.421	-0.45	1.65
Er:YAG	Kontrol	-1.300*	0.388	0.010	-2.35	-0.25
	Pui	-0.200	0.388	0.955	-1.25	0.85
	Er,Cr:YGSS	0.400	0.388	0.733	-0.65	1.45
Er,Cr:YGSS	Kontrol	-1.700*	0.388	0.001	-2.75	-0.65
	Pui	-0.600	0.388	0.421	-1.65	0.45
	Er:YAG	-0.400	0.388	0.733	-1.45	0.65

\*. 0.05 seviyesinde ortalama fark anlamlıdır.

Hipotez 0: Tüm grupların ortalamaları eşittir.

Hipotez 1: Grup ortalamalarından en az biri farklıdır.

ANOVA testi sonucu  $p=0.001$  olduğundan hipotez 0 reddedilmiştir. Ortalamalardan en az biri farklıdır.

Kontrol ve PUI grupları karşılaştırıldığında;  $p=0.036$  olduğundan aralarında anlamlı bir fark vardır.

Kontrol ve Er:YAG grupları karşılaştırıldığında;  $p=0.010$  olduğundan aralarında anlamlı bir fark vardır.

Kontrol ve Er,Cr:YGS grupları karşılaştırıldığında;  $p=0.001$  olduğundan aralarında anlamlı bir fark vardır.

Tukey post-hoc analiziyle farklılığın hangi değişken veya değişkenlerden kaynaklanacağına bakıldı. İncelenen dört farklı grup ortalaması istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Yapılan post-hoc analizinde; kontrol grubunun ortalamasının, diğer grup ortalamalarından anlamlı olarak farklıdır. Ancak PUI, Er:YAG ve Er,Cr:YGSS gruplarının ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Kök kanal tedavisinin en önemli amaçlarından biri, bakterileri ve yan ürünlerini kök kanal sisteminden arındırmaktır. Ancak kanal içinde sıklıkla bulunan düzensizlikler; bakteriler için biyomekanik işlemlerden etkilenmedikleri çoğalma alanlarıdır. Seans arası kanal medikamanları bu nedenle önemlidir. Kalsiyum hidroksit; endodontik enfeksiyonlarda rol alan birçok bakteri türüne karşı antibakteriyel etkisi, kemik yıkımını engellemesi ve sert doku onarımını teşvik etmesi gibi nedenlerle oldukça sık kullanılan bir kök kanal pansumanıdır (348, 349). Nekrotik pulpa vakalarında dezenfeksiyon amacıyla, kalsiyum hidroksitin kök kanalında en az bir hafta uygulanması gerekmektedir.

Kök kanal sistemini kalıcı olarak doldurabilmek için kalsiyum hidroksitin kaldırılması bir zorunluluktur çünkü kalıntı varlığında kanal dolgusu sızdırmazlığı olumsuz bir biçimde etkilenebilir (350, 351). Kök kanalları doldurulmadan önce uzaklaştırılmayan kalsiyum hidroksitin; dentin tübüllerine kanal patının penetrasyonunu engellediği, apikal sızıntıya yol açabileceği ve patların yapısını bozduğu gösterilmiştir (9, 175, 176). Kalsiyum hidroksitin kök kanalından uzaklaştırılmasıyla; patların dentin tübüllerine penetrasyonunun artacağı, böylece hem iyi bir tıkanmanın sağlanacağı hem de pat ile dentin arasındaki bağlanmanın kuvvetleneceği yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (351, 352). Öte taraftan, geleneksel irrigasyon yöntemleriyle kök kanallarından kalsiyum hidroksiti tamamen uzaklaştırmak mümkün değildir (349, 353).

Kalsiyum hidroksitin kök kanalından uzaklaştırılmasında oturmuş en etkili yöntem konusunda henüz görüş birliğine varılamamıştır. Ancak EDTA ve sitrik asitle birlikte (341, 346) konvansiyonel eğe, dönen eğe ve ultrasonik sistemlerinin kullanılması bazı çalışmalarda önerilmektedir (179, 341, 354). Bundan dolayı, mevcut çalışmada; Er:YAG lazerle aktive edilen irrigasyon, Er,Cr:YGSS lazerle aktive edilen irrigasyon ve pasif ultrasonik irrigasyon teknikleri düz kök kanallarında denenmiştir. Kontrol grubu olarak geleneksel şırınga irrigasyonu kullanılmıştır. Çalışmada el veya döner sistem enstrümantasyonu yöntemleriyle uzaklaştırma yöntemlerine yer verilmemesinin nedeni; her iki tekniğin de üstünlüğünün olmadığını gösteren çalışmaların varlığıdır (355).

Ancak, PUI ve şırınga irrigasyonu gibi daha yaygın kullanılan teknikler, pratik uygulamaları yansıması açısından, deney grupları kapsamına alınmıştır.

Geçmiş çalışmalarda, kalsiyum hidroksit uzaklaştırma etkinliğini değerlendirmek için; kök kanalları içerisindeki kalıntıları skorlama, bilgisayar programları yardımıyla kalıntıların kapladığı alanı ölçme, kalan materyalin hacmini bilgisayarlı tomografiyle hesaplama gibi yöntemler kullanılmıştır.

Bu çalışmanın tasarımı, Lee ve arkadaşlarının tarif ettiği metoda göre yapılmıştır (191). Kök kanal sisteminden madde uzaklaştırma değerlendirmesi yapmak için uygun bir teknik olduğu düşünülmektedir. Benzer çalışma modelini, Van Der Slius ve arkadaşları hem dentin debrisini hem de kalsiyum hidroksit kaldırmada kullanmışlardır (8, 342, 343, 345). Bazı araştırmalarda ise tüm kök kanal duvarının temizliğini incelenmiştir (177, 179).

Yapılan çalışmalarda, diş kökleri aynı boyda uzunlamasına standart olarak kesilmiş ve kanal preparasyonunu takiben keski ve çekiç kullanılarak kökler ikiye ayrılmıştır (269, 346). Ancak bazı çalışmalarda, kanalları  $\text{Ca(OH)}_2$ ' le doldurduktan sonra kökü ikiye ayırma işlemi yapılmıştır. Bu işlem sırasında oluşan sarsıntı ve kuvvetler, kök kanalındaki  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in bir kısmının kanal duvarlarından dökülmesine sebep olabilmektedir. Ayrıca, kökleri ikiye ayırmak için döner aletler ve diskler kullanılırken oluşabilecek ısı ve titreşim,  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in kanal içi düzensizliklerinden ayrılmasına neden olabilir. Su soğutmasıyla kullanılan kesici aletler de kök kanalına yerleştirilmiş olan  $\text{Ca(OH)}_2$ ' i çözebilir.

Bu çalışmada tercih edilen yapay oluk açma; hem niteleyici hem de yerleşmiş bir tekniktir (8, 202, 269, 356). Bu yöntem; kök kanal sisteminin apikal kısmının klinik durumuna benzeyen düzensizlikleri taklit etmesi için tasarlanmıştır (344). Ortalama 0.2 mm genişliğinde, 0.5 mm derinliğinde ve 4 mm uzunluğunda bir yapay oluğun hacminin  $0.6 \text{ mm}^3$  olduğu hesaplanmıştır. Bu oluklar; kanal pansumanının uygulanması sırasında dikkat çekici miktarlarda kalsiyum hidroksitin tutunduğu veya mekanik olarak sıkıştırıldığı fakat kanal aletlerinin ulaşamadığı girintilere benzemektedir (357). Bu tür

düzensizlikler kalsiyum hidroksit artıklarından temizlenmeden tüm kök kanal sisteminin temizliğinden söz edilemez.

Yapay oluk modelinin avantajlarından biri, kanal ve oluk boyutlarının belirli bir standartta olmasıyla gözlemciler arası tutarlı bir değerlendirmeye olanak vermesidir. Bu sayede gözlemcilerin tekrarlanabilirliği yüksek bir modelde kendi aralarında fikir birliğine varmaları kolay olmaktadır. Oluk modelinin bir başka avantajı ise, bu modelin kanal pansumanının mekanik olarak çıkarılması ve irrigasyon sıvısının tek başına etkisinin ayırt edilmesine izin vermesidir.

Her ne kadar yapay oluklar kök kanal sisteminin karmaşıklığını tam olarak yansıtamasa da bu düzenek doğal dişlerde ulaşılması zor olan farklı kalsiyum hidroksit uzaklaştırma yöntemlerini karşılaştırma fırsatı vermektedir. İn vivo olarak istmuslardan veya oval uzantılardan kalsiyum hidroksit uzaklaştırmak, yapay oluklardan uzaklaştırmaktan zor olabilir. Bu yüzden, oluk model kullanımı, irrigasyon solüsyonlarının uzaklaştırma etkinliğinin olduğundan fazla hesaplanmasına neden olabilir.

Daha önceki çalışmalarda, kalsiyum hidroksit kalıntılarının sayısal değerlendirilmesi için dijital görüntü alınmaktaydı. Bu yaklaşımın en önemli dezavantajı kalsiyum hidroksitin sadece yüzeysel tabakasının miktarı belirlenmesidir. Bu nedenle, olukların temizliği odak derinliğindeki farklılıklardan dolayı; stereo mikroskop altında üç boyutlu bakışa daha fazla izin veren referans fotoğraflar kullanılarak değerlendirildi. Bu çalışmada kullanılan skorlama sistemini Van Der Slius ve arkadaşları daha önce tarif etmişlerdir (344).

Nandini ve arkadaşları, spiral bilgisayarlı tomografi tekniği kullanarak kök kanalı sistemindeki uzaklaştırılmayan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  miktarını üç boyutlu olarak tespit etmişlerdir (178). Üç boyutlu görüntüleme tekniğinin avantajı; diş köklerinin boylamasına ikiye ayrılmasına gerek duyulmadan değerlendirme yapılabilmesidir. Bu tekniğin bilinen iki sakıncası vardır. İlk olarak; bilgisayarlı tomografi kanal içinde kalan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' in kök kanalı yüzeyindeki yayılımını değil kök kanalı içindeki miktarını göstermektedir. İkinci dezavantajıysa; teknik açıdan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ' in tam hacmini görüntülemek için yeterli kalınlıkta kesit alınamamasıdır.

Taşdemir ve arkadaşları, kök kanallarından  $\text{Ca(OH)}_2$  uzaklaştırılma etkinliğini değerlendirirken uzunlamasına ikiye ayrılmış diş köklerinin yüksek çözünürlüklü dijital fotoğraflarını çekmişler ve arta kalan  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in yüzey alanını hesaplayarak karşılaştırma yapmışlardır (358). Ultrasonik irrigasyon tekniğinin, sadece irrigasyon yapılan gruplara göre istatistiksel olarak anlamlı ölçüde daha az  $\text{Ca(OH)}_2$  kaplı alana sahip olduğunu görmüşlerdir. Bu sonuçlar, mevcut çalışmamızın sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Ancak, dijital fotoğraf tekniğinde ölçülecek yüzey alanının operatöre bağlı olarak belirlenmesi sırasında hatalar yapılabilir. Üstelik yüzey alanının görüntülenmesi sırasında, ortam ışığıyla ilgili standardizasyon problemleri de sonuçları etkileyebilir. Çalışma planlanırken kök kanalı içinde kalan  $\text{Ca(OH)}_2$ ' nin yüzey alanı olarak ölçülmesi hedeflenmemiştir. Bunun yerine teknik hassasiyetlerden daha az etkilenen, stereo mikroskopla olukların görüntülenmesi ve olukların skorlanması yöntemi seçilmiştir.

Çalışmada denenen tüm aktivasyon yöntemleri, kontrol grubu olarak kullanılan şırınga irrigasyonundan daha iyi oluk temizliği sağladı. Bu sonuçların Er:YAG lazerle aktive edilen irrigasyon, pasif ultrasonik irrigasyon ve Er,Cr:YGSS lazerle aktivasyonla yapılan kalsiyum hidroksit veya debris temizliğini değerlendiren geçmiş çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir (191, 269). Bu durumun muhtemel açıklamasının; lazerle üretilen baloncuk dinamiklerinin tepisel doğasında yattığı düşünülebilir.

Öte yandan geleneksel şırınga ve pasif ultrasonik irrigasyonlarındaki gibi bir sabit akım ise sadece visköz stres kullanır. Aynı zamanda bu durum; neden irrigasyon süresinin önemli bir faktör olduğunu ve neden atım tekrar oranı yüksek olan lazerin, düşük olana göre daha etkili olduğunu da açıklamaktadır.

Silindirik kuartz uçlu Er:YAG lazerle çalışma uzunluğundan 5 mm kısa çalışıldığı halde, PIPS uçla aktivasyon sırasında her lazer atımı sırasında oluşan kanalda sıvı kalmayışı sorunu, çalışmada yaşanmadı. Konik uçla yapılan PIPS aktivasyonu sırasında hızlı sıvı akışı, genişleyen ve patlayan buhar kabarcıklarının oluşmasına yol açar (312). Ancak düz uçla yapılan lazer aktivasyonu sırasında bu tür kabarcıkların oluşup oluşmadığına dair bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Hatta PIPS aktivasyon mekanizması bile tam olarak anlaşılmış değildir.

De Moor ve arkadaşlarının Er:YAG ve Er,Cr:YGSS lazerleri pasif ultrasonik irrigasyonla karşılaştırdığı çalışmada; 4 kez uygulanan 5 saniyelik Er:YAG veya Er,Cr:YGSS lazer uygulamasının, 3 kez uygulanan 20 saniyelik aralıklı temizleme tekniğiyle uygulanan pasif ultrasonik irrigasyon kadar etkili olduğunu bildirilmiştir (269). Bu sonuç, mevcut çalışmanın sonuçlarıyla uyumludur. Ancak bu iki grup arasında istatistiksel bir fark bulunmamıştır. Çalışmada kullanılan Er:YAG lazer ucu bu çalışmadan daha geniş olsa da lazer sisteminin çıkış gücü daha düşüktür. Bu parametreler, daha düşük akımlara ve muhtemelen daha da azalmış kavitasyon etkisine yol açabilir. Kullanılan 300 µm çaplı lazer ucu Er:YAG sistemler için uygun olan en küçük çaplı alternatif ve üretici firmanın bu uç için önerdiği ayarlarla çalışmada kullanıldı.

Pasif ultrasonik irrigasyonun, şırınga irrigasyonundan daha etkili biçimde kalsiyum hidroksiti kök kanal duvarlarından uzaklaştırdığı birçok çalışmada bildirilmiştir (180). Pasif ultrasonik irrigasyonun etkinliğiyle ilgili elde ettiğimiz sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla uyumludur (202, 359). Sodyum hipokloritle yapılan pasif ultrasonik irrigasyonun şırıngayla yapılan irrigasyondan, dişin apikalinde oluşturulan standardize yapay oluklardan kalsiyum hidroksit patını uzaklaştırmada daha etkili olduğu yine mevcut çalışmada gösterilmiştir.

Van der Sluis ve arkadaşları, kalsiyum hidroksit kaldırmada ultrasonik sistem, NaOCl ve distile suyu değerlendirdiklerinde; ultrasonik sistem ile aktive edilen irrigasyonun daha etkin olduğunu bildirmişlerdir (8). Yücel ve arkadaşlarıysa, EndoVac sistem ve ProUltra Piezoflow gibi iki farklı ultrasonik sistemin arasında temizlik etkinliği açısından fark olmadığını ancak pasif irrigasyon tekniğinin daha fazla kalsiyum hidroksit uzaklaştırdığını gözlemlemişlerdir (180). Pasif ultrasonik irrigasyon sırasında, kök kanalı içerisinde apikalden koronale güçlü bir akımın neden olduğu akustik mikro akımlar ve kavitasyon oluşabilir (360). Bu mikro akımlar sayesinde, geleneksel şırınga irrigasyonuna göre daha fazla kalsiyum hidroksit kaldırılmış olabilir (191). Hatta Goodman ve arkadaşları, apikal darlığa 1 mm uzaktan alınan kesitlerdeki istmusların temizliğinde bile, pasif ultrasonik irrigasyonun şırınga irrigasyondan başarılı olduğunu göstermişlerdir (361). Muhtemelen ultrasonik irrigasyonun, kanal içindeki sıvı akışının hızını ve hacmini oldukça arttırması sayesinde bu sonuç ortaya çıkmaktadır çünkü 1

dakikalık ultrasonik irrigasyon sırasında 70 ml solüsyon uygulanabilirken 5 dakikalık şırınga irrigasyonunda ancak 30 ml solüsyon uygulanabilmektedir.

Çalışmada her örnek için toplam 30 ml irrigant, her eğe değişiminde 10 ml solüsyon kullanılan 3 eğeli Revo-S döner alet sisteminden oluşan klinik uygulamayı taklit etmesi için kullanılmıştır. Ancak klinik rutinde, birçok diş hekiminin bu miktarlardan daha az irrigant solüsyon kullandığı düşünülmektedir.

Örnek dişlerin apekslerinin mumla kapatılması irrigantın taşmasını ve uygun olmayan irrigasyonu önlemektedir. Büyük olasılıkla hidrodinamik etkenler bu çalışmanın sonuçlarında önemli bir rol oynamıştır, çünkü çalışma boyundan 1 mm kısa yerleştirilen şırınga iğnesinin ucu, apikale 2 mm mesafeye açılmış yapay oluğa çok yakındır. Huang ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada bu duruma ilişkin olarak; irrigasyon solüsyonunun kimyasal etkisine ilave olarak fiziksel yıkama etkisinin yararı da vurgulanmıştır (362). Bununla birlikte apikal üçlüdeki temizlik etkisinin gerçek nedeni açık değildir.

Kalsiyum hidroksit uzaklaştırmada, NaOCl'in pasif ultrasonik irrigasyon sırasında kullanımı sadece su kullanımından daha etkilidir (8). Bu durum için iki farklı görüş vardır. İlk görüş; su ve NaOCl'in fiziksel özelliklerinin farklılığından yola çıkmaktadır. NaOCl bir su tuz süspansiyonudur. Tuzlu suda oluşan baloncuklar, özellikle de en küçükleri, çok sayıda olma eğilimindedir ve bir araya gelmeye yatkın değildir (363). Sıvıdaki boşluk oluşumu olan baloncuk, kavitasyonun temelidir. En küçük baloncukların çok sayıda olması; akustik mikro akımları farklılaştırarak, muhtemelen daha da güçlenmesine yol açabilir. İkinci görüş ise; kavitasyon sırasında baloncukların içinde gazın çözüldüğünü söylemektedir. Baloncukların salınımı; sıvıda eriyen gazın yoğunluğuna, sıvının sıcaklığına ve az miktardaki yüzey aktif kirliliğine bağlıdır (364).

Sodyum hipoklorit; kaynama noktası olan 40 °C' de çözünür ve kısmen sodyum katyonu, hipoklorit anyonu, sodyum hidroksit, hipokloröz asit, klorin, oksijen veya sodyum klorata ayrışır. Pasif ultrasonik irrigasyon sırasında irrigant olarak sodyum hipokloritin kullanımıyla, baloncukta eriyebilen irrigant içindeki klorin de ortaya çıkacaktır. Irriganttaki klorin gazının, baloncukların salınımları üzerinde, dolayısıyla da akustik



mikro akımlar üzerine de etkisi olacaktır. Baloncuklar kavitasyon sırasında gaz taşıyabilirler. Bu durumun, irrigant aracılığıyla klorinin yayılmasına bir etkisi olabilir. Eğer baloncuk genişleme fazındaysa, gaz baloncuğun içine geçecektir. Bunun aksine, baloncuk sıkışma fazındaysa, gaz baloncuktan dışarı çıkacaktır (363). Bu ayrıntılı faktörler, irrigant olarak NaOCl ve suyun arasındaki etki farkını açıklayabilir. Ancak bu mekanizmanın daha da anlaşılması için yapılacak yeni çalışmalara gereksinim vardır.

Göreceli olarak 10 diş gibi küçük bir örnek büyüklüğüyle çalışma yapılırsa da uygulanan modelin hassas olduğunu ve dört ayrı teknik arasında gerçek bir farkın var olduğunu gösteren, istatistiksel olarak belirgin bir fark çalışma sonunda bulundu.

EDTA, kalsiyum hidroksit kalıntılarını nötrleyebilir. EDTA ve sodyum hipokloritin art arda kullanımının, tam bir kalsiyum hidroksit uzaklaştırması sağladığını bildiren çalışmalar vardır (176). Margelos ve arkadaşları, % 15' lik EDTA veya sodyum hipokloritin tek başına kullanımında; kalsiyum hidroksiti etkili biçimde kaldıramazken, bu iki irrigantın beraber kullanımının kalsiyum hidroksit uzaklaştırma etkinliğini arttırdığını bildirmişlerdir (175). Bu durum; EDTA ile şelasyon yapan kalsiyum hidroksit artıklarının NaOCl irrigasyonu ile kolay uzaklaşır hâle gelebileceği şeklinde açıklanmaktadır (175). Bundan dolayı, yapılan çalışmada final irrigasyon olarak, EDTA veya sodyum hipoklorit beraber kullanıldı. Ancak, başka birçok çalışma aynı irrigasyon tekniğiyle farklı sonuçlar vermektedir ve çok miktarda kalsiyum hidroksit kalıntısı bulunduğunu rapor edilmektedir (365, 366). Rödig ve arkadaşları, EDTA ve sitrik asit irrigasyonunun kalsiyum hidroksit uzaklaştırmada sodyum hipokloritten daha etkili olduğunu söyleseler de, şelasyon ajanlarıyla beraber kullanılan sodyum hipokloritin kalsiyum hidroksit kaldırmaya belirgin bir katkısının olmadığını iddia etmişlerdir (202).

EDTA' nın kanal duvarında yüzeyel olarak bulunan veya kök kanalının derinliklerindeki kalsiyum hidroksiti, tamamen erittiğine dair bir kanıt da bulunmamaktadır. Lee ve arkadaşları, bir irrigasyon tekniğinin temizleme etkinliğinin; sadece mekanik ajitasyona ve kullanılan solüsyon hacmine değil, irrigantın kimyasal aktivitesine de bağlı olduğunu belirtmektedirler (191). Her ne kadar NaOCl dentin debrisinin organik bileşenlerini çözebilse de kalsiyum gibi inorganik maddeleri eritememektedir (341). Bir şelatör olduğu için EDTA' nın kalsiyum hidroksit

kaldırmada, sodyum hipokloritten daha etkili olduğu ifade edilmektedir (202). EDTA kullanımı muhtemelen çalışma sonuçlarını etkilemiştir.

Klasik irrigasyonla yapılan kalsiyum hidroksit uzaklaştırması diğer tüm gruplardan daha kötü sonuçlar verdi. Kenee ve arkadaşları, ultrasonik sistemlerin kalsiyum hidroksit patını uzaklaştırma yönünden sadece irrigasyon yapılan gruplara göre daha başarılı olduğunu ancak her iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını gözlemlemişlerdir (179). Kalsiyum hidroksit uzaklaştırmak için yapılan irrigasyonun etkinliği; kullanılan irrigasyon solüsyonu miktarını arttırmak, rehber eğe kullanmak, döner ege sistemleriyle çalışmak, pasif ultrasonik irrigasyon yapmak ve lazer uygulamak gibi ilave işlemlerle arttırılabilir (177, 179, 190, 367, 368). Mevcut çalışmada kök kanallarının yıkanması; pasif ultrasonik irrigasyon, Er,Cr:YGSS lazer ve Er:YAG lazerle desteklenmiştir.

Er:YAG lazerin sudaki emilim katsayısı CO<sub>2</sub> lazerden 10 kat, Nd:YAG lazerden ise 15000-20000 kat fazladır. Er:YAG lazerin suyla birlikte kullanımında; daha az doku dejenerasyonu oluşur ve karbonizasyon gözlenmez (298). Er:YAG lazerin ışık enerjisi, su molekülleri ve su içeren dokular tarafından seçici biçimde emilir. Suyun buharlaşmasına neden olan bu süreç, mikro patlamalar ve mekanik doku çöküşüne yol açan bir basınç oluşturur. En az ısısız etkiyle kalsifiye dokuları uzaklaştıran tüm bu olaylara ‘‘ablasyon’’ denir (369).

Kök kanal sisteminde Er:YAG lazerle aktive edilmiş irrigasyonda kullanılan lazer gücü ve uygulama süresiyle ilgili bir çok çalışmada farklı parametreler kullanılmışsa da, üzerinde görüş birliği sağlanmış değerler hâlen yoktur (298, 308, 368). Her ne kadar Er:YAG lazerin yumuşak dokuları ve smear tabakasını; dentin tübüllerini eritmeden, çatlatmadan, yeniden kristalize etmeden ve açığa çıkarmadan uzaklaştırdığı bildirilse de çalışma için seçilen parametrelerde periradiküler kemik dokusunun sıcaklığa hassasiyeti dikkate alındı (298). Periradiküler kemiğe zarar vermeyecek maksimum artışın; 1 dakikalık lazer uygulaması için insan vücudunda 10 °C artışa karşılık gelen 47 °C olduğu rapor edilmektedir (370). Çalışmada her ne kadar sıcaklık ölçümü yapılmadıysa da, seçilen 50 mJ, 1 W güç ve 20 Hz atım frekansı parametreleri sıcaklık artışı açısından güvenli olarak bildirilen değerlerden düşüktür (371, 372).

İyi şekillendirilmiş kanallarda bile eğerlerin ulaşamadığı düzensizlikler vardır. Lazerlerin çoğunlukla geleneksel kök kanal şekillendirilmesi sonrası kanal sisteminin temizliği için kullanılmasında, dokunulamayan bu bölgelere lazerlerin ulaşabilme olasılığı yatar. Bu etkinin nedenleri; lazerle aktive edilen irrigasyonun oluşturduğu çöküntü şoku dalgaları ve irrigant içerisindeki lazerle uyarılmış buhar ve baloncuklar tarafından oluşturulan hızlı akımdır (312, 313). Bu nedenle, özellikle Er:YAG lazerin etkinliği için kanal içinde irrigant varlığı önemlidir. Düşük güçteki her atım, su molekülleriyle etkileşime girmektedir. Kök kanal duvarlarına herhangi bir termal zarar oluşturmadan, güçlü bir akıma yol açan genişlemeler ve derin şok dalgaları oluşmaktadır.

Buhar baloncukları, genişlemeye ve lazer ışığı önünde bir boşluk oluşturmaya başlarlar. Irrigantın buharlaşması; daha sonra çökecek ve birkaç kez kabarcıklanacak geniş bir baloncuğun büyümesine neden olur (315). Mevcut çalışmada olduğu gibi 300 µm çapında lazer ucu kullanıldığı zaman, bir baloncuğun 220 mikrosaniyede 1800 µm çapına kadar genişlediği gözlenmiştir (312). Bunun da ötesinde, aynı uç camdan yapılmış bir diş modelinin tabanına 2 ve 5 mm mesafeye yerleştirildiğinde, göreceli olarak daha geniş çaplı ikincil kavitasyon baloncuklarının oluştuğu da bildirilmiştir. İkincil kavitasyon kabarcıkları, ardışık lazer atımının oluşturduğu baloncuk çöküşüyle uyarıldığından, kök kanal duvarının temizliğinde yardımcı olabilir.

Akış apeks içindeki tüm mesafeye nüfuz etmediği için apeks içinde hapsolan, önceki lazer atımlarından geriye kalan baloncuğun kök kanalının apikal kısmının temizliğine yardımcı olması muhtemeldir. Bu durum, lazerle aktive edilen irrigasyonun temizleme etkinliğini büyük olasılıkla arttırmaktadır. Çalışmada da bu bilgiye uyumlu biçimde; Er:YAG lazerin etkinliği diğer yöntemlere göre üstün çıkmıştır. Benzer şekilde, Deleu ve arkadaşları da, Er:YAG lazeri pasif ultrasonik irrigasyona göre daha başarılı bulmuşlardır (314). Aynı çalışmada, daha küçük çaplı fiber uçlu ve daha yüksek enerji atımlı lazerlerin; daha güçlü sıvı akımına ve muhtemelen irrigant içerisinde baloncuk içeren buhar veya kavite oluşumu artışına yol açacakları bildirilmiştir. Çalışmadaki Er:YAG lazerin etkinliği de; yüksek atım enerjisine (50 mJ) ve küçük fiber çapına (300 µm) bağlanabilir. Benzer biçimde De Moor ve arkadaşları, yapay olarak kök kanallarına yerleştirilmiş dentin debrisini kaldırmada erbiyum lazerlerle 20 saniye aktive edilmiş irrigasyonun, 20 saniyelik 3 tekrarla yapılan pasif ultrasonik irrigasyonla benzer

etkilerinin olduğunu rapor etmişlerdir (269). Bu doğrultuda, De Groot ve arkadaşları da 20 saniye lazerle aktive edilmiş irrigasyonun, 20 saniye pasif ultrasonik irrigasyondan daha etkili biçimde apikal kısımdan dentin debrisini kaldırdığını gösterdiler (315). Her ne kadar dentin debrisi ile kalsiyum hidroksit patı kalıntılarının farklı fiziksel özellikleri olsa da, uzaklaştırma çalışmalarının benzer metodlarla incelenmesi “kök kanal sistemi temizliği” ana başlığında değerlendirilmelerine yol açmaktadır.

Van Der Sluis ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, çalışma boyu 12 mm olarak belirlenmişti (344). Mevcut araştırmada ise, çalışma boyu 13 mm olarak seçildi. Aktif uçları çalışma boyundan 1 mm kısa olarak yerleştirilen pasif ultrasonik irrigasyon, Er,Cr:YGSS lazer ve şırınga irrigasyon gruplarının aksine Er:YAG lazerin aktif ucu daha önce yapılan çalışmalardan hareketle çalışma boyundan 5 mm kısa olacak biçimde yerleştirilmiştir (314). George ve arkadaşları, erbiyum lazer için kullanılan fiber ucun apikale uzaklığının apikalden boya sızıntısına etkisini bir çalışmada değerlendirmişlerdir. Ne fiber ucun düz veya konik açılı olmasının ne de lazer türünün Er,Cr:YGSS veya Er:YAG olmasının, apikalden boya sızıntısına etkisinin olmadığını gördükleri bu çalışmalarında, fiber ucun apekse mesafesinin etkili bir parametre olduğunu buldular. Apikale 5 mm uzakta konumlanan ucun, 10 mm uzakta olandan daha fazla boya sızdırdığını bildirmişlerdir (316).

Erbiyum lazerler; subablatif ayarlarda ve basamak oluşumundan kaçınılarak kullanılmalıdırlar. Er:YAG lazerin basamak oluşturma riski Er,Cr:YGSS lazere göre oldukça fazla olduğu için, çalışmada kanal duvarlarına temas ettirilmeden ve çalışma boyundan 5 mm kısa olacak şekilde kullanılmıştır (373). Lazer aktivasyonu ile sıvı reaksiyon kinetiğinin artırılması ilkesiyle çalışan Er:YAG lazerin aktif ucunun, apikale kadar ulaşmasına gerek olmadığı ifade edilmektedir (315). Her ne kadar düz uçlu Er:YAG lazer ucunun, kırılabilir ve esnek olmayan yapısı nedeniyle, kanal içinde çalışma boyuna yakın yerleştirilmesi zaten mümkün değilse de, tüm gruplardaki uç mesafelerinin aynı olmamasının araştırmanın sonuçlarını etkilediği düşünülmektedir.

Geleneksel lazer uygulamalarında kök kanal sisteminin en az #30 boyutunda preparasyonu ve lazer ucunun dişin apikal üçlü kısmına ulaşması istenmektedir. Yapılan bir çalışmada, dişin çalışma boyu arttıkça kök kanal çapının artmasının, kanal içinde

lazerle aktive edilen irrigantın ortalama hızını azalttığı bildirildi. Bu nedenle fiber ucun hedefe yakın olmasının irrigasyon etkinliğini arttıracığı sonucuna varıldı (315).

Mevcut çalışmadaki bulgular, Er:YAG lazer uygulamasının kalsiyum hidroksit uzaklaştırmasında etkili olduğunu göstermiştir. Bu etki; lazer aktivasyonu ile artmış NaOCl reaksiyon kinetiği ile açıklanabilir (315). Er:YAG lazerin en belirgin özelliği olan ablasyon etkisi, uzaklaştırılacak materyal içerisindeki suya bağlıdır (298).

De Groot ve arkadaşları, yüksek hızlı görüntüleme yöntemleri kullanarak yaptıkları deneylerde lazerle uyarılan baloncuğun, NaOCl solüsyon kullanıldığında daha büyük olduğunu ve daha uzun çöküntü süresine sahip olduğunu gözlemlediler. İlave olarak, küçük baloncuk miktarının daha fazla olduğunu da tespit ettiler (315). Lazerle uyarılan baloncuğun tepisel büyümesi nedeniyle, kanal içindeki sıvının koronal kısımdaki açıklıktan dışarı itildiği ve kanal içindeki sıvı miktarının azaldığı da aynı deneyde rapor edilmektedir. Yapılan çalışmada bu durum, Er:YAG lazerin atım yaptığı sırada gözlemlendi.

Er,Cr:YGSS ve Er:YAG lazerlerin, su ve NaOCl' te emilimleri iyidir (269). Roeland ve arkadaşları, Er,Cr:YGSS ve Er:YAG dalga boylarının lazerle uyarılmış kaviteasyon üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, Er:YAG lazerin ikincil kaviteasyon baloncuğu oluşumu sayesinde daha etkili olduğunu açıkladılar. Çalışmayla uyumlu olan bu sonuçta, ardışık lazer atımının baloncuk çöküntüsüyle uyarılan ikincil kaviteasyon baloncuklarının daha iyi bir kök kanal duvarının temizliğine olanak sağlamasının etkili olduğu ifade edilmiştir (269). Aynı çalışmada, pasif ultrasonik irrigasyonun Er,Cr:YGSS ve Er:YAG lazerle yapılan irrigasyon aktivasyonlarıyla benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuç da araştırmayla uyumlu bir sonuçtur.

Araştırmada kullanıma hazır Ca(OH)<sub>2</sub> patı kullanılmıştır. Balvedi ve arkadaşları, kalsiyum hidroksiti; salin, polietilen glikol ve polietilen glikol-kâfurlu paramonoklorofenol ile karıştırarak veya doğrudan toz şeklinde uygulamışlardır. Daha sonra, geleneksel el eğesi veya ultrasonik irrigasyonla kalsiyum hidroksit kalıntılarını kaldırdıklarında, taşıyıcılar arasında belirgin bir fark olmadığını tespit etmişlerdir. Buna karşın aksi yönde sonuçlar bildiren çalışmalar da mevcuttur (347).

Örneğin, Ballal ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, yağlı taşıyıcıları temsilen silikon yağı-iyodofom ve visköz taşıyıcıları temsilen de propilen glikol kullanıldıktan sonra ultrasonik sistemle kalsiyum hidroksit kanaldan uzaklaştırılmıştır (374). Silikon yağı-iyodoform aracılı kalsiyum hidroksitin daha fazla artık bıraktığı çalışmanın sonunda bildirilmektedir. Bu durumun açıklamasının; silikon yağının yoğunluğunun fazla olması ve çözünmeye daha fazla direnç göstermesi olarak bildirilmiştir. Aynı şekilde, Lambrianidis ve arkadaşları, kalsiyum hidroksit-salin, aköz tipteki Calxyl ve Pulpdent'i kök kanalından uzaklaştırmışlar ve metil selüloz içerikli Pulpdent'in diğerlerinden daha fazla kalıntı bıraktığını tespit etmişlerdir. Bu durumu; metil selülozun retantif özelliğinin fazla oluşuyla açıklamışlardır (177).

Nandini ve arkadaşlarıysa, distile su ile karıştırılan kalsiyum hidroksit ile silikon yağı ve iyodoform içeren Metapex'i karşılaştırdıkları çalışmalarında Metapex kullanılan örneklerde daha fazla kalsiyum hidroksit artığının kaldığını bildirmişlerdir. Silikon yağı ve iyodoformun distile suya oranla kanallardan daha zor temizlendiğini iddia etmişlerdir (178). Yapılan diğer çalışmalar da,  $\text{Ca(OH)}_2$  türünün, kanaldan pat artıklarının uzaklaştırılmasında etkili olduğunu göstermektedirler (355).

Araştırmada, piyasada sıklıkla bulunabilen ve kliniklerde yaygın kullanılan Best Kalsiyum Hidroksit pat özellikle tercih edilmiştir. Bu ürün; radyopak özelliği olan, akışkan bir paktır. Kalsiyum hidroksit patına ilave edildiği bilinen tek içerik baryum sülfattır. Ürünün kullanma klavuzunda; kullanıma hazır tek pat halinde olduğu ve gerektiğinde kolayca kanaldan çıkarılabileceği belirtilse de önceden karıştırılmış ürünlerde kullanılan katkı maddeleri, materyalin tutunumunu arttırılabilirler. Bu nedenden dolayı; mevcut araştırmamız distile suyla kalsiyum hidroksit karışımı kullanılarak yapılmış olsaydı, elde edilen sonuçların daha farklı olabileceği düşünülmektedir.

Çalışmada kullanılan uzaklaştırma tekniklerinden hiçbiri kök kanal sisteminden kalsiyum hidroksiti tamamen uzaklaştıramasa da, erbiyum lazerlerle aktive edilmiş irrigasyon tekniklerinin etkin bir uzaklaştırma sağlandığı gözlenmiştir.

Çalışmada kök kanal sisteminin tümü, özellikle de apikal üçlü bölgesi, kalsiyum hidroksit artıklarının uzaklaştırılması açısından incelenmemiştir. Anastomoz ve istmus gibi kanal düzensizlikleri de dikkate alınmamıştır. Yeni çalışmalarla bu yönlerden de, kalsiyum hidroksitin temizlenme etkinlikleri değerlendirilmelidir.

Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı laboratuvarında, Ca(OH)<sub>2</sub> pansuman patının kök kanallarından farklı metodlarla uzaklaştırılma etkinliğinin karşılaştırmalı olarak değerlendirildiği bu uzmanlık tezi sonuçlarına göre:

1. Denenen metodların hiçbiri, Ca(OH)<sub>2</sub>' i kök kanalındaki yapay oluklardan tamamen uzaklaştırılamamıştır. Bu durumun; kullanıma hazır Ca(OH)<sub>2</sub> kullanılması ile bağlantısı olabilir. Distile su gibi daha akıcı taşıyıcıların kullanılması, Ca(OH)<sub>2</sub>' in kök kanalından daha etkin uzaklaştırılmasını sağlayabilir. Fakat Ca(OH)<sub>2</sub>' nin tipinin değiştirilmesinin; antibakteriyel etki süresini ve Ca(OH)<sub>2</sub>' in iyonlaşma hızını değiştireceği unutulmamalıdır.

2. Ca(OH)<sub>2</sub>' in en iyi uzaklaştırıldığı gruplar sırasıyla; Er: Cr: YSGG lazer grubu, Er: YAG lazer grubu ve pasif ultrasonik irrigasyon grubudur. Erbiyum lazerleri arasında ise Er: Cr: YSGG lazer grubu, Ca(OH)<sub>2</sub>' in en iyi uzaklaştırıldığı grup olmuştur. Bu sonuçta ana etken; erbiyum lazerlerle uyarılmış baloncukların neden olduğu çöküntü şoku dalgaları ve hızlı akımın temizlik işlemini gerçekleştirmesi olabilir.

Bununla birlikte, araştırmanın genelinde Er: Cr: YSGG lazer grubu, Er: YAG lazer grubu ve pasif ultrasonik irrigasyon grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu sonuç, Ca(OH)<sub>2</sub> uzaklaşımında; Er: Cr: YSGG lazer, Er: YAG lazer ve pasif ultrasonikle irrigasyon aktivasyonunun, şırınga irrigasyonundan daha etkili Ca(OH)<sub>2</sub> uzaklaştırıldığını ortaya koymaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Siqueira Jr JF, Rôças IN, Santos SR, Lima KC, Magalhães FA, de Uzeda M. Efficacy of instrumentation techniques and irrigation regimens in reducing the bacterial population within root canals. *J Endodon.* 2002;28(3):181-4.
2. Peters L, Van Winkelhoff AJ, Buijs J, Wesselink P. Effects of instrumentation, irrigation and dressing with calcium hydroxide on infection in pulpless teeth with periapical bone lesions. *Int Endod J.* 2002;35(1):13-21.
3. Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjögren U. Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998;85(1):86-93.
4. Rafter M. Apexification: A review. *Dent Traumatol.* 2005;21(1):1-8.
5. Tronstad L, Andreasen J, Hasselgren G, Kristerson L, Riis I. pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. *J Endodon.* 1981;7(1):17-21.
6. de Souza CAS, Teles RP, Souto R, Chaves MAE, Colombo APV. Endodontic therapy associated with calcium hydroxide as an intracanal dressing: microbiologic evaluation by the checkerboard DNA-DNA hybridization technique. *J Endodon.* 2005;31(2):79-83.
7. Taşdemir T, Celik D, Er K, Yildirim T, Ceyhanli K, Yeşilyurt C. Efficacy of several techniques for the removal of calcium hydroxide medicament from root canals. *Int Endod J.* 2011;44(6):505-9.
8. Van der Sluis L, Wu M, Wesselink P. 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(1):52-7.
9. Kim SK, Kim YO. Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal. *Int Endod J.* 2002;35(7):623-8.
10. Pitt Ford T, Rhodes JS, Pitt Ford H. *Endodontics: Problem-solving in clinical practice.* 2002.
11. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature—Part 2. Influence of clinical factors. *Int Endod J.* 2008;41(1):6-31.



12. Langeland K, Conn F, Block RM, Va R, Grossman LI. A histopathologic and histobacteriologic study of 35 periapical endodontic surgical specimens. *J Endodon.* 1977;3(1):8-23.
13. Johnson WT. *Color Atlas of Endodontics.* 2002.
14. Qualtrough A, Whitworth J, Dummer P. Preclinical endodontology: an international comparison. *Int Endod J.* 1999;32(5):406-14.
15. Byström A, Sunqvist G. The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J.* 1985;18(1):35-40.
16. Andersen M, Lund A, Andreasen JO, Andreasen FM. In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite. *Endod Dent Traumatol .* 1992;8(3):104-8.
17. D'Arcangelo C, Di Nardo Di Maio F, Stracci N, Spoto G, Malagnino VA, Caputi S. Pulp-dissolving ability of several endodontic irrigants: a spectrophotometric evaluation. *Int J Immunopath Ph* 2007;20(2):381-6.
18. Goldman LB, Goldman M, Kronman JH, Lin PS. The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: A scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1981;52(2):197-204.
19. Patil CR, Uppin V. Effect of endodontic irrigating solutions on the microhardness and roughness of root canal dentin: An in vitro study. *Indian J Med Res.* 2011;22(1):22-7.
20. Oliveira LD, Carvalho CA, Nunes W, Valera MC, Camargo CH, Jorge AO. Effects of chlorhexidine and sodium hypochlorite on the microhardness of root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;104(4):e125-8.
21. Sim TP, Knowles JC, Ng YL, Shelton J, Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *Int Endod J.* 2001;34(2):120-32.
22. Marins JS, Sassone LM, Fidel SR, Ribeiro DA. In vitro genotoxicity and cytotoxicity in murine fibroblasts exposed to EDTA, NaOCl, MTAD and citric acid. *Braz Dent J.* 2012;23(5):527-33.
23. van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper. *Int Endod J.* 2005;38(10):764-8.

24. Lee MT. Conservative endodontic management of teeth associated with extensive periapical pathology: report of two cases. *Aust Endod J.* 2004;30(3):103-9.
25. Aydın M. Endodonti. In: T A, editor. *Endodontik Mikrobiyoloji.* 1 ed. Ankara: Özyurt Matbaacılık; 2012. p. 589-624.
26. Siqueira J, Lopes H. Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *Int Endod J.* 1999;32(5):361-9.
27. Holland R, de Souza V, de Mello W, Nery MJ, Bernabe PF, Otoboni Filho JA. Permeability of the hard tissue bridge formed after pulpotomy with calcium hydroxide: a histologic study. *J Am Dent Assoc (1939).* 1979;99(3):472-5.
28. Goldberg F, Massone EJ, Spielberg C. Evaluation of the dentinal bridge after pulpotomy and calcium hydroxide dressing. *J Endodon.* 1984;10(7):318-20.
29. Pereira JC, Segala AD, Costa CA. Human pulpal response to direct pulp capping with an adhesive system. *Am J Dent.* 2000;13(3):139-47.
30. Hebling J, Giro EM, Costa CA. Biocompatibility of an adhesive system applied to exposed human dental pulp. *J Endodon.* 1999;25(10):676-82.
31. Pereira JC, Brante CM, Berbert A, Mondelli J. Effect of calcium hydroxide in powder or in paste form on pulp-capping procedures: histopathologic and radiographic analysis in dog's pulp. *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology.* 1980;50(2):176-86.
32. Tronstad L, Andreasen JO, Hasselgren G, Kristerson L, Riis I. pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. *J Endodon.* 1981;7(1):17-21.
33. Mitchell DF, Shankwalker GB. Osteogenic potential of calcium hydroxide and other materials in soft tissue and bone wounds. *J Dent Res.* 1958;37(6):1157-63.
34. Heithersay GS. Calcium hydroxide in the treatment of pulpless teeth with associated pathology. *J Br Endod Soc.* 1975;8(2):74-93.
35. Stanley HR, Pameijer CH. Dentistry's friend: calcium hydroxide. *Operative Dentistry.* 1997;22(1):1-3.
36. Dianat O, Azadnia S, Mozayeni MA. Toxicity of calcium hydroxide nanoparticles on murine fibroblast cell line. *Iran Endod J.* 2015;10(1):49-54.
37. Aeinehchi M, Eslami B, Ghanbariha M, Saffar AS. Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp-capping agents in human teeth: a preliminary report. *Int Endod J.* 2003;36(3):225-31.

38. Frank AL. Therapy for the divergent pulpless tooth by continued apical formation. *J Am Dent Assoc* (1939). 1966;72(1):87-93.
39. Michanowicz JP, Michanowicz AE. A conservative approach and procedure to fill an incompletely formed root using calcium hydroxide as an adjunct. *J Dent Child* . 1967;34(1):42-7.
40. Wechsler SM, Fishelberg G, Opderbeck WR, LoMonaco CJ, Skribner JE, Shovlin FE. Apexification: a valuable and effective clinical procedure. *Gen Dent*. 1978;26(5):40-3.
41. Binnie WH, Rowe AH. A histological study of the periapical tissues of incompletely formed pulpless teeth filled with calcium hydroxide. *J Dent Res*. 1973;52(5):1110-6.
42. McCormick JE, Weine FS, Maggio JD. Tissue pH of developing periapical lesions in dogs. *J Endodon*. 1983;9(2):47-51.
43. Pisanti S, Sciaky I. Origin of calcium in the repair wall after pulp exposure in the dog. *J Dent Res*. 1964;43:641-4.
44. Holland R, de Mello W, Nery MJ, Bernabe PF, de Souza V. Reaction of human periapical tissue to pulp extirpation and immediate root canal filling with calcium hydroxide. *J Endodon*. 1977;3(2):63-7.
45. Schroder U, Granath LE. Early reaction of intact human teeth to calcium hydroxide following experimental pulpotomy and its significance to the development of hard tissue barrier. *Odontologisk Revy*. 1971;22(4):379-95.
46. Javelet J, Torabinejad M, Bakland LK. Comparison of two pH levels for the induction of apical barriers in immature teeth of monkeys. *J Endodon*. 1985;11(9):375-8.
47. Ham JW, Patterson SS, Mitchell DF. Induced apical closure of immature pulpless teeth in monkeys. *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology*. 1972;33(3):438-49.
48. Barthel CR, Levin LG, Reisner HM, Trope M. TNF-alpha release in monocytes after exposure to calcium hydroxide treated *Escherichia coli* LPS. *Int Endod J*. 1997;30(3):155-9.
49. Bystrom A, Claesson R, Sundqvist G. The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. *Endod Dent Traumatol* . 1985;1(5):170-5.

50. Estrela C, Pimenta FC, Ito IY, Bammann LL. In vitro determination of direct antimicrobial effect of calcium hydroxide. *J Endodon*. 1998;24(1):15-7.
51. Jiang J, Zuo J, Chen SH, Holliday LS. Calcium hydroxide reduces lipopolysaccharide-stimulated osteoclast formation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;95(3):348-54.
52. Kontakiotis E, Nakou M, Georgopoulou M. In vitro study of the indirect action of calcium hydroxide on the anaerobic flora of the root canal. *Int Endod J*. 1995;28(6):285-9.
53. Safavi KE, Nichols FC. Alteration of biological properties of bacterial lipopolysaccharide by calcium hydroxide treatment. *J Endodon*. 1994;20(3):127-9.
54. Ghose LJ, Baghdady VS, Hikmat YM. Apexification of immature apices of pulpless permanent anterior teeth with calcium hydroxide. *J Endodon*. 1987;13(6):285-90.
55. Dylewski JJ. Apical closure of nonvital teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology*. 1971;32(1):82-9.
56. Torneck CD, Smith JS, Grindall P. Biologic effects of endodontic procedures on developing incisor teeth. IV. Effect of debridement procedures and calcium hydroxide-camphorated parachlorophenol paste in the treatment of experimentally induced pulp and periapical disease. *Oral Surgery, Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1973;35(4):541-54.
57. Steiner JC, Van Hassel HJ. Experimental root apexification in primates. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1971;31(3):409-15.
58. Walia T, Chawla HS, Gauba K. Management of wide open apices in non-vital permanent teeth with Ca(OH)<sub>2</sub> paste. *J Clin Pediatr Dent*. 2000;25(1):51-6.
59. Baldassari-Cruz LA, Walton RE, Johnson WT. Scanning electron microscopy and histologic analysis of an apexification "cap": a case report. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1998;86(4):465-8.
60. Chawla HS. Apical closure in a nonvital permanent tooth using one Ca(OH)<sub>2</sub> dressing. *ASDC J Dent Child*. 1986;53(1):44-7.
61. Chosack A, Sela J, Cleaton-Jones P. A histological and quantitative histomorphometric study of apexification of nonvital permanent incisors of vervet monkeys after repeated root filling with a calcium hydroxide paste. *Endod Dent Traumatol*. 1997;13(5):211-7.

62. Cvek M. Treatment of non-vital permanent incisors with calcium hydroxide. I. Follow-up of periapical repair and apical closure of immature roots. *Odontologisk Revy.* 1972;23(1):27-44.
63. Feiglin B. Differences in apex formation during apexification with calcium hydroxide paste. *Endod Dent Traumatol .* 1985;1(5):195-9.
64. Abbott PV. Apexification with calcium hydroxide--when should the dressing be changed? The case for regular dressing changes. *Aust Endod J* 1998;24(1):27-32.
65. Yates JA. Barrier formation time in non-vital teeth with open apices. *Int Endod J.* 1988;21(5):313-9.
66. Mackie IC, Bentley EM, Worthington HV. The closure of open apices in non-vital immature incisor teeth. *Br Dent J.* 1988;165(5):169-73.
67. Kinirons MJ, Srinivasan V, Welbury RR, Finucane D. A study in two centres of variations in the time of apical barrier detection and barrier position in nonvital immature permanent incisors. *Int J Paediatr Dent / the British Paedodontic Society [and] the International Association of Dentistry for Children.* 2001;11(6):447-51.
68. Finucane D, Kinirons MJ. Non-vital immature permanent incisors: factors that may influence treatment outcome. *Endod Dent Traumatol .* 1999;15(6):273-7.
69. Sheehy EC, Roberts GJ. Use of calcium hydroxide for apical barrier formation and healing in non-vital immature permanent teeth: a review. *Br Dent J.* 1997;183(7):241-6.
70. Kleier DJ, Barr ES. A study of endodontically apexified teeth. *Endod Dent Traumatol .* 1991;7(3):112-7.
71. Doyon GE, Dumsha T, von Fraunhofer JA. Fracture resistance of human root dentin exposed to intracanal calcium hydroxide. *J Endodon.* 2005;31(12):895-7.
72. Bramante CM, Berbert A. Influence of time of calcium hydroxide iodoform paste replacement in the treatment of root perforations. *Braz Dent J.* 1994;5(1):45-51.
73. Fuss Z, Trope M. Root perforations: classification and treatment choices based on prognostic factors. *Endod Dent Traumatol .* 1996;12(6):255-64.
74. Bogaerts P. Treatment of root perforations with calcium hydroxide and SuperEBA cement: a clinical report. *Int Endod J.* 1997;30(3):210-9.
75. Petersson K, Hasselgren G, Tronstad L. Endodontic treatment of experimental root perforations in dog teeth. *Dent Traumatol.* 1985;1(1):22-8.

76. ElDeeb ME, ElDeeb M, Tabibi A, Jensen JR. An evaluation of the use of amalgam, Cavit, and calcium hydroxide in the repair of furcation perforations. *J Endodon.* 1982;8(10):459-66.
77. Himel VT, Brady J, Weir J. Evaluation of repair of mechanical perforations of the pulp chamber floor using biodegradable tricalcium phosphate or calcium hydroxide. *J Endodon.* 1985;11(4):161-5.
78. Craig RG, Zuroff M, Rosenberg PA. The effect of endodontic materials on periodontal ligament cell proliferation, alkaline phosphatase activity, and extracellular matrix protein synthesis in vitro. *J Endodon.* 1997;23(8):494-8.
79. Beavers R, Bergenholtz G, Cox C. Periodontal wound healing following intentional root perforations in permanent teeth of *Macaca mulatta*. *Int Endod J.* 1986;19(1):36-44.
80. Schuur A, Gruythuysen R, Wesselink P. Pulp capping with adhesive resin-based composite vs. calcium hydroxide: a review. *Dent Traumatol.* 2000;16(6):240-50.
81. Ne RF, Witherspoon DE, Gutmann JL. Tooth resorption. *Quintessence international* (Berlin, Germany : 1985). 1999;30(1):9-25.
82. Patel S, Ricucci D, Durak C, Tay F. Internal root resorption: a review. *J Endodon.* 2010;36(7):1107-21.
83. Trope M. Root resorption due to dental trauma. *Endodontic Topics.* 2002;1(1):79-100.
84. Mohammadi Z, Farhad A, Tabrizizadeh M. One-visit versus multiple-visit endodontic therapy-a review. *Int Dent J.* 2006;56(5):289-93.
85. Alaçam T, Üniversitesi G, Fakültesi D. *Endodonti: Gazi Üniversitesi Basın Yayın Yüksek Okulu Basımevi; 1990.*
86. Esberard RM, Carnes DL, Carlos E. Changes in pH at the dentin surface in roots obturated with calcium hydroxide pastes. *J Endodon.* 1996;22(8):402-5.
87. WU MK, Gee A, Wesselink P. Leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *Int Endod J.* 1994;27(6):304-8.
88. Veloso HH, do Santos RA, de Araujo TP, Leonardi DP, Baratto Filho F. Histological analysis of the biocompatibility of three different calcium hydroxide-based root canal sealers. *J Appl Oral Sci : revista FOB.* 2006;14(5):376-81.

89. Zmener O, Guglielmotti MB, Cabrini RL. Biocompatibility of two calcium hydroxide-based endodontic sealers: a quantitative study in the subcutaneous connective tissue of the rat. *J Endodon*. 1988;14(5):229-35.
90. Leonardo M, Silva L, Utrilla L, Assed S, Ether S. Calcium hydroxide root canal Sealers-Histopathologic evaluation of apical and peripaical repair after endodontic treatment. *J Endodon*. 1997;23(7):428-32.
91. Saha S, Samadi F, Jaiswal JN, Ghoshal U. Antimicrobial activity of different endodontic sealers: an in vitro evaluation. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2010;28(4):251-7.
92. Estrela C, Bammann L, Pimenta F, Pécora J. Control of microorganisms in vitro by calcium hydroxide pastes. *Int Endod J*. 2001;34(5):341-5.
93. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1984;58(5):589-99.
94. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endodon*. 1990;16(10):498-504.
95. Chong BS, Pitt Ford TR. The role of intracanal medication in root canal treatment. *Int Endod J*. 1992;25(2):97-106.
96. Rahimi S, Shahi S, Kimyai S, Khayyam L, Abdolrahimi M. Effect of calcium hydroxide dressing on microleakage of composite restorations in endodontically treated teeth subsequent to bleaching. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2010;15(2):e413-6.
97. Trope M, Debelian G. Microbial control: the first stage of root canal treatment. *Gen Dent*. 2009;57(6):580-8.
98. Sjogren U, Figdor D, Spangberg L, Sundqvist G. The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *Int Endod J*. 1991;24(3):119-25.
99. Mohammadi Z, Shalavi S. Is chlorhexidine an ideal vehicle for calcium hydroxide? A microbiologic review. *Iran Endod J*. 2012;7(3):115-22.
100. George S, Kishen A, Song KP. The role of environmental changes on monospecies biofilm formation on root canal wall by *Enterococcus faecalis*. *J Endodon*. 2005;31(12):867-72.

101. Waltimo TM, Orstavik D, Siren EK, Haapasalo MP. In vitro susceptibility of *Candida albicans* to four disinfectants and their combinations. *Int Endod J.* 1999;32(6):421-9.
102. Almyroudi A, Mackenzie D, McHugh S, Saunders WP. The effectiveness of various disinfectants used as endodontic intracanal medications: an in vitro study. *J Endodon.* 2002;28(3):163-7.
103. Schafer E, Bossmann K. Antimicrobial efficacy of chlorhexidine and two calcium hydroxide formulations against *Enterococcus faecalis*. *J Endodon.* 2005;31(1):53-6.
104. Siqueira JF, Jr., Lopes HP. Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *Int Endod J.* 1999;32(5):361-9.
105. Heithersay GS. Calcium Hydroxide in the Treatment of Pulpless Teeth with Associated Pathology. *Int Endod J.* 1975;8(2):74-93.
106. Freeman BA, Crapo JD. Biology of disease: free radicals and tissue injury. *Lab Invest; a journal of technical methods and pathology.* 1982;47(5):412-26.
107. Cotran RS, Kumar V, Collins T. Robbins's Pathological basis of diseases. Philadelphia, PA: WB Saunders. 1999.
108. Imlay JA, Linn S. DNA damage and oxygen radical toxicity. *Science (New York, NY).* 1988;240(4857):1302-9.
109. Kontakiotis E, Nakou M, Georgopoulou M. In vitro study of the indirect action of calcium hydroxide on the anaerobic flora of the root canal. *Int Endod J.* 1995;28(6):285-9.
110. Oguntebi BR. Dentine tubule infection and endodontic therapy implications. *Int Endod J.* 1994;27(4):218-22.
111. Georgopoulou M, Kontakiotis E, Nakou M. In vitro evaluation of the effectiveness of calcium hydroxide and paramonochlorophenol on anaerobic bacteria from the root canal. *Endod Dent Traumatol .* 1993;9(6):249-53.
112. Siqueira JF, Jr., de Uzeda M. Disinfection by calcium hydroxide pastes of dentinal tubules infected with two obligate and one facultative anaerobic bacteria. *J Endodon.* 1996;22(12):674-6.
113. Siqueira Jr JF, De Uzeda M, Fonseca MEF. A scanning electron microscopic evaluation of in vitro dentinal tubules penetration by selected anaerobic bacteria. *J Endodon.* 1996;22(6):308-10.



114. Nerwich A, Figdor D, Messer HH. pH changes in root dentin over a 4-week period following root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endodon.* 1993;19(6):302-6.
115. Padan E, Zilberstein D, Schuldiner S. pH homeostasis in bacteria. *Biochim Biophys Acta.* 1981;650(2-3):151-66.
116. Siren E, Haapasalo M, Ranta K, Salmi P, Kerosuo E. Microbiological findings and clinical treatment procedures in endodontic cases selected for microbiological investigation. *Int Endod J.* 1997;30(2):91-5.
117. Haapasalo M, Orstavik D. In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. *J Dent Res.* 1987;66(8):1375-9.
118. Orstavik D, Haapasalo M. Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endod Dent Traumatol.* 1990;6(4):142-9.
119. Wang JD, Hume WR. Diffusion of hydrogen ion and hydroxyl ion from various sources through dentine. *Int Endod J.* 1988;21(1):17-26.
120. Molander A, Reit C, Dahlen G, Kvist T. Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *Int Endod J.* 1998;31(1):1-7.
121. Cvek M, Hollender L, Nord CE. Treatment of non-vital permanent incisors with calcium hydroxide. VI. A clinical, microbiological and radiological evaluation of treatment in one sitting of teeth with mature or immature root. *Odontologisk Revy.* 1976;27(2):93-108.
122. Anthony DR, Gordon TM, del Rio CE. The effect of three vehicles on the pH of calcium hydroxide. *Oral Sur Oral Med Oral Pathol.* 1982;54(5):560-5.
123. Siqueira JF, de Uzeda M. Intracanal medicaments: evaluation of the antibacterial effects of chlorhexidine, metronidazole, and calcium hydroxide associated with three vehicles. *J Endodon.* 1997;23(3):167-9.
124. Siqueira JF, de Uzeda M. Influence of different vehicles on the antibacterial effects of calcium hydroxide. *J Endodon.* 1998;24(10):663-5.
125. Westphal O. Bacterial endotoxins. The second Carl Prausnitz Memorial Lecture. *International archives of allergy and applied immunology.* 1975;49(1-2):1-43.
126. Leonardo MR, Silva RA, Assed S, Nelson-Filho P. Importance of bacterial endotoxin (LPS) in endodontics. *J Appl Oral Sci : revista FOB.* 2004;12(2):93-8.
127. Nelson-Filho P, Leonardo MR, Silva LA, Assed S. Radiographic evaluation of the effect of endotoxin (LPS) plus calcium hydroxide on apical and periapical tissues of dogs. *J Endodon.* 2002;28(10):694-6

128. Katebzadeh N, Hupp J, Trope M. Histological periapical repair after obturation of infected root canals in dogs. *J Endodon.* 1999;25(5):364-8.
129. Leonardo MR, da Silva LA, Leonardo Rde T, Utrilla LS, Assed S. Histological evaluation of therapy using a calcium hydroxide dressing for teeth with incompletely formed apices and periapical lesions. *J Endodon.* 1993;19(7):348-52.
130. Safavi KE, Nichols FC. Effect of calcium hydroxide on bacterial lipopolysaccharide. *J Endodon.* 1993;19(2):76-8.
131. Siqueira JF, Jr., Sen BH. Fungi in endodontic infections. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2004;97(5):632-41.
132. Waltimo TM, Siren EK, Orstavik D, Haapasalo MP. Susceptibility of oral *Candida* species to calcium hydroxide in vitro. *Int Endod J.* 1999;32(2):94-8.
133. Ferguson JW, Hatton JF, Gillespie MJ. Effectiveness of intracanal irrigants and medications against the yeast *Candida albicans*. *J Endodon.* 2002;28(2):68-71.
134. Sen BH, Piskin B, Demirci T. Observation of bacteria and fungi in infected root canals and dentinal tubules by SEM. *Endod Dent Traumatol .* 1995;11(1):6-9.
135. Nair PN, 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 Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005;99(2):231-52.
136. Distel JW, Hatton JF, Gillespie MJ. Biofilm formation in medicated root canals. *J Endodon.* 2002;28(10):689-93.
137. Chai WL, Hamimah H, Cheng SC, Sallam AA, Abdullah M. Susceptibility of *Enterococcus faecalis* biofilm to antibiotics and calcium hydroxide. *J Oral Sci.* 2007;49(2):161-6.
138. Mohammadi Z, Dummer PMH. Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *Int Endod J.* 2011;44(8):697-730.
139. Bowden GH, Hamilton IR. Survival of oral bacteria. *Critical reviews in oral biology and medicine : An official publication of the American Association of Oral Biologists.* 1998;9(1):54-85.
140. Haapasalo HK, Siren EK, Waltimo TM, Orstavik D, Haapasalo MP. Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study. *Int Endod J.* 2000;33(2):126-31.

141. Portenier I, Haapasalo H, Rye A, Waltimo T, Orstavik D, Haapasalo M. Inactivation of root canal medicaments by dentine, hydroxylapatite and bovine serum albumin. *Int Endod J.* 2001;34(3):184-8.
142. Cvek M. Prognosis of luxated non-vital maxillary incisors treated with calcium hydroxide and filled with gutta-percha. A retrospective clinical study. *Endod Dent Traumatol .* 1992;8(2):45-55.
143. 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):134-7.
144. Andreasen FM, Andreasen JO, Bayer T. Prognosis of root-fractured permanent incisors--prediction of healing modalities. *Endod Dent Traumatol .* 1989;5(1):11-22.
145. 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. *J Dent.* 2008;36(11):959-64.
146. Fava LR, Saunders WP. Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications. *Int Endod J.* 1999;32(4):257-82.
147. Estrela C, Pesce HF. Chemical analysis of the liberation of calcium and hydroxyl ions from calcium hydroxide pastes in connective tissue in the dog--Part I. *Braz Dent J.* 1996;7(1):41-6.
148. Kawakami T, Nakamura C, Hasegawa H, Eda S. Fate of <sup>45</sup>Ca-labeled calcium hydroxide in a root canal filling paste embedded in rat subcutaneous tissues. *J Endodon.* 1987;13(5):220-3.
149. Kleier DJ, Averbach RE, Kawulok TC. Efficient calcium hydroxide placement within the root canal. *J Prosthet Dent.* 1985;53(4):509-10.
150. Walton RE, Torabinejad M. *Principles and practice of endodontics: Saunders;* 1996.
151. Steiner JC, Dow PR, Cathey GM. Inducing root end closure of nonvital permanent teeth. *J Dent Child .* 1968;35(1):47-54.
152. Salamat K, Rezai RF. Nonsurgical treatment of extraoral lesions caused by necrotic nonvital tooth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1986;61(6):618-23.
153. Caliskan MK, Sen BH. Endodontic treatment of teeth with apical periodontitis using calcium hydroxide: a long-term study. *Endod Dent Traumatol .* 1996;12(5):215-21.

154. Rivera EM, Williams K. Placement of calcium hydroxide in simulated canals: comparison of glycerin versus water. *J Endodon.* 1994;20(9):445-8.
155. Siqueira JF, Jr., de Uzeda M. Intracanal medicaments: Evaluation of the antibacterial effects of chlorhexidine, metronidazole, and calcium hydroxide associated with three vehicles. *J Endodon.* 1997;23(3):167-9.
156. Caliskan MK, Sen BH, Ozinel MA. Treatment of extraoral sinus tracts from traumatized teeth with apical periodontitis. *Endod Dent Traumatol .* 1995;11(3):115-20.
157. Tenca JI, Tsamtsouris A. Continued root end development: apexogenesis and apexification. *J Pedod.* 1978;2(2):144-57.
158. Wall GL, Dowson J, Shipman C, Jr. Antibacterial efficacy and cytotoxicity of three endodontic drugs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972;33(2):230-41.
159. Shokraneh A, Farhad AR, Farhadi N, Saatchi M, Hasheminia SM. Antibacterial effect of triantibiotic mixture versus calcium hydroxide in combination with active agents against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Dental Materials Journal.* 2014;33(6):733-8.
160. Pissiotis E, Spangberg LS. Biological evaluation of collagen gels containing calcium hydroxide and hydroxyapatite. *J Endodon.* 1990;16(10):468-73.
161. Webber R. Traumatic injuries and the expanded endodontic role of calcium hydroxide. *Techniques In Clinical Endodontics.* 1983:210-01.
162. Alacam T, Gorgul G, Omurlu H. Evaluation of diagnostic radiopaque contrast materials used with calcium hydroxide. *J Endodon.* 1990;16(8):365-8.
163. Tavano O, Damante J, Estevam E, Alvares L. Sialografla das glandulas parotidas e submandibulares. *Pract Odontol.* 1978;1.
164. Smith GN, Woods S. Organic iodine: a substitute for BaSO<sub>4</sub> in apexification procedures. *J Endodon.* 1983;9(4):153-5.
165. Lawson BF, Mitchell DF. Pharmacologic Treatment Of Painful Pulpitis. A Preliminary, Controlled, Double-Blind Study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1964;17:47-61.
166. Bhaskar SN, Cutright DE, Van Osdel V. Tissue response to cortisone containing and cortisone free calcium hydroxide. *ASDC J Dent Child .* 1969;36(3):193-8.

167. Abbott PV, Hume WR, Heithersay GS. Effects of combining Ledermix® and calcium hydroxide pastes on the diffusion of corticosteroid and tetracycline through human tooth roots in vitro. *Dent Traumatol.* 1989;5(4):188-92.
168. Schroeder A. *Endodontics-science and practice.* Chicago: Quintessence. 1981:138-96.
169. Heithersay GS. Clinical endodontic and surgical management of tooth and associated bone resorption. *Int Endod J.* 1985;18(2):72-92.
170. Santini AH. Intraoral comparison of calcium hydroxide (Calnex) alone and in combination with Ledermix in first permanent mandibular molars using two direct inspection criteria. *J Dent.* 1985;13(1):52-9.
171. Quillin B, Dabirsiaghi C, Krywolap G, Dumsha T. Poster clinic# 15-Antimicrobial effect of Ca (OH) 2 supplemented with metronidazole and chlorhexidine as intracanal medicaments. *J Endodon.* 1992;18(4):187.
172. Takeuti ML, Lage Marques JLdS, Antoniazzi JH. Penetração dentinária da associação hidróxido de cálcio, ciprofloxacina e metronidazol variando o veículo. *RPG Rev Pos-Grad.* 1997;4(2):146-52.
173. 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):224-7.
174. Contardo L, De Luca M, Bevilacqua L, Breschi L, Di Lenarda R. Influence of calcium hydroxide debris on the quality of endodontic apical seal. *Minerva Stomatologica.* 2007;56(10):509-17.
175. Margelos J, Eliades G, Verdellis C, Palaghias G. Interaction of calcium hydroxide with zinc oxide-eugenol type sealers: A potential clinical problem. *J Endodon.* 1997;23(1):43-8.
176. Calt S, Serper A. Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endodon.* 1999;25(6):431-3.
177. Lambrianidis T, Margelos J, Beltes P. Removal efficiency of calcium hydroxide dressing from the root canal. *J Endodon.* 1999;25(2):85-8.
178. 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. *J Endodon.* 2006;32(11):1097-101.

179. Kenee DM, Allemang JD, Johnson JD, Hellstein J, Nichol BK. A quantitative assessment of efficacy of various calcium hydroxide removal techniques. *J Endodon.* 2006;32(6):563-5.
180. Yucel AC, Gurel M, Guler E, Karabucak B. Comparison of final irrigation techniques in removal of calcium hydroxide. *Aust End J.* 2013;39(3):116-21.
181. Porkaew P, Retief DH, Barfield RD, Lacefield WR, Soong SJ. Effects of calcium hydroxide paste as an intracanal medicament on apical seal. *J Endodon.* 1990;16(8):369-74.
182. Sen BH, Wesselink PR, Turkun M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J.* 1995;28(3):141-8.
183. Hsieh Y, Gau C, Kung Wu S, Shen E, Hsu P, Fu E. Dynamic recording of irrigating fluid distribution in root canals using thermal image analysis. *Int Endod J.* 2007;40(1):11-7.
184. 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(5):614-7.
185. Ahmad M, Roy RA, Kamarudin AG. Observations of acoustic streaming fields around an oscillating ultrasonic file. *Endod Dent Traumatol .* 1992;8(5):189-94.
186. Lumley PJ, Walmsley AD, Laird WR. Streaming patterns produced around endosonic files. *Int Endod J.* 1991;24(6):290-7.
187. Sjogren U, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of ultrasonic root canal instrumentation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1987;63(3):366-70.
188. Ciucchi B, Khettabi M, Holz J. The effectiveness of different endodontic irrigation procedures on the removal of the smear layer: A scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 1989;22(1):21-8.
189. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endodon.* 1980;6(9):740-3.
190. van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: A review of the literature. *Int Endod J.* 2007;40(6):415-26.

191. Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J.* 2004;37(10):672-8.
192. Metzler RS, Montgomery S. Effectiveness of ultrasonics and calcium hydroxide for the debridement of human mandibular molars. *J Endodon.* 1989;15(8):373-8.
193. Gutarts R, Nusstein J, Reader A, Beck M. In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endodon.* 2005;31(3):166-70.
194. Passarinho-Neto JG, Marchesan MA, Ferreira RB, Silva RG, Silva-Sousa YT, Sousa-Neto MD. In vitro evaluation of endodontic debris removal as obtained by rotary instrumentation coupled with ultrasonic irrigation. *Aust Endod J.* 2006;32(3):123-8.
195. 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(1):59-65.
196. Keir DM, Senia ES, Montgomery S. Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *J Endodon.* 1990;16(7):323-7.
197. Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U, Saad AY. Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: A scanning electron microscopic study. *J Endodon.* 2006;32(12):1181-4.
198. Garip Y, Sazak H, Gunday M, Hatipoglu S. Evaluation of smear layer removal after use of a canal brush: an SEM study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010;110(2):e62-6.
199. Braun A, Kappes D, Krause F, Jepsen S. Efficiency of a novel rinsing device for the removal of pulp tissue in vitro. *Int Endod J.* 2005;38:1-28.
200. McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng YL. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. *Int Endod J.* 2008;41(7):602-8.
201. Rodig T, Hirschleb M, Zapf A, Hulsmann M. Comparison of ultrasonic irrigation and RinsEndo for the removal of calcium hydroxide and Ledermix paste from root canals. *Int Endod J.* 2011;44(12):1155-61.
202. Rodig T, Sedghi M, Konietschke F, Lange K, Ziebolz D, Hulsmann M. Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo and passive ultrasonic irrigation in removing debris

- from irregularities in root canals with different apical sizes. *Int Endod J.* 2010;43(7):581-9.
203. Hauser V, Braun A, Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). *Int Endod J.* 2007;40(8):644-52.
204. Coluzzi DJ. Fundamentals of dental lasers: science and instruments. *Dent Clin North Am.* 2004;48(4):751-70
205. Magid KS, Strauss RA. Laser use for esthetic soft tissue modification. *Dent Clin North Am.* 2007;51(2):525-45, xi.
206. White JM, Goodis HE, Setcos JC, Eakle S, Hulscher BE, Rose CL. Effects of pulsed Nd:YAG laser energy on human teeth: A three-year follow-up study. *J Am Dent.* 1993;124(7):45-51.
207. Neill ME, Mellonig JT. Clinical efficacy of the Nd:YAG laser for combination periodontitis therapy. *Practical Periodontics and Aesthetic Dentistry : PPAD.* 1997;9(6 Suppl):1-5.
208. Hendler BH, Gateno J, Moorar P, Sherk HH. Holmium:YAG laser arthroscopy of the temporomandibular joint. *J Oral Maxillofac Surg.* 1992;50(9):931-4.
209. Kautzky M, Susani M, Steurer M, Schenk P. Soft-tissue effects of the holmium:YAG laser: An ultrastructural study on oral mucosa. *Lasers Surg Med.* 1997;20(3):265-71.
210. Ishikawa I, Aoki A, Takasaki AA. Potential applications of Erbium:YAG laser in periodontics. *J Periodontal Res.* 2004;39(4):275-85.
211. Sasaki KM, Aoki A, Ichinose S, Ishikawa I. Ultrastructural analysis of bone tissue irradiated by Er:YAG Laser. *Lasers Surg Med.* 2002;31(5):322-32.
212. Hibst R, Keller U. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances: I. Measurement of the ablation rate. *Lasers Surg Med.* 1989;9(4):338-44.
213. Aoki A, Ishikawa I, Yamada T, Otsuki M, Watanabe H, Tagami J, et al. Comparison between Er:YAG laser and conventional technique for root caries treatment in vitro. *J Dent Res.* 1998;77(6):1404-14.
214. Lasers in periodontics. *J Periodontol.* 2002;73(10):1231-9.
215. Frame JW. Carbon dioxide laser surgery for benign oral lesions. *Br Dent J.* 1985;158(4):125-8.



216. Israel M. Use of the CO<sub>2</sub> laser in soft tissue and periodontal surgery. *Practical Periodontics and Aesthetic Dentistry : PPAD*. 1994;6(6):57-64; quiz
217. Pecaro BC, Garehime WJ. The CO<sub>2</sub> laser in oral and maxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg. : Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*. 1983;41(11):725-8.
218. Pick RM, Colvard MD. Current status of lasers in soft tissue dental surgery. *Journal of Periodontology*. 1993;64(7):589-602.
219. Pick RM, Pecaro BC, Silberman CJ. The laser gingivectomy. The use of the CO<sub>2</sub> laser for the removal of phenytoin hyperplasia. *J Periodontol*. 1985;56(8):492-6. Epub 1985/08/01. doi: 10.1902/jop.1985.56.8.492. PubMed PMID: 3938990.
220. Pogrel MA. The carbon dioxide laser in soft tissue preprosthetic surgery. *The J Prosthet Dent*. 1989;61(2):203-8.
221. Convissar RA, Gharemani EH. Laser treatment as an adjunct to removable prosthetic care. *Gen Dent*. 1995;43(4):336-41.
222. Fisher SE, Frame JW, Browne RM, Tranter RM. A comparative histological study of wound healing following CO<sub>2</sub> laser and conventional surgical excision of canine buccal mucosa. *Arch Oral Biol*. 1983;28(4):287-91.
223. Shariati S, Pogrel MA, Marshall GW, Jr., White JM. Structural changes in dentin induced by high energy, continuous wave carbon dioxide laser. *Lasers Surg Med*. 1993;13(5):543-7.
224. Pogrel MA, Muff DF, Marshall GW. Structural changes in dental enamel induced by high energy continuous wave carbon dioxide laser. *Lasers Surg Med*. 1993;13(1):89-96.
225. Frentzen M, Koort HJ. Lasers in dentistry: new possibilities with advancing laser technology? *Int Dent J*. 1990;40(6):323-32.
226. Frentzen M, Koort HJ, Thiensiri I. Excimer lasers in dentistry: future possibilities with advanced technology. *Quintessence International (Berlin, Germany : 1985)*. 1992;23(2):117-33.
227. Coluzzi DJ. An overview of laser wavelengths used in dentistry. *Dent Clin North Am*. 2000;44(4):753-65.
228. Powell GL, Morton TH, Whisenant BK. Argon laser oral safety parameters for teeth. *Lasers Surg Med*. 1993;13(5):548-52.

229. Convissar RA. The biologic rationale for the use of lasers in dentistry. *Dent Clin North Am.* 2004;48(4):771-94, v.
230. Dederich DN. Laser/tissue interaction: What happens to laser light when it strikes tissue? *J Am Dent Assoc* (1939). 1993;124(2):57-61.
231. Dederich DN, Zakariasen KL, Tulip J. Scanning electron microscopic analysis of canal wall dentin following neodymium-yttrium-aluminum-garnet laser irradiation. *J Endodon.* 1984;10(9):428-31.
232. Wigdor HA, Walsh JT, Jr., Featherstone JD, Visuri SR, Fried D, Waldvogel JL. Lasers in dentistry. *Lasers Surg Med.* 1995;16(2):103-33.
233. Andersen K. Safe use of lasers in the operating room-what perioperative nurses should know. *AORN Journal.* 2004;79(1):171-88.
234. Parker S. Laser regulation and safety in general dental practice. *Br Dent J.* 2007;202(9):523-32.
235. Fader DJ, Ratner D. Principles of CO<sub>2</sub>/erbium laser safety. *Dermatol Surg.* 2000;26(3):235-9.
236. Barat K. Laser safety management: CRC Press; 2006.
237. Ozer T, Basaran G, Berk N. Laser etching of enamel for orthodontic bonding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;134(2):193-7.
238. Kotsovilis S, Karoussis IK, Trianti M, Fourmoussis I. Therapy of peri-implantitis: A systematic review. *J Clin Periodontol.* 2008;35(7):621-9.
239. Schwarz F, Olivier W, Herten M, Sager M, Chaker A, Becker J. Influence of implant bed preparation using an Er:YAG laser on the osseointegration of titanium implants: A histomorphometrical study in dogs. *J Oral Rehabil.* 2007;34(4):273-81.
240. Kimura Y, Wilder-Smith P, Matsumoto K. Lasers in endodontics: A review. *Int Endod J.* 2000;33(3):173-85.
241. Karayilmaz H, Kirzioglu Z. Comparison of the reliability of laser Doppler flowmetry, pulse oximetry and electric pulp tester in assessing the pulp vitality of human teeth. *J Oral Rehabil.* 2011;38(5):340-7.
242. Barnett NJ, Dougherty G, Pettinger SJ. Comparative study of two laser Doppler blood flowmeters. *J Med Eng Technol.* 1990;14(6):243-9.
243. Ikawa M, Komatsu H, Ikawa K, Mayanagi H, Shimauchi H. Age-related changes in the human pulpal blood flow measured by laser Doppler flowmetry. *Dent Traumatol.* 2003;19(1):36-40.

244. Radhakrishnan S, Munshi AK, Hegde AM. Pulse oximetry: A diagnostic instrument in pulpal vitality testing. *J Clin Pediatr Dent.* 2002;26(2):141-5.
245. Holland GR, Narhi MN, Addy M, Gangarosa L, Orchardson R. Guidelines for the design and conduct of clinical trials on dentine hypersensitivity. *J Clin Periodontol.* 1997;24(11):808-13.
246. Rochkind S, Nissan M, Barr-Nea L, Razon N, Schwartz M, Bartal A. Response of peripheral nerve to He-Ne laser: Experimental studies. *Lasers Surg Med.* 1987;7(5):441-3.
247. Wilder-Smith P. The soft laser: therapeutic tool or popular placebo? *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology.* 1988;66(6):654-8.
248. Wakabayashi H, Hamba M, Matsumoto K, Tachibana H. Effect of irradiation by semiconductor laser on responses evoked in trigeminal caudal neurons by tooth pulp stimulation. *Lasers Surg Med.* 1993;13(6):605-10.
249. Bonin P, Boivin R, Poulard J. Dentinal permeability of the dog canine after exposure of a cervical cavity to the beam of a CO<sub>2</sub> laser. *J Endodon.* 1991;17(3):116-8.
250. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Sperr W. Advantages of a pulsed CO<sub>2</sub> laser in direct pulp capping: A long-term in vivo study. *Lasers Surg Med.* 1998;22(5):288-93.
251. Odabas ME, Bodur H, Baris E, Demir C. Clinical, radiographic, and histopathologic evaluation of Nd:YAG laser pulpotomy on human primary teeth. *J Endodon.* 2007;33(4):415-21.
252. Toomarian L, Fekrazad R, Sharifi D, Baghaei M, Rahimi H, Eslami B. Histopathological evaluation of pulpotomy with Er,Cr:YSGG laser vs formocresol. *Lasers in Medical Science.* 2008;23(4):443-50.
253. Melcer J, Chaumette MT, Melcer F. Dental pulp exposed to the CO<sub>2</sub> laser beam. *Lasers Surg Med.* 1987;7(4):347-52.
254. Dang J, Wilder-Smith P, Peavy GM. Clinical preconditions and treatment modality: Effects on pulp surgery outcome. *Lasers Surg Med.* 1998;22(1):25-9.
255. Wilder-Smith P, Peavy GM, Nielsen D, Arrastia-Jitosho AM. CO<sub>2</sub> laser treatment of traumatic pulpal exposures in dogs. *Lasers Surg Med.* 1997;21(5):432-7.
256. Mohammadi Z. Laser applications in endodontics: An update review. *Int Dent J.* 2009;59(1):35-46.

257. Levy G. Cleaning and shaping the root canal with a Nd:YAG laser beam: A comparative study. *J Endodon.* 1992;18(3):123-7.
258. Matsumoto K. Lasers in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2000;44(4):889-906, viii.
259. Hardee MW, Miserendino LJ, Kos W, Walia H. Evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd:YAG laser irradiation. *J Endodon.* 1994;20(8):377-80.
260. McKinley IB, Jr., Ludlow MO. Hazards of laser smoke during endodontic therapy. *J Endodon.* 1994;20(11):558-9.
261. Gutknecht N, Franzen R, Schippers M, Lampert F. Bactericidal effect of a 980-nm diode laser in the root canal wall dentin of bovine teeth. *J. Clin. Laser Med. Surg.* 2004;22(1):9-13.
262. Fegan SE, Steiman HR. Comparative evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd:YAG laser irradiation: An in vitro study. *J Endodon.* 1995;21(8):415-7.
263. De Moor RJ, Meire M. High-Power Lasers in Endodontics-Fiber Placement for Laser-Enhanced Endodontics: In the Canal or at the Orifice?
264. Pirnat S, Lukac M, Ihan A. Study of the direct bactericidal effect of Nd: YAG and diode laser parameters used in endodontics on pigmented and nonpigmented bacteria. *Lasers in Medical Science.* 2011;26(6):755-61.
265. Stabholz A, Sahar-Helft S, Moshonov J. Lasers in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2004;48(4):809-32, vi.
266. de Paula Eduardo C, Gouw-Soares S. The Use of Lasers for Endodontic Applications in Dentistry. *Medical Laser Application.* 2001;16(3):231-43.
267. Abad Gallegos M, Arnabat Domínguez J, España Tost AJ, Berini Aytés L, Gay Escoda C. In vitro evaluation of the temperature increment at the external root surface after Er, Cr: YSGG laser irradiation of the root canal. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal,* 2009, vol 14, num 12, p 658-662. 2009.
268. Arnabat J, Escribano C, Fenosa A, Vinuesa T, Gay-Escoda C, Berini L, et al. Bactericidal activity of erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser in root canals. *Lasers Med Sci.* 2010;25(6):805-10.
269. De Moor RJ, Meire M, Goharkhay K, Moritz A, Vanobbergen J. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. *J Endodon.* 2010;36(9):1580-3.

270. Silva AC, Guglielmi C, Meneguzzo DT, Aranha AC, Bombana AC, de Paula Eduardo C. Analysis of permeability and morphology of root canal dentin after Er,Cr:YSGG laser irradiation. *Photomed Laser Surg.* 2010;28(1):103-8.
271. 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. *Int Endod J.* 2007;40(2):112-9.
272. Wang QQ, Zhang CF, Yin XZ. Evaluation of the bactericidal effect of Er,Cr:YSGG, and Nd:YAG lasers in experimentally infected root canals. *J Endodon.* 2007;33(7):830-2.
273. Schoop U, Barylyak A, Goharkhay K, Beer F, Wernisch J, Georgopoulos A, et al. The impact of an erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial-firing tips on endodontic treatment. *Lasers Med Sci.* 2009;24(1):59-65.
274. Gordon W, Atabakhsh VA, Meza F, Doms A, Nissan R, RizoIU I, et al. The antimicrobial efficacy of the erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial emitting tips on root canal dentin walls infected with *Enterococcus faecalis*. *J Am Dent Assoc (1939).* 2007;138(7):992-1002.
275. Karlovic Z, Pezelj-Ribaric S, Miletic I, Jukic S, Grgurevic J, Anic I. Erbium:YAG laser versus ultrasonic in preparation of root-end cavities. *J Endodon.* 2005;31(11):821-3.
276. Oliveira RG, Gouw-Soares S, Baldochi SL, Eduardo CP. Scanning electron microscopy (SEM) and optical microscopy: Effects of Er:YAG and Nd:YAG lasers on apical seals after apicoectomy and retrofill. *Photomed Laser Surg.* 2004;22(6):533-6.
277. Friedman S, Rotstein I, Mahamid A. In vivo efficacy of various retrofills and of CO<sub>2</sub> laser in apical surgery. *Endod Dent Traumatol .* 1991;7(1):19-25.
278. Stabholz A, Khayat A, Weeks DA, Neev J, Torabinejad M. Scanning electron microscopic study of the apical dentine surfaces lased with ND:YAG laser following apicectomy and retrofill. *Int Endod J.* 1992;25(6):288-91.
279. Wong WS, Rosenberg PA, Boylan RJ, Schulman A. A comparison of the apical seals achieved using retrograde amalgam fillings and the Nd:YAG laser. *J Endodon.* 1994;20(12):595-7.

280. Maden M, Gorgul G, Tinaz AC. Evaluation of apical leakage of root canals obturated with Nd: YAG laser-softened gutta-percha, System-B, and lateral condensation techniques. *J Contemp Dent Pract.* 2002;3(1):16-26.
281. Anic I, Matsumoto K. Comparison of the sealing ability of laser-softened, laterally condensed and low-temperature thermoplasticized gutta-percha. *J Endodon.* 1995;21(9):464-9.
282. Keles A, Arslan H, Kamalak A, Akcay M, Sousa-Neto MD, Versiani MA. Removal of filling materials from oval-shaped canals using laser irradiation: a micro-computed tomographic study. *J Endodon.* 2015;41(2):219-24.
283. Tachinami H, Katsuumi I. Removal of root canal filling materials using Er:YAG laser irradiation. *Dental Materials Journal.* 2010;29(3):246-52.
284. Viducic D, Jukic S, Karlovic Z, Bozic Z, Miletic I, Anic I. Removal of gutta-percha from root canals using an Nd:YAG laser. *Int Endod J.* 2003;36(10):670-3.
285. Sun G. The role of lasers in cosmetic dentistry. *Dent Clin North Am.* 2000;44(4):831-50.
286. Luk K, Tam L, Hubert M. Effect of light energy on peroxide tooth bleaching. *J Am Dent Assoc (1939).* 2004;135(2):194-201; quiz 28-9.
287. Eldeniz AU, Usumez A, Usumez S, Ozturk N. Pulpal temperature rise during light-activated bleaching. *J Biomed Mat Research Part B, Applied biomaterials.* 2005;72(2):254-9.
288. Yokoyama K, Kimura Y, Matsumoto K, Fujishima A, Miyazaki T. Preventive effect of tooth fracture by pulsed Nd:YAG laser irradiation with diamine silver fluoride solution. *J Clin Laser Med Surg.* 2001;19(6):315-8.
289. Miserendino LJ, Levy GC, RizoIU IM. Effects of Nd:YAG laser on the permeability of root canal wall dentin. *J Endodon.* 1995;21(2):83-7.
290. Saunders WP, Whitters CJ, Strang R, Moseley H, Payne AP, McGadey J. The effect of an Nd-YAG pulsed laser on the cleaning of the root canal and the formation of a fused apical plug. *Int Endod J.* 1995;28(4):213-20.
291. Koba K, Kimura Y, Matsumoto K, Takeuchi T, Ikarugi T, Shimizu T, et al. Pulsed Nd:YAG laser application to one-visit treatment of infected root canals in dogs: A histopathological study. *J Clin Laser Med Surgery.* 1998;16(4):217-21.

292. Harashima T, Takeda FH, Kimura Y, Matsumoto K. Effect of Nd:YAG laser irradiation for removal of intracanal debris and smear layer in extracted human teeth. *J Clin Laser Med Surg.* 1997;15(3):131-5.
293. Koba K, Kimura Y, Matsumoto K, Takeuchi T, Ikarugi T, Shimizu T. A histopathological study of the morphological changes at the apical seat and in the periapical region after irradiation with a pulsed Nd:YAG laser. *Int Endod J.* 1998;31(6):415-20.
294. Moshonov J, Sion A, Kasirer J, Rotstein I, Stabholz A. Efficacy of argon laser irradiation in removing intracanal debris. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995;79(2):221-5.
295. Harashima T, Takeda FH, Zhang C, Kimura Y, Matsumoto K. Effect of argon laser irradiation on instrumented root canal walls. *Endod Dent Traumatol .* 1998;14(1):26-30.
296. Matsuoka E, Kimura Y, Matsumoto K. Studies on the removal of debris near the apical seats by Er:YAG laser and assessment with a fiberscope. *J Clin Laser Med Surg.* 1998;16(5):255-61.
297. Takeda FH, Harashima T, Eto JN, Kimura Y, Matsumoto K. Effect of Er:YAG laser treatment on the root canal walls of human teeth: An SEM study. *Endod Dent Traumatol .* 1998;14(6):270-3.
- 298 Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J.* 1999;32(1):32-9.
299. Tewfik HM, Pashley DH, Horner JA, Sharawy MM. Structural and functional changes in root dentin following exposure to KTP/532 laser. *J Endodon.* 1993;19(10):492-7.
300. Machida T, Wilder-Smith P, Arrastia AM, Liaw LH, Berns MW. Root canal preparation using the second harmonic KTP:YAG laser: A thermographic and scanning electron microscopic study. *J Endodon.* 1995;21(2):88-91.
301. Stabholz A, Neev J, Liaw LH, Stabholz A, Khayat A, Torabinejad M. Sealing of human dentinal tubules by XeCl 308-nm excimer laser. *J Endodon.* 1993;19(6):267-71.

302. Stabholz A, Rotstein L, Neev J, Moshonov J, Stabholz A. Efficacy of XeCl 308-nm excimer laser in reducing dye penetration through coronal dentinal tubules. *J Endodon.* 1995;21(5):266-8.
303. Dankner E, Neev J, Stabholz A, Rotstein I. Effect of XeCl-308nm excimer laser on the mineral content of human dentin. *Endod Dent Traumatol .* 1997;13(5):234-7.
304. Eversole LR, RizoIU IM. Preliminary investigations on the utility of an erbium, chromium YSGG laser. *Journal of the California Dental Association.* 1995;23(12):41-7.
305. van As G. Erbium lasers in dentistry. *Dent Clin North Am.* 2004;48(4):1017-59, viii.
306. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. Comparative study about the removal of smear layer by three types of laser devices. *J Clin Laser Med Surg.* 1998;16(2):117-22.
307. Ebihara A, Majaron B, Liaw LH, Krasieva TB, Wilder-Smith P. Er:YAG laser modification of root canal dentine: influence of pulse duration, repetitive irradiation and water spray. *Lasers Med Sci.* 2002;17(3):198-207.
308. 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 Endodon.* 1998;24(8):548-51.
309. Mehl A, Folwaczny M, Haffner C, Hickel R. Bactericidal effects of 2.94 microns Er:YAG-laser radiation in dental root canals. *J Endodon.* 1999;25(7):490-3.
310. Hossain M, Nakamura Y, Yamada Y, Kimura Y, Matsumoto N, Matsumoto K. Effects of Er,Cr:YSGG laser irradiation in human enamel and dentin: ablation and morphological studies. *J Clin Laser Med Surg.* 1999;17(4):155-9.
311. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Jakolitsch S, Kluger W, Wernisch J, et al. The bactericidal effect of Nd: YAG, Ho: YAG, and Er: YAG laser irradiation in the root canal: an in vitro comparison. *J Clin Laser Med Surg.* 1999;17(4):161-4.
312. Matsumoto H, Yoshimine Y, Akamine A. Visualization of irrigant flow and cavitation induced by Er: YAG laser within a root canal model. *J Endodon.* 2011;37(6):839-43.
313. Blanken J, De Moor RJG, 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):514-9.



314. Deleu E, Meire MA, De Moor RJ. Efficacy of laser-based irrigant activation methods in removing debris from simulated root canal irregularities. *Lasers Med Sci.* 2013;1-5.
315. De Groot S, Verhaagen B, Versluis M, Wu MK, Wesselink P, Van Der Sluis L. Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J.* 2009;42(12):1077-83.
316. George R, Walsh LJ. Apical extrusion of root canal irrigants when using Er: YAG and Er, Cr: YSGG lasers with optical fibers: An in vitro dye study. *J Endodon.* 2008;34(6):706-8.
317. Cozean C, Arcoria CJ, Pelagalli J, Powell GL. Dentistry for the 21st century? Erbium:YAG laser for teeth. *J Am Dent Assoc (1939).* 1997;128(8):1080-7.
318. Schoop U, Moritz A, Kluger W, Patruta S, Goharkhay K, Sperr W, et al. The Er:YAG laser in endodontics: Results of an in vitro study. *Lasers Surg Med.* 2002;30(5):360-4.
319. Schwarz F, Putz N, Georg T, Reich E. Effect of an Er:YAG laser on periodontally involved root surfaces: An in vivo and in vitro SEM comparison. *Lasers Surg Med.* 2001;29(4):328-35.
320. Schwarz F, Sculean A, Georg T, Reich E. Periodontal treatment with an Er: YAG laser compared to scaling and root planing. A controlled clinical study. *J Periodontol.* 2001;72(3):361-7.
321. Stabholz A, Zeltser R, Sela M, Peretz B, Moshonov J, Ziskind D, et al. The use of lasers in dentistry: Principles of operation and clinical applications. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ : 1995).* 2003;24(12):935-48; quiz 49.
322. Peters OA, Bardsley S, Fong J, Pandher G, DiVito E. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *J Endodon.* 2011;37(7):1008-12.
323. Gutknecht N, Apel C, Schafer C, Lampert F. Microleakage of composite fillings in Er,Cr:YSGG laser-prepared class II cavities. *Lasers Surg Med.* 2001;28(4):371-4.
324. Eversole LR, RizoIU I, Kimmel AI. Pulpal response to cavity preparation by an erbium, chromium:YSGG laser-powered hydrokinetic system. *J Am Dent Assoc (1939).* 1997;128(8):1099-106.

325. Rizioiu I, Kohanghadosh F, Kimmel AI, Eversole LR. Pulpal thermal responses to an erbium,chromium: YSGG pulsed laser hydrokinetic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998;86(2):220-3.
326. Peeters HH, Mooduto L. Radiographic examination of apical extrusion of root canal irrigants during cavitation induced by Er, Cr: YSGG laser irradiation: An in vivo study. *Clin Oral Invest.* 2013;17(9):2105-12.
327. Klinke T, Klimm W, Gutknecht N. Antibacterial effects of Nd:YAG laser irradiation within root canal dentin. *J Clin Laser Med Surg* 1997;15(1):29-31.
328. Brugnera A, Jr., Zanin F, Barbin EL, Spano JC, Santana R, Pecora JD. Effects of Er:YAG and Nd:YAG laser irradiation on radicular dentine permeability using different irrigating solutions. *Lasers Surg Med.* 2003;33(4):256-9.
329. Folwaczny M, Mehl A, Jordan C, Hickel R. Antibacterial effects of pulsed Nd:YAG laser radiation at different energy settings in root canals. *J Endodon.* 2002;28(1):24-9.
330. Park DS, Lee HJ, Yoo HM, Oh TS. Effect of Nd:YAG laser irradiation on the apical leakage of obturated root canals: An electrochemical study. *Int Endod J.* 2001;34(4):318-21.
331. Moriyama EH, Zangaro RA, Villaverde AB, Lobo PD, Munin E, Watanabe IS, et al. Dentin evaluation after Nd:YAG laser irradiation using short and long pulses. *J Clin Laser Med Surg.* 2004;22(1):43-50.
332. Schoop U, Kluger W, Moritz A, Nedjelic N, Georgopoulos A, Sperr W. Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. *Lasers Surg Med.* 2004;35(2):111-6.
333. Schoop U, Kluger W, Dervisbegovic S, Goharkhay K, Wernisch J, Georgopoulos A, et al. Innovative wavelengths in endodontic treatment. *Lasers Surg Med.* 2006;38(6):624-30.
334. Moon Y-M, Kim H-C, Bae K-S, Baek S-H, Shon W-J, Lee W. Effect of laser-activated irrigation of 1320-nanometer Nd: YAG laser on sealer penetration in curved root canals. *J Endodon.* 2012;38(4):531-5.
335. Zakariassen K, Boran T, MacDonald R. The emerging role for lasers in endodontics and other areas of dentistry. *The Alpha omegan.* 1989;83(4):65-7.
336. de Moura-Netto C, de Freitas Carvalho C, de Moura AA, Davidowicz H, Antoniazzi JH. Influence of Nd:YAG and diode laser irradiation on apical sealing

- when associated with AH plus and EndoREZ endodontic cements. *Photomed Laser Surg.* 2007;25(5):413-7.
337. Moritz A, Gutknecht N, Schoop U, Goharkhay K, Doertbudak O, Sperr W. Irradiation of infected root canals with a diode laser in vivo: results of microbiological examinations. *Lasers Surg Med.* 1997;21(3):221-6.
338. Moritz A, Gutknecht N, Goharkhay K, Schoop U, Wernisch J, Sperr W. In vitro irradiation of infected root canals with a diode laser: results of microbiologic, infrared spectrometric, and stain penetration examinations. *Quintessence international* (Berlin, Germany : 1985). 1997;28(3):205-9.
339. Kreisler M, Kohnen W, Beck M, Al Haj H, Christoffers AB, Gotz H, et al. Efficacy of NaOCl/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> irrigation and GaAlAs laser in decontamination of root canals in vitro. *Lasers Surg Med.* 2003;32(3):189-96.
340. da Costa Ribeiro A, Nogueira GE, Antoniazzi JH, Moritz A, Zezell DM. Effects of diode laser (810 nm) irradiation on root canal walls: Thermographic and morphological studies. *J Endodon.* 2007;33(3):252-5.
341. 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 Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;107(4):580-4.
342. Van Der Sluis L, Wu MK, Wesselink P. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper. *Int Endod J.* 2005;38(10):764-8.
343. Van Der Sluis L, Gambarini G, Wu M, Wesselink P. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J.* 2006;39(6):472-6.
344. van der Sluis LW, 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(1):52-7.
345. Van Der Sluis L, Wu MK, Wesselink P. A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed dentine debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation. *Int Endod J.* 2005;38(9):593-6.

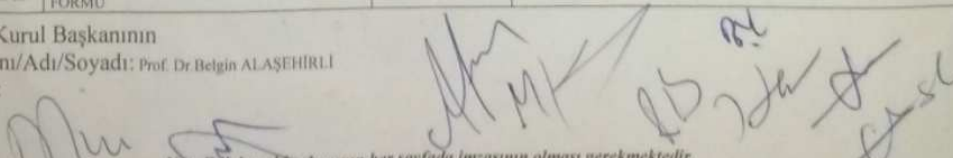
346. Rodig T, Vogel S, Zapf A, Hulsmann M. Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J.* 2010;43(6):519-27.
347. Balvedi RP, Versiani MA, Manna FF, Biffi JC. A comparison of two techniques for the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J.* 2010;43(9):763-8.
348. Noetzel J, Nonhoff J, Bitter K, Wagner J, Neumann K, Kielbassa AM. Efficacy of calcium hydroxide, Er: YAG laser or gaseous ozone against *Enterococcus faecalis* in root canals. *Am J Dent.* 2009;22(1):14-8.
349. Lambrianidis T, Margelos J, Beltes P. Removal efficiency of calcium hydroxide dressing from the root canal. *J Endodon.* 1999;25(2):85-8.
350. Margelos J, Eliades G, Verdellis C, Palaghias G. Interaction of calcium hydroxide with zinc oxide-eugenol type sealers: A potential clinical problem. *J Endodon.* 1997;23(1):43-8.
351. Hosoya N, Kurayama H, Iino F, Arai T. Effects of calcium hydroxide on physical and sealing properties of canal sealers. *Int Endod J.* 2004;37(3):178-84.
352. Bodrumlu E, Avsar A, Hazar Bodrumlu E, Cicek E. The effects of calcium hydroxide removal methods on bond strength of Epiphany SE with two irrigation protocols. *Acta Odontol Scand.* 2013;71(3-4):989-93.
353. Kenne DM, Allemang JD, Johnson JD, Hellstein J, Nichol BK. A quantitative assessment of efficacy of various calcium hydroxide removal techniques. *J Endodon.* 2006;32(6):563-5.
354. Faria G, Kuga MC, Ruy AC, Aranda-Garcia AJ, Bonetti-Filho I, Guerreiro-Tanomaru JM, et al. The efficacy of the self-adjusting file and ProTaper for removal of calcium hydroxide from root canals. *J App Oral Sci.* 2013;21(4):346-50.
355. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E, Bekiaroglou P. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *Int Endod J.* 2007;40(7):504-13.
356. van der Sluis L, Wu M-K, Wesselink P. Comparison of 2 flushing methods used during passive ultrasonic irrigation of the root canal. *Quintessence international* (Berlin, Germany: 1985). 2008;40(10):875-9.
357. Paqué F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M. Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *J Endodon.* 2009;35(7):1044-7.

358. Tasdemir T, Celik D, Er K, Yildirim T, Ceyhanli KT, Yesilyurt C. Efficacy of several techniques for the removal of calcium hydroxide medicament from root canals. *Int Endod J.* 2011;44(6):505-9.
359. 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 Endodon.* 2009;35(7):1040-3.
360. Ahmad M, Ford TRP, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *J Endodon.* 1987;13(10):490-9.
361. Goodman A, Reader A, Beck M, Melfi R, Meyers W. An in vitro comparison of the efficacy of the stepback technique versus a step-back/ultrasonic technique in human mandibular molars. *J Endodon.* 1985;11(6):249-56.
362. Huang TY, Gulabivala K, Ng YL. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int Endod J.* 2008;41(1):60-71.
363. Leighton T. *The acoustic bubble: Academic press; 2012.*
364. Brenner MP, Hilgenfeldt S, Lohse D. Single-bubble sonoluminescence. *Reviews of modern physics.* 2002;74(2):425.
365. Lambrianidis T, Kosti E, Boutsoukis C, Mazinis M. Removal efficacy of various calcium hydroxide/chlorhexidine medicaments from the root canal. *Int Endod J.* 2006;39(1):55-61.
366. Tatsuta CT, Morgan LA, Baumgartner JC, Adey JD. Effect of calcium hydroxide and four irrigation regimens on instrumented and uninstrumented canal wall topography. *J Endodon.* 1999;25(2):93-8.
367. Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *J Endodon.* 1983;9(4):137-42.
368. Peeters HH, Suardita K. Efficacy of smear layer removal at the root tip by using ethylenediaminetetraacetic acid and erbium, chromium: yttrium, scandium, gallium garnet laser. *J Endodon.* 2011;37(11):1585-9.
369. Sasaki KM, Aoki A, Ichinose S, Ishikawa I. Morphological analysis of cementum and root dentin after Er: YAG laser irradiation. *Lasers Surg Med.* 2002;31(2):79-85.

370. Eriksson A, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. *J Prosthet Dent.* 1983;50(1):101-7.
371. Mazeki K, Kimura Y, Yokoyama K, Matsumoto K. Preparation of root canal orifices by Er: YAG laser irradiation: In vitro and clinical observations. *J Clin Laser Med Surg.* 2003;21(2):85-91.
372. Kimura Y, Yonaga K, Yokoyama K, Kinoshita J-i, Ogata Y, Matsumoto K. Root surface temperature increase during Er: YAG laser irradiation of root canals. *J Endodon.* 2002;28(2):76-8.
373. Varella CH, Pileggi R. Obturation of root canal system treated by Cr, Er: YSGG laser irradiation. *J Endodon.* 2007;33(9):1091-3.
374. Ballal N, Kumar S, Laxmikanth H, Saraswathi M. Comparative evaluation of different chelators in removal of calcium hydroxide preparations from root canals. *Aust Dent J.* 2012;57(3):344-8.

## 7. EKLER

### EK 1:

KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU					
ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI		'Kök kanallarından kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında Er:YAG, Er,Cr:YSGG lazerlerin ve ultrasonik tekniğin karşılaştırılması			
ARAŞTIRMANIN PROTOKOL KODU		433			
ETİK KURUL BİLGİLERİ	ETİK KURULUN ADI	Gaziantep Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu			
	AÇIK ADRESİ:	Gaziantep Üniversitesi Sağlık Bilimler Fakültesi 2. Kat Şehitkamil/Gaziantep			
	TELEFON	0342 360 07 53 / 77704			
	FAKS	0342 360 39 27			
	E-POSTA	gaunetikkurul@gmail.com			
BAŞVURU BİLGİLERİ	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Yrd. Doç. Dr Cihan Yıldırım			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Endodonti Anabilim Dalı			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	Gaziantep Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı			
	VARSA İDARI SORUMLU UNVANI/ADI/SOYADI				
	DESTEKLEYİCİ				
	DESTEKLEYİCİNİN YASAL TEMSİLCİSİ				
	ARAŞTIRMANIN FAZİ VE TÜRÜ	FAZ 1	<input type="checkbox"/>		
		FAZ 2	<input type="checkbox"/>		
		FAZ 3	<input type="checkbox"/>		
		FAZ 4	<input type="checkbox"/>		
Gözlemsel ilaç çalışması		<input type="checkbox"/>			
Tıbbi cihaz klinik araştırması		<input type="checkbox"/>			
In vitro tıbbi tanı cihazları ile yapılan performans değerlendirme çalışmaları		<input type="checkbox"/>			
İlaç dışı klinik araştırma	<input checked="" type="checkbox"/>				
Diğer ise belirtiniz					
ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ <input type="checkbox"/>	ÇOK MERKEZLİ <input type="checkbox"/>	ULUSAL <input type="checkbox"/>	ULUSLARARASI <input type="checkbox"/>	
DEĞERLENDİRİLE N BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili	
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>	
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>	
	OLGU RAPOR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>	
	ARAŞTIRMA BROŞÜRÜ			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>	
DEĞERLEN DİRİLEN DİĞER BELGELER	Belge Adı	Açıklama			
	SIGORTA	<input type="checkbox"/>			
	ARAŞTIRMA BUTÇESİ	<input type="checkbox"/>			
	BIYOLOJİK MATERYEL TRANSFER FORMU	<input type="checkbox"/>			
Etik Kurul Başkanının Unvanı/Adı/Soyadı: Prof. Dr Belgin ALAŞEHİRLİ					
İmza:					
					
Not: Etik kurul başkanının her sayfada imzasının olması gerekmektedir.					

**EK 2:****KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU**

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	'Kök kanallarından kalsiyum hidroksitin uzaklaştırılmasında Er:YAG, Er,Cr:YSGG lazerlerin ve ultrasonik tekniğin karşılaştırılması		
ARAŞTIRMANIN PROTOKOL KODU	433		
ILAN	<input type="checkbox"/>		
YILLIK BİLDİRİM	<input type="checkbox"/>		
SONUÇ RAPORU	<input type="checkbox"/>		
GÜVENLİLİK BİLDİRİMLERİ	<input type="checkbox"/>		
DİĞER	<input type="checkbox"/>		
KARAR BİLGİLERİ	Karar No: 2014/433	Tarih: 29.12.2014	
Yukarıda bilgileri verilen başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmann/çalışmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve uygun bulunmuş olup araştırmann/çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezlerde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplantıya katılan etik kurul üye tam sayısının salt çoğunluğu ile karar verilmiştir. Klinik Araştırmalar Hakkında Yönetmelik kapsamında yer alan araştırmalar/çalışmalar için Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'ndan izin alınması gerekmektedir.			

**KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU**

ETİK KURULUN ÇALIŞMA ESASI	Klinik Araştırmalar Hakkında Yönetmelik, İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:	Prof. Dr.Belgin ALAŞEHİRLİ

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Araştırma ile ilişki	Katılım *	İmza
Prof. Dr.Belgin ALAŞEHİRLİ	FARMAKOLOJİ	Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi	E <input type="checkbox"/> K x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Prof. Dr.Ercan SIVASLI	PEDİATRİ	Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi	E x <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Prof.Dr. Mehmet KESKİN	PEDİATRİ	Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi	E x <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Prof. Dr Feridun IŞIK	GÖĞÜS CERRAHI	Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi	E x <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Prof. Dr. İlker SEÇKİNER	ÜROLOJİ	Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi	E x <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Prof. Dr. Ramazan BAL	FİZYOLOJİ	Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi	E x <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Doç. Dr. Bünyamin KISACIK	İÇ HASTALIKLARI	Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi	E x <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Doç.Dr. Yasemin ZER	MİKROBİYOLOJİ	Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi	E <input type="checkbox"/> K x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Doç. Dr. Kemal ÜSTÜN	DIŞ HEKİMLİĞİ	Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	E x <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Doç.Dr.Seval KUL	BIYOİSTATİSTİK	Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi	E <input type="checkbox"/> K x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Uzm.Dr. Cahide Elif ORHAN	FARMAKOLOJİ	Gaziantep İl Sağlık Müdürlüğü	E <input type="checkbox"/> K x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Eyüp ÇELİK	AVUKAT	Gaziantep Barosu	E x <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	
Baha Günhan GÜNGÖRDÜ	İNŞ.MÜH (sivil Üye)	GASKİ	E x <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H x <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	

\*:Toplantıda Bulunma

Etik Kurul Başkanının

Unvanı/Adı/Soyadı: Prof. Dr. Belgin ALAŞEHİRLİ

İmza:

Elden teslim aldım.

Arş. Gr. Emre Gülba

Not: Etik kurul başkanının her sayfada imzasının olması gerekmektedir.



## 8. ÖZGEÇMİŞ

29 Haziran 1978 tarihinde Adana'nın Saimbeyli ilçesinde doğdum. 1997 yılında İçel Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'ni kazandım. 2002-2012 yılları arasında Tarsus Devlet Hastanesi ve Mersin Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi'nde diş hekimi olarak çalıştım. 2012 yılında yapılan DUS'da Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti bölümünü kazandım.