



T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**Er:YAG, Er,Cr:YSGG LAZERLERİN VE KONVASİYONEL
TEKNIĞIN KÖK KANALLARINDAKİ ENTEROCOCCUS
FAECALİS VE CANDIDA ALBİCANS ÜZERİNE
ANTİBAKTERİYEL ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Mehtap ZORLU GÖLGE

UZMANLIK TEZİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Uğur AYDIN

Gaziantep

2016

T.C.

**GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI**

**Er:YAG, Er,Cr:YSGG LAZERLERİN VE KONVASİYONEL
TEKNİĞİN KÖK KANALLARINDAKİ ENTEROCOCCUS
FAECALİS VE CANDIDA ALBICANS ÜZERİNE
ANTİBAKTERİYEL ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Mehtap ZORLU GÖLGE

Tez Savunma Tarihi: 1.12.2016

Diş Hekimliği Fakültesi Onayı

Prof. Dr. Kamile ERCİYAS

Diş Hekimliği Fakültesi Dekanı

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

Prof. Dr. Kamile ERCİYAS

Endodonti Anabilim Dalı Başkanı

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

Yrd. Doç. Dr. Uğur AYDIN

Tez Danışmanı

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

Tez Jürisi

İmzası

Prof. Dr. Kamile ERCİYAS

Prof. Dr. Hamdi Oğuz YOLDAŞ

Yrd. Doç. Dr. Uğur AYDIN

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.

1.12.2016

Mehtap ZORLU GÖLGE



TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca benden desteğini, ilgisini esirgemeyen tez danışmanım sevgili hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Uğur AYDIN'a,

Bilgilerinden ve fikirlerinden yararlandığım ve bana her zaman destek olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatma TUNÇ'a,

Çalışmamın istatistiksel analizinde katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Seval KUL'a,

Tezimin mikrobiyolojik çalışmalarında katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Yasemin ZER'e ve canım arkadaşım Ayşe BÜYÜKTAŞ'a,

Tüm eğitimim süresince beraber çalıştığım asistan arkadaşlarıma ve bölümümüzün tüm çalışanlarına,

Bugünlere gelmemde en büyük paya sahip canım Annem ve Babam'a, destekleriyle her zaman yanımda olan, bana güç veren kardeşlerime,

Varlığı ile bana güç veren, yaşam kaynağım biricik oğlum Demir Alp'e, sevgisiyle, desteğiyle ve sabrıyla her zaman yanımda olan eşim Necmettin'e

Sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum...

Bu tez, Gaziantep Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Komisyonu Başkanlığı tarafından DHF.UT.16.03 numaralı proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
RESİMLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kök Kanal Dezenfeksiyonunun Önemi	4
2.2. Kök Kanal Tedavisinin Başarısını Etkileyen Faktörler	5
2.2.1. Mikrobiyal Faktörler	5
2.2.1.1. <i>Enterococcus faecalis</i> (<i>E. faecalis</i>)	8
2.2.1.2. <i>Candida albicans</i> (<i>C. albicans</i>)	11
2.2.1.3. Biyofilm.....	13
2.2.2. Mikrobiyal Olmayan Faktörler.....	14
2.3. Kök Kanal Preparasyonunun Önemi.....	15
2.3.1. Kök Kanal Preparasyon Yöntemleri.....	17
2.3.1.1. Standardize preparasyon tekniği.....	17
2.3.1.2. Step-Back tekniği	17
2.3.1.3. Dengelenmiş kuvvet tekniği (Balanced-Force)	17
2.3.1.4. Step-down tekniği.....	18
2.3.1.5. Double-Flared tekniği.....	18
2.3.1.6. Crown-down tekniği.....	18

2.3.2. Ni-Ti Döner Sistemlerde Kanal Preparasyonu.....	19
2.3.2.1. Ni-Ti Alaşımların Tarihsel Gelişimi ve Metalurjik Özellikleri.....	20
2.3.2.2. Reciproc Sistem.....	22
2.4. Kök Kanal İrrigasyonunun Önemi	23
2.4.1. Endodontide Kullanılan İrrigasyon Ajanları.....	25
2.4.1.1. EDTA	26
2.4.1.2. Sitrik Asit.....	26
2.4.1.3. Tetrasiklin.....	26
2.4.1.4. MTAD	27
2.4.1.5. Sodyum Hipoklorit (NaOCl)	27
2.4.1.6. Octenidin Dihidroklorit	31
2.4.1.7. Klorheksidin glukonat (CHX)	32
2.4.1.8. Kalsiyum Hidroksit (CaOH ₂)	32
2.5. Lazer.....	33
2.5.1. Lazer Güvenliği.....	34
2.5.2. Lazerlerin Tehlike Sınıflandırması.....	34
2.5.3. Lazer Kullanımıyla İlgili Alınabilecek Bazı Önlemler.....	35
2.5.4. Lazer Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	36
2.5.5. Diş Hekimliğinde Kullanılan Lazerler.....	37
2.5.5.1. Argon lazer	37
2.5.5.2. CO ₂ lazer.....	37
2.5.5.3. Nd:YAG lazer	38
2.5.5.4. Diyot lazer	38
2.5.5.5. Ho:YAG lazer.....	39
2.5.5.6. Erbiyum lazerler	40
2.5.6. Lazerin Dokulardaki Etkisi.....	45
2.5.6.1. Lazerin Foto-Kimyasal Etkisi.....	45

2.5.6.2. Lazerin Foto-Termal Etkisi	45
2.5.6.3. Lazerin Foto-Mekanik Etkisi.....	46
2.5.7. Lazer Kullanım Parametreleri	46
2.5.8. Lazerlerin Diş Hekimliğindeki Kullanım Alanları	47
2.5.9. Lazerin Endodontide Kullanım Alanları	48
2.5.9.1. Lazerle yapılan kök kanal dezenfeksiyonu.....	49
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	51
3.1 Çalışma Prosedürü	51
3.2. Örneklerin Hazırlanması	51
3.3. Çalışmada Kullanılan Mikroorganizmalar.....	53
3.4. Standart Mikroorganizmaların Üretilmesi ve Deney İçin Hazırlanması.....	54
3.5. Deney ve Kontrol Gruplarının Oluşturulması.....	54
3.6. Kök Kanallarının Enfekte Edilmesi	55
3.7. Kök Kanal Dezenfeksiyonu	56
3.7.1. Er,Cr:YSGG Lazer Grupları.....	56
3.7.2. Er:YAG Lazer Grupları	57
3.7.3. Sodyum Hipoklorit (NaOCl) Grupları.....	59
3.7.4. Pozitif Kontrol Grupları	59
3.7.5. Negatif Kontrol Grupları	60
3.8. Lazer ve NaOCl Uygulamasından Sonra Cfu/ml Değerlerinin Belirlenmesi	60
3.9. İstatistiksel Yöntem.....	61
4. BULGULAR	62
4.1. E. faecalis ile Enfekte Edilen Örneklerden Elde Edilen Bulgular	62
4.2. C.albicans ile Enfekte Edilen Örneklerden Elde Edilen Bulgular	64
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	68
6. KAYNAKLAR.....	87
7. ÖZGEÇMİŞ.....	104

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

Apdt	antimikrobiyal FotoDinamik Terapi
CO ₂	Karbondioksit
Ca(OH) ₂	Kalsiyum hidroksit
CHX	Klorheksidin Glukonat
CFU	Colony forming unit
CW	Continuous Wave
DNA	Deoxy Ribo Nucleic Acid
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
<i>E. faecalis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
EDTA	Etilendiamintetraasetik asit
Er,Cr:YSGG	Erbium, chromium: yttrium-scandium-gallium-garnet
Er:YAG	Erbium: yttrium- aluminum-garnet
G	Gram
Gr(+)	Gram pozitif
Gr(-)	Gram negatif
He-Ne	Helyum-Neon
Ho:YAG	Holmium:yttrium-alumium-garnet
Hz	Hertz
J	Joule
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LDF	Laser doppler flowmetry
MASER	Microwave amplification by stimulated emission of radiation
mj	Milijoule

mj/cm ²	Milijoule/santimetrekare
ml	Mililitre
mm	Milimetre
MTA	Mineral trioksit agregat
NaOCl	Sodyum Hipoklorit
Nd:YAG	Neodymium-yttrium-aluminum-garnet
Ni-Ti	Nikel Titanyum
nm	Nanometre
#	Numara
<i>P. aeruginosa</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Ph	Power of hydrogen
PIPS	Photon Induced Photoacoustic Streaming
PUİ	Pasif ultrasonik irrigasyon
RFT	Radial firing tip
RNA	Ribo Nucleic Acid
PCR	Polymerase Chain Reaction
SEM	Scanning Electron Microscope
SDA	Seboreik dekstroz agar
<i>S. aureus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
sn	Saniye
°C	Santigrat Derece
W	Watt
%	Yüzde
>	Büyüktür
<	Küçüktür

μ	Mikron
μm	Mikrometre
μl	Mikrolitre



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Biyofilm gelişim basamakları 13



RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1. Kök boyu 12 mm olacak şekilde kron kısımları kesilmiş örnekler.....	52
Resim 3.2. Kök kısımları kompozit rezinle kapatılmış örnekler.....	52
Resim 3.3. Eppendorf tüplerin içerisine yerleştirilmiş örnekler	53
Resim 3.4. E. faecalis üremesini gösteren koyun kanlı agar besiyeri görüntüsü	53
Resim 3.5. C. albicans üremesini gösteren SDA besiyeri görüntüsü	54
Resim 3.6. Mikrobiyolojik işlemlerin gerçekleştirildiği güvenlik kabini	56
Resim 3.7. Çalışmada kullanılan Er,Cr:YSGG lazer cihazı.....	57
Resim 3.8. Kullanılan Er,Cr:YSGG lazer parametreleri	57
Resim 3.9. Çalışmada kullanılan Er:YAG lazer cihazı	58
Resim 3.10. Kullanılan Er:YAG lazer parametreleri	58
Resim 3.11. Çalışmada kullanılan NaOCl ajanı.....	59
Resim 3.12. Kanalların %5 NaOCl ile yıkanma işlemi.....	59
Resim 3.13. Dezenfeksiyon işlemlerinin ardından kültür alma işlemi.....	60

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Deney gruplarındaki <i>E. faecalis</i> miktarının dezenfeksiyon işleminin hemen ve 4 hafta ardından ortalamaları ve standart sapma değerleri tablosu	63
Tablo 4.2. Deney gruplarındaki <i>E. faecalis</i> miktarının dezenfeksiyon işleminin hemen ardından ortalama grafiği.....	63
Tablo 4.3. Deney gruplarındaki <i>E. faecalis</i> miktarının dezenfeksiyon işleminin 4 hafta ardından ortalama grafiği	64
Tablo 4.4. Deney gruplarındaki <i>C. albicans</i> miktarının dezenfeksiyon işleminin hemen ve 4 hafta ardından ortalamaları ve standart sapma değerleri tablosu	65
Tablo 4.5. Deney gruplarındaki <i>C. albicans</i> miktarının dezenfeksiyon işleminin hemen ardından ortalama grafiği.....	66
Tablo 4.6. Deney gruplarındaki <i>C. albicans</i> miktarının dezenfeksiyon işleminin 4 hafta ardından ortalama grafiği.....	67

ÖZET

Er:YAG, Er,Cr:YSGG LAZERLERİN VE KONVASİYONEL TEKNİĞİN KÖK KANALLARINDAKİ ENTEROCOCCUS FAECALIS VE CANDİDA ALBİCANS ÜZERİNE ANTİBAKTERİYEL ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mehtap ZORLU GÖLGE

Uzmanlık Tezi

Endodonti Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Uğur AYDIN

1 Aralık 2016, 104 SAYFA

Endodontik tedavide kök kanal sisteminin mikroorganizmalardan tamamen arındırılması amaçlanmaktadır. Günümüzde kemomekanik preparasyonda kullanılan irrigasyon ajanları, ideal özellikleri taşımadığından, son yıllarda başka irrigasyon ajanlarının ve tekniklerin araştırılması güncel konular arasında yer almıştır. Bu çalışmadaki amaç, kök kanal dezenfeksiyonu için alternatif bir yöntem olarak gösterilen lazer sistemlerinden Er,Cr:YSGG ve Er:YAG lazerlerin Enterococcus faecalis (*E. faecalis*) ve Candida albicans (*C. albicans*) üzerindeki antimikrobiyal etkinliğinin NaOCl ile karşılaştırılması ve kök kanal sistemlerinin dezenfeksiyonundaki etkinliklerinin değerlendirilmesidir. Çalışmada 140 adet tek köklü ve tek kanallı insan alt küçük azı dişi kullanıldı. Örnekler prepare edildikten sonra steril edilip 2 gruba ayrıldı. Grup 1'deki kök kanalları *E. faecalis*, Grup 2'deki kök kanalları *C. albicans* ile kontamine edildi. Negatif kontrol grubu hariç, her bir örneğin kök kanalına 10^5 cfu/ml miktarında mikroorganizma ekimi yapılarak standardizasyon sağlandı. Tüm örnekler 4 hafta inkübasyonun ardından rastgele 10 gruba ayrıldı; Grup 1A: Er,Cr:YSGG lazer grubu (2 W, 20 Hz, 25 mj % 25 su, % 35 hava, 12 sn, 4 tekrar), Grup 1B: Er:YAG lazer (0.8 W, 20 Hz, 40 mj, 5 sn, 5 tekrar), Grup 1C: % 5 NaOCl grubu (7 ml, 2 dk), Grup 1D: pozitif kontrol grubu, Grup 1E: negatif kontrol grubu, Grup 2A: Er,Cr:YSGG lazer grubu (2 W, 20 Hz, 25 mj, % 25 su, % 35 hava, 12 sn, 4 tekrar), Grup 2B: Er:YAG lazer (0.8 W, 20 Hz, 40 mj, 5 sn, 5 tekrar), Grup 2C: % 5 NaOCl grubu (7 ml, 2 dk), Grup 2D: pozitif kontrol grubu, Grup 2E: negatif kontrol grubu. Dezenfeksiyon işlemlerinin ardından tüm örneklerden hem anında hem de 4 hafta inkübasyon sonrasında kültür alınarak cfu/ml değerleri belirlendi. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, hem Er:YAG lazer hem de NaOCl gruplarında dezenfeksiyon işleminin ardından kök kanallarından elde edilen mikroorganizma sayılarında azalma anlamlıdır ($p < 0,05$). Er,Cr:YSGG lazer grubunda ise bakteriyel azalma anlamlı değildir ($p > 0,05$). 2 W çıkış gücünde Er,Cr:YSGG lazerin *E. faecalis* ve *C. albicans* üzerindeki antimikrobiyal etkinliği NaOCl kadar anlamlı bulunamamıştır. Er:YAG lazerin NaOCl ile birlikte kullanılmasının konvansiyonel methoda kıyasla *E. faecalis* ve *C. albicans* eliminasyonunda başarı oranını artırmaya yardımcı bir yöntem olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Candida albicans, dezenfeksiyon, Enterococcus faecalis,
Er,Cr:YSGG lazer, Er:YAG lazer, NaOCl



ABSTRACT

COMPARISON OF ANTIBACTERIAL EFFECTS OF ER: YAG, ER,Cr: YSGG LASERS AND CONVENTIONAL TECHNIQUE ON ENTEROCOCCUS FAECALIS AND CANDIDA ALBICANS

Mehtap ZORLU GÖLGE

Postgraduate Thesis

Department of Endodontics

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Uğur AYDIN

1 th Dec 2016, 104 PAGES

Endodontic therapy aims to disinfect root canal system from microorganisms. The inability of contemporary irrigation agents to completely disinfect root canals lead to investigation of new agents and techniques in recent years. The aim of the present study is to compare the antibacterial efficiency of alternative approaches for root canal disinfection including Er,Cr:YSGG ve Er:YAG lasers on *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) and *Candida albicans* (*C. albicans*) to that of NaOCl. The present study included 140 single rooted human mandibular premolars with one root canal. After preparing and sterilizing, the samples were divided into two groups. Root canals in group 1 were contaminated with *E. faecalis* while root canals in Group 2 were contaminated with *C. albicans*. The root canal of each sample except negative control group was inoculated with 10^5 cfu/ml of microorganisms in order to achieve standardization. After 4 weeks incubation, all samples were randomly divided into 10 subgroups; Group 1A: Er,Cr: YSGG laser group (2 W, 20 Hz, 25 mJ, 25% water, 35% air, 12 sec, 4 repeat), Group 1B: Er:YAG laser (0.8 W, 20 Hz, 40 mJ, 5 sec, 5 repeat), Group1C: 5% NaOCl group (7 mL, 2 min), Group 1D: positive control group, Group 1E: negative control group, Group 2A: Er, Cr:YSGG laser group (2 W, 20 Hz, 25 mJ, 25% water, 35% air, 12 seconds, 4 repeat), Group 2B: Er:YAG laser (0.8 W, 20 Hz, 40 mJ, 5 sec, 5 repeat), Group 2C: 5% NaOCl group (7 mL, 2 min), Group 2D: positive control group, Group 2E: negative control group. After disinfection process, the culture of each sample was tested to determine cfu/ml values for before incubation and after 4-week incubation. According to the results, in both Er:YAG laser group and NaOCl groups, a significant reduction occurred in the number of microorganisms obtained from the root canal after disinfection process ($p < 0.05$). On the other hand, in Er,Cr: YSGG laser group, this reduction was not significant ($p > 0.05$). For the output power of 2W for Er,Cr:YSGG laser, contrary to NaOCl, the antimicrobial activity on *E. faecalis* and *C. albicans* was not found significant. Compared to the conventional method, the use of Er:YAG laser with NaOCl is thought as an inducing method to increase the success rate in the elimination of *E. faecalis* and *C. albicans*.

Keywords: *Candida albicans*, disinfection, *Enterococcus faecalis*, Er,Cr:YSGG laser, Er:YAG laser, NaOCl

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Kök kanal tedavisi, kron ve kök pulpasının tamamıyla çıkarılıp, çevre dokuların zarar görmesine neden olmadan kök kanallarının mekanik olarak genişletilmesi, ardından dentin tübülleri boyunca mikroorganizmalardan tümüyle arındırılmaya çalışılarak kök ucuna kadar tamamen doldurulması ve hermetik bir şekilde tıkanması işlemine denir. Kök kanal tedavisinin başarısı, doğru hasta ve diş seçimine, doğru tanıya, iyi planlanmış bir tedaviye ve tedavinin başarılı bir klinisyenin elinde aynı felsefe, yöntem, performans ve uygun aletlerle özenle yapılmasına bağlıdır (1).

Pulpa ve periradiküler hastalıklarda en önemli etken mikroorganizmalardır (2). Pulpal kanlanmanın sınırlı olmasından dolayı burada kaynaklanan bir enfeksiyon odağı vücut savunma sistemi ile kaldırılamamakta, bu durum pulpa nekrozuna neden olarak ortam koşullarına uyumlu kompleks bir mikroflora ile sonuçlanmaktadır (3).

Kolonizasyon apikal delta, istmus ve tüm dentin kanallarını kapsayabilmektedir (4). Enfekte kök kanalı içerisinde bulunan mikroorganizmalar, onların toksinleri ve litik artıkları periapekse sızarak burada periapikal bir enfeksiyon meydana getirirler. Erken dönemde bakterisiz olarak başlayan bu durum, kök pulpasının enfekte olması ile akut hale geçer. Bakteriyel ürünlerin periapekse ulaşması retrograd enfeksiyonlar haricinde bakteriyel hücrelerden önce olmaktadır. Pulpa iltihabının erken dönemlerinde pulpal kan akımının artması ile periapeksteki kapillerler genişler ve iltihap hücreleri bölgeye infiltre olmaya başlar. Bu olay esnasında periapikal dokular henüz steril durumdadır. Periapekte erken oluşan cevabın nedeni pulpanın bağ dokusundan salınan nörojenik iltihap mediyatörlerinin periapekte başlattığı öncül bir otonom reflektir. Bu olayın devamında bakteriyel ürünlerin de periapekse ulaşmasıyla iltihap artarak devam eder (4).

Enfekte kök kanallarında farklı çeşitlerde mikroorganizma türleri bulunmakta ve milimetre karede bulunan mikroorganizma sayısı 10^2 ve 10^8 arasında değişmektedir (5). Pulpal enfeksiyonların etiolojisinde en başta anaerob bakterilerin yanı sıra fakültatif anaerob, mikroaerofilik, aerob bakteriler ve mantarlar da kök kanallarındaki mikroflorada bulunmaktadır (6). *Enterococcus faecalis* (E. faecalis) ve *Candida albicans* (C. albicans) oral kavitede yerleşen olumsuz koşullara en fazla direnç gösterebilen

mikroorganizmalardır (7, 8). Dolayısıyla kök kanal tedavisinin ana hedefi kök kanal sisteminin dezenfeksiyonu olarak tanımlanmıştır. Bu amaçla geleneksel olarak kök kanallarında kemomekanik temizlik uygulanmaktadır. Mekanik enstrümantasyonla birlikte kök kanal boşluğunun dezenfektan solüsyonlarla irrigasyonu ve seanslar arası kanal içi dezenfektan kullanımının kombinasyonu olan kemomekanik temizlik kök kanal dezenfeksiyonunda kritik bir önem taşımaktadır. Ardından mikroorganizmaların tekrar kanal içerisine girişini ve kanal içinde kalanlarınsa tekrar çoğalmalarını önlemek için kök kanalları, hermetik olarak doldurulup kron final restorasyonu ile ideal bir şekilde restore edilmelidir (9).

Dişin anatomik yapısına bağlı birtakım nedenlerden dolayı smear tabakası ve patojenleri uzaklaştırmak irrigasyon ile mümkün olmamaktadır. Dar olan dentin kanalları ve yüksek gerilime sahip likit solüsyonları gibi nedenlerle irrigasyon solüsyonları kök kanallarında sınırlı etkiye sahiptir. Irrigasyon solüsyonları tübüllerde en fazla 100 µm'ye ulaşabilirken, bakteriler kanal lümeninden 1000 µm derinliğe ulaşabilmektedirler (10). Günümüzde en yaygın olarak kullanılan irrigasyon solüsyonu organik dokuları çözme ve antimikrobiyal etkinliği olan sodyum hipoklorittir (NaOCI). Sitotoksik olan bu irrigasyon ajanı birçok klinik komplikasyona yol açmaktadır. Bu nedenle lazer sistemleri geleneksel dezenfeksiyon yöntemlerine ek olarak uzun zamandır araştırma konusu olmuştur (11).

Son yıllarda oldukça popüler hale gelen lazerler endodontide de geniş bir kullanım alanı bulmuştur (12). Lazer sistemlerinin, kök kanal tedavisinde debris ve smear tabakasını etkili biçimde kaldırabilmesinin yanında dentin tübüllerine penetre olarak kök kanal sistemindeki ulaşılamayan alanlara erişimi kolaylaştırdığı düşünülmektedir (13). Er,Cr:YSGG ve Er:YAG lazerler; kök kanal sisteminin temizlenmesi, şekillendirilmesi ve genişletilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Araştırmacılar bu lazer sistemleriyle daha başarılı sonuçlar elde edebilmek için Er,Cr:YSGG lazerin RFT (radial firing tips) ve Er:YAG lazerin PIPS (Foton-indüklü Fotoakustik Dalgalanma tekniği) adında uçlarını dizayn etmiş ve yakın zamanda piyasaya sürmüşlerdir (14).

Er,Cr:YSGG lazer üzerine literatürde birçok çalışma mevcuttur. Yapılan araştırmalar kök kanal preparasyonunda ve kök kanal dolumundaki kullanımı (15-17), smear tabakası üzerindeki kullanımı (18-20) ve kök kanal dezenfeksiyonundaki kullanımı üzerinedir (21-24). Er:YAG lazerin kullanım amacı çoğunlukla smear ve debris

uzaklaştırmaktır. Yapılan araştırmalarda bu konu üzerine yoğunlaşmış olup (18, 25, 26), kök kanal dezenfeksiyonuna olan etkisi üzerinde sınırlı kalmıştır (27-29). Çalışmada kök kanal tedavisinin esas basamağını oluşturan dezenfeksiyon işleminde başarıyı artırmak için farklı yöntemlerin kullanımı düşünülmüştür. Bu amaçla Erbiyum lazerlerin konvansiyonel yöntemin yerini alıp alamayacağı sorusu çalışmanın çıkış noktası olmuştur.

Bu araştırma; son yıllarda endodontide kullanımı önerilen Er,Cr:YSGG ve Er:YAG lazer sistemleri ile birlikte piyasaya en son sürülen RFT ve PIPS uçlarının *E. faecalis* ve *C. albicans* üzerindeki antimikrobiyal etkinliğinin kök kanallarının dezenfeksiyonu amacıyla güncel olarak kullanılan NaOCl ile antibakteriyel olarak karşılaştırılmalı değerlendirilmesi amacıyla yapılacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kök Kanal Dezenfeksiyonunun Önemi

Kök kanallarının dezenfeksiyonunun temel amacı; kanaldaki artık ve enfekte pulpa dokusunu ve mikroorganizmaları tamamıyla uzaklaştırmaktır. Pulpa boşluğu kompleks bir yapıya sahiptir. Birçok kök fazladan bir kanala sahiptir ve değişik kanal konfigürasyonu gösterebilir. Vertucci sekiz tane kanal konfigürasyonu tanımlamıştır (30).

Kök kanal sistemindeki kanallar farklı morfolojik yapıya sahip olabilirler. Bu anatomik düzensizliklerde alet veya irrigasyon ajanlarının etkili biçimde kullanılması çok güçtür. En iyi koşullar altında yapılan bir kök kanal tedavisi, bu anatomik düzensizlikler nedeni ile yeterli preparasyon ve irrigasyon yapılamadığından başarısızlıkla sonuçlanabilir (4). Kök kanal tedavisinde bu amaçla kullanılan irrigasyon solüsyonlarının dentin tübüllerindeki mikroorganizmalara etkisi sınırlıdır (14).

Kök kanallarının anatomik varyasyonları, apikal delta, lateral ve aksesuar kanallar nedeniyle periapikal enfeksiyonun esas etkeni olan mikroorganizmaların eliminasyonu tamamıyla mümkün olamamaktadır (31). Pulpa ve periodontal dokular sadece apikal foramenle değil aynı zamanda yan ve lateral kanallar aracılığı ile de birbirine bağlantılıdır. Lateral kanal kök kanal kök yüzeyinde herhangi bir noktada bulunabilir ve ana kanala dik konumlanır. Yan kanallar ise daha çok apikal üçlüde yer alır. Molarların %59'unun koroner veya orta üçlüsünde belirgin lateral kanallar mevcuttur ve %76'sında ise furkasyona açılan bir kanal vardır. Kök kanal tedavisindeki başarısızlıkların mikroorganizmalar dışında lokal ve sistemik birçok nedeni vardır. Yetersiz kanal preparasyonu, kırılan kanal aletleri, yetersiz ya da taşkın kanal dolguları, mekanik perforasyon, kök kırıkları, periradiküler lezyon ve periodontal hastalık varlığı gibi faktörlerin de tedavinin başarısını etkilediği belirtilmiştir (32). Başarılı bir endodontik tedavi için, kök kanallarındaki mikroorganizmaların tamamen eliminasyonu biomekanik preparasyon ile sağlanmaktadır. Ancak mikroorganizmaların bütünüyle eliminasyonunun neredeyse imkansız olduğu ve instrumentasyonla kanal duvarlarında smear tabakası meydana geldiği birçok çalışmada gösterilmiştir (33).

2.2. Kök Kanal Tedavisinin Başarısını Etkileyen Faktörler

2.2.1. Mikrobiyal Faktörler

Oral mikrobiyolojinin tarihi 1800'lü yıllarda enfekte kök pulpasındaki bakterileri belirleyen Willoughby D. Miller ile başlar (34).

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 (35). Theilade 2003 yılında yaptığı çalışmada nekrotik pulpa dokusunun dekompozisyonunun veya doku likitlerinin, herhangi bir bakteri varlığı olmadan da apikal periodontitise neden olabileceğini öne sürmüştür (36). Aynı şekilde Kakehashi ve arkadaşları da yaptıkları bir diğer çalışmada gnotobiyotik sıçanların açık pulpalarında ve periradiküler alanlarında patolojik bir değişim oluşmadığını, oysa oral flora ile kontamine olan grupta pulpa nekrozu ve periapikal lezyon meydana geldiğini tespit etmişlerdir (37). Sonuç olarak dokuda mikrobiyal floranın varlığı ya da yokluğu, dokunun patolojik yıkımında esas belirleyici faktördür denilebilir.

Bakterilerin kök pulpasına birçok giriş yolu vardır. Çürük ve travma başta olmak üzere periodontal ceplerden, mine ve dentin çatlaklarından, açık dentin tübüllerinden ve yan kanallardan pulpaya kolaylıkla ulaşabilirler. İnsan vücudunda ortalama 10^{13} tane hücre bulunur. Fakat bunun 10 katı bakteri deri, göz, ağız, kulak yolu, üreme organları, göbek çukuru gibi yerlerde gruplar ve cinsler halinde yerleşirler. Bu organ, doku veya yüzeyde yaşayan mikroorganizma topluluğu flora olarak adlandırılmaktadır. Kök kanalında kolonize olmayı başaran herhangi bir mikroflora çok veya az şiddetle bir hastalığa yol açabilir. Bu olayda tek bir patojen yer almaz. Kısacası periapikal hastalık kök kanalındaki farklı mikroorganizmaların kombine aktivasyonu ile oluşur. Enfekte kök kanal florası ağız florasının kombinasyonundan oluşmaktadır (1).

Sundqvist 1992 yılında yaptığı çalışmada kök kanallarından en çok izole edilen patojenin %48 oranında Fusobacterium'lar olduğunu belirtmiştir. Wasfy ve arkadaşları

ise 1992 yılındaki çalışmalarında %68 Eubacterium'ları en sık izole edilen tür olarak göstermişlerdir. Brook ve arkadaşları 1991'de yaptıkları çalışmada %39.5 Bacteriodes'leri, %23 anaeroplara sıklıkla gözlemlemiştir. John ve arkadaşları ise 1989 yılındaki araştırmalarında Bacteriodes'leri %41.5, anaerop kokları %30.5 oranında tespit etmiştir. Çürük altındaki yumuşak nekrotik dentin içerisinde Laktobasiller ve Streptokoklar baskındır. Daha derinlere inildiğinde gram pozitif pleomorfik çomak şeklinde bakteriler gözlenmeye başlar (3).

Edwardsson'ın çürük dentin bakteriolojisini araştırdığı çalışmada, dişlerin %93'ünde gram pozitif çomaklar bulunmuştur. %5 örnekte gram pozitif koklar, %50'den fazla örnekte ise Lactobacillus izole edilmiştir. Gram pozitif pleomorfik çomaklar ise dişlerin %25'inde bulunmuştur ve floranın %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Nekrotik pulpanın mikrobiyolojisinde ise zorunlu anaeroplara baskındır. Bunlar Peptostreptococcus, Eubacterium, Prevotella, Porphyromonas, Fusobacterium ve Streptococcus türleridir. Kanaldaki anaerobik tipteki mikroorganizmaların sayısının artması akut semptom riskini artırmaktadır (38).

Araştırmacılara göre ağrı, şişlik ve eksuda oluşumu çoğunlukla Peptostreptococ ve Prevotella türlerini kapsayan anaerobik karışımlarla ilişkilidir. Bu çalışmalar gösteriyor ki kök kanallarında benzer mikroorganizmalar mevcuttur. Periapikal dokulardaki bakteri florasına bakıldığında ise 1990 yılında Fukushima ve arkadaşları yaptıkları çalışmada asemptomatik periapikal lezyonlu dişlerin köklerinin apikal kısmında Bacteriodes, Peptostreptococcus, Peptococcus ve Eubacterium gibi bakterilerin bulunduğunu ve bu bakterilerin rediküler foramende ve kök dış yüzeyinde yerleşmediğini gözlemlemiştir (39). Çalışmalar gösteriyor ki bu alandaki bakteriler endodontik tedavi esnasında ya da öncesinde kolonize olan mikroorganizmalardır ve anakorezis yolu ile bu alana erişmeleri mümkün değildir. Sadece akut apselli olgularda mikroorganizmalar kanaldan periapikal alana yayılım gösterebilir. Mikroplar ekstraradiküler alanda bulunduğu oluşan fistülün endodontik tedavi sonrasında iyileşmesi bakterilerin periapikal bölgede hayatta kalmasının kök kanalındaki enfeksiyon merkezine bağlı olduğunu gösterir (40).

Endodontik tedavisi başarısızlıkla sonuçlanmış periodontitisli dişlerin mikrobiyolojisinde gram pozitif fakültatif bakterilerin varlığı belirtilmiştir. Enterococlar, Molander ve arkadaşlarının asemptomatik periapikal lezyonlu dişlerle

yaptıkları çalışmada 100 adet dişin %68'inde üremiştir (41). Ağız ortamına açık bırakılmış kök kanallarında aerop ve ağız ortamına uyumlu mikroorganizmalar, kapalı kök kanallarında ise anaerop mikroorganizmalar çoğunluğu oluşturmaktadır (42). Mikroorganizmalar periradiküler lezyonların patolojisinde en önemli rolü oynamaktadır (2). Ana kanal içerisindeki enfektif mikroorganizmalar instrumantasyon ve irrigasyonla kolaylıkla uzaklaştırılabilmektedir. Maalesef ki durum bu kadar kolay olmamakta, bakteriler dentin tübüllerine, lateral ve aksesuar kanallara penetre olmaktadır. Tübüllere invazyon göstermesi için mikroorganizmanın hareketli bir yapıda olması şart değildir. Hatta çok derinlere dahi yerleşebilen Enterococlar hareketsiz bir özelliğe sahiptir. Geleneksel yöntemde uygulanan kemomekanik preparasyon özellikle kökün apikal üçlüsündeki mikroorganizmalar için yetersiz kalmaktadır. Bu alanlar sıklıkla molar dişlerin apikal bölgelerinde bulunmakla birlikte, bu bölgelerde biyofilm oluşturarak yaşamını sürdüren mikroorganizmalar güncel kök kanal preparasyonu, dezenfeksiyon ve kanal dolgu yöntemleri ile uzaklaştırılamamaktadır (43). Ayrıca istmus, ramifikasyon ve dentin tübülleri gibi ulaşılması güç alanlara yerleşen bakteriler kök kanal dezenfeksiyon yöntemleri ile uzaklaştırılamamaktadır (4). Mikroorganizmalar kök kanal dolgusu içinde gömülü kaldıklarında bazı dirençli türler dışında genellikle ölmekte ya da periradiküler alana girişi engellenmektedir. Dentin tübülleri ya da istmusta kalanlar ise besin kaynaklarından yoksun kaldıkları için patojenite etkeni olamamaktadırlar. Endodontik tedavinin başarısız olmasının nedeni çoğunlukla kök kanal tedavisi sonrasında geriye kalan mikroorganizmaların patojen özellikte olmaları, yeterli sayıya ulaşmaları ve periradiküler alana erişebilmeleridir (44).

Konağın savunma sisteminden kaçışta önemli bir mekanizma da biyofilm yapısıdır. Bu yapı organik ya da inorganik substratlara bağlanmış, mikrobiyal bir topluluktur (45). Endodontik mikrobiyolojide biyofilm kavramı ile tedaviye yanıt vermeyen inatçı enfeksiyonların anlaşılması mümkün olmuştur. Biyofilm oluşumu özellikle köklerin apikal üçlüsünde mevcuttur, bu da tedavinin neden mümkün olamadığını açıklayan bir durumdur. Bu zor şartlarda yaşamını idame ettirerek kök kanal tedavisinin başarısızlığına neden olabilecek birkaç tür vardır (46). Enterococcus faecalis enfekte kök kanallarından %22 ile %77 arasında görülme sıklığı ile en sık izole edilen mikroorganizmadır (47). Primer kök kanal enfeksiyonlarda sınırlı sayıda gözlenirken sekonder veya persiste kök kanal enfeksiyonlarında sıklıkla bulunmaktadır (48). Bu mikroorganizma yüksek pH değerlerinde dayanıklı, başka bakterilerin sinerjik desteğine

ihtiyaç duymadan yaşamını sürdürebilen bir özelliğe sahip olduğu için konvansiyonel yöntemlerle uzaklaştırılması oldukça zordur (49). Maya benzeri mikroorganizmalar da başarısız kök kanal tedavilerinin nedeni olabilmektedir. Özellikle *Candida albicans* endodontide kullanılan birçok dezenfeksiyon yöntemine karşı dirençlidir (41, 48).

2.2.1.1. Enterococcus faecalis (E. faecalis)

E. faecalis sporsuz, fermantatif, fakültatif anaerob gram pozitif D grubu streptokoktur. Tek başına, çiftler halinde ya da zincir şeklinde olabilen oval hücrelerden oluşurlar. Bu bakteri gliserin, karbonhidrat, sitrat, malt, arginin gibi keto asit içeren kaynakları katabolize edebilir. Böylece oluşturdukları yan ürün olan asit ile buldukları ortamın pH değerini 4.1-4.6'ya kadar indirebilirler. Bu bakteriler yüksek alkali pH ve tuz ortamında dahi yaşayabilirler. 10°C'den 45°C'ye kadar hayatta kalabilirler. 60°C'de 30 dakika canlı kalabilme özellikleri mevcuttur (50).

İnsan vücudunda hemen her yerde bulunurlar. Sıklıkla oral kavite, gastrointestinal sistem ve vajinada yaygındır. Direnç gösteren sekonder enfeksiyonlardaki mikrobiyolojik flora genellikle primer kaynaklı kök kanal enfeksiyonlarından farklılık gösterir. Tedavisi başarılı olmamış endodontik lezyonlarda sıklıkla miks (karışık) bir flora mevcuttur. Genellikle oral florada gram negatif aerobik basiller baskınken, tedavisi yapılmış sekonder enfeksiyonlarda gram pozitif bakteri türlerini görmek de mümkündür. Dirençli veya sekonder enfeksiyonlarda en sık görülen bakteri türü *Enterococcus faecalis*'dir. Bu mikroorganizmanın kanal tedavisi olmamış kök kanallarında olmaması ya da çok az miktarda oluşu sekonder enfeksiyonlarda temel etken olduğunu kanıtlar (48).

Molander ve arkadaşlarının araştırmalarında periapikal lezyonlu kanal tedavisi yapılmış dişlerin mikrobiyolojisi incelenmiş ve %39 oranında fakültatif anaerob izole edilmiştir. Ayrıca dişlerin %46'sında *E. faecalis* tespit edilmiştir (41).

Mikroorganizmalar biyofilm oluştururken sert bir yüzeye tutunarak matris içine gömülürler. Biyofilm içerisindeki bir mikroorganizma genetik yapısını ve metabolizmasını ortam koşullarına göre değiştirerek, antimikrobiyal ajanlara direnç geliştirebilir. Biyofilm içerisinde büyüyen *E. faecalis*'lerde bağlanma kapasitesinde artış ve antimikrobiyallere direnç özellikleri serbest olanlara oranla artar. *E. faecalis*, biofilm

formu oluşturabilmesi, bakteriyel fagositoz, antikor, antimikrobiyallere karşı serbest yaşayan bakterilere kıyasla 1000 kat fazla direnç kabiliyeti sağlar.

Kök kanalı içerisindeki zor ortam koşullarında yaşamını sürdürebilen *E. faecalis*ler bazı virülans faktörleri içerirler. Bunlar litik enzimler, cytolsin, agregasyon maddeleri, fenomen, lipoteyik asittir. Bu bakteriler sahip oldukları virülans faktörlerini türler arasında aktararak hayatta kalabilme ve hastalık oluşturma kapasitelerine katkıda bulunurlar. Virülans faktörlerine ek olarak yaygın genetik polimorfizm göstermesi, bağlanma proteinleri içermesi, tübüllerde yerleşmeye uygun boyutlarda olması gibi özellikleri mevcuttur. Alveolar kemik ve periodontal ligamentteki serum *E. faecalis*'in tip 1 kollajen bağlantısını sağlar (51).

Kök kanal medikamanı olarak sıklıkla kullanılan kalsiyum hidroksite karşı *E. faecalis*'in hayatta kalabilmesinin nedenleri; bakteride bulunan pozitif pH homeostasisi ve proton pompa özelliğidir. Ayrıca dentin tübüllerinde pH'nın 11,5 değerlerinde tutulma zorluğu da etkilidir (52).

Aseptomatik periradiküler patolojiye sebep olan *E. faecalis*, yüksek virulansa sahip bir mikroorganizma değildir. Patojenitesinin sebebi virülansı yüksek bakterilere nazaran antimikrobiyal ajanlara karşı daha dirençli olmasıdır. Kanal tedavisi tamamlanmış fakat başarısızlıkla sonuçlanan apikal periodontitisli dişlerdeki mikrobiyolojiye ilişkin bilgiler sınırlıdır. *E. faecalis*'in semptom göstermeyen kronik apikal periodontitisle ilişkisi akut apikal periodontitis ve akut apikal apselerden daha fazladır. Primer endodontik enfeksiyonlarda %4-%40 oranında *E. faecalis* mevcutken, periradiküler lezyonlu kök kanal tedavisi yapılmış dişlerde bu oran %24- %74 değerlerine yükselmiştir. Bu değerlerin elde edilmesinde kültür alma yöntemi kullanılmıştır. Günümüzde kullanılan polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) yöntemi ile çalışılması daha doğru, hassas ve hızlı sonuçlar verecektir (51).

Kök kanal tedavisinde başarısızlığın nedeni apikal üçlüde yer alan canlı kalan mikroorganizmalardır. Primer endodontik enfeksiyonlardan farklı olarak, sekonder enfeksiyonlardaki mikroorganizmalar bir ya da daha fazla bakteri türü içermektedir. Kaufman ve arkadaşları apikal periodontitisli kanal tedavisi tamamlanmış dişlerdeki *E. faecalis* oranını kültür yöntemi kullandıklarında %37 oranında bulurken, PCR yöntemi ile baktıklarında %77 olarak tespit etmişlerdir (53).

E. faecalis kolaylıkla dentin tübüllerinde ilerleyebilir. Bu alanlara kemomekanik enstrümantasyon ve kanal içi medikaman uygulaması ile ulaşılması çok güçtür. Böylece bu alanlarda hayatta kalabilen bakteriler dolmuş yapılan kanalı tekrar enfekte edebilirler. Canlı olmayan kök dentininde dentin sıvısının oluşumu açıklanamadığı halde; bu serum benzeri sıvı, alveoler kemik ve periodontal ligamentten köken almaktadır. Bu sıvının dentin tübülleri içindeki hücreleri besleyip kuvvetlendirmesi ve hücrelerin periapikal doku hastalıklarına neden olması olasıdır (54).

E. faecalis'in kök kanalları içerisine girişi tedavi esnasında, seanslar arasında, hatta tedavi bitiminde dahi olmaktadır. *E. faecalis* enfeksiyonlarının eradike edilmesinin amaçlanması bütün tedavi aşamalarında önemlidir. Kök kanalının apikal kısmının büyük numaralara kadar prepare edilmesi, kanal içi mikroorganizmaların elimine edilmesine katkı sağlar. %3'lük NaOCl yeterli miktarda ve sürede kullanılırsa kök kanalındaki *E. faecalis* üzerinde eliminasyon yeteneğine sahiptir (55). EDTA düşük antibakteriyel etkiye sahiptir. Ancak EDTA, smear tabakasındaki inorganik tabakaya etkilidir. Böylece diğer irrigasyon ajanlarının dentin tübülleri içerisine girişine olanak sağlanır. %10 sitrik asit eklenmiş %0,1'lik sodyum benziat, *E. faecalis*'in yok edilme olasılığını artırır (56). MTAD'nin *E. faecalis*'i öldürme özelliği çalışmalarda kanıtlanmıştır. MTAD'nin antibakteriyel özelliği antikollojenaz aktivitesine, düşük pH'na ve yavaş salınım özelliğine bağlıdır. Endodontik tedavide %1.3'lük NaOCl, enstrümantasyon boyunca irrigasyon solüsyonu olarak kullanıldığında MTAD'nin etkinliği artar (55). Klorheksidinin %2'lik jeli ve sıvı konsantrasyonları kök kanal boşluğu ve dentin tübüllerindeki *E. faecalis*'in elimine edilmesinde yüksek oranda etkilidir. %2'lik klorheksidin solüsyonu, dentin tübüllerinin yüzeyel tabakasından 100 µm'luk derinliğe kadar *E. faecalis*'i dentin tübüllerinde tam anlamıyla 15 gün içerisinde elimine etmektedir (57).

E. faecalis'in elimine edilmesinde irrigasyon solüsyonlarının birlikte kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Kalsiyum hidroksitin paramonoklorfenol ile beraber kullanımı dentin tübülleri içerisindeki *E. faecalis*'i tamamen elimine edebilmiştir. %1-2'lik klorheksidin solüsyonunun kalsiyum hidroksit ile kombine kullanımı *E. faecalis*'i tam olarak yok edebilmektedir (58). Kanal dolgusu yapılmış dişlerde gelişen apikal periodontitis gibi kronik enfeksiyonların tedavisinde antibiyotik kullanımı olmaz. Kronik alveoler enfeksiyonlar pulpa boşluğuna kan akımının ulaşmadığı pulpası olmayan dişlerde görülür. Antibiyotik tedavisinin sistemik etkisini takiben kök kanalına

ulaşan konsantrasyonu son derece azdır ve bakteriyel gelişimi engellemesi de kuşkuludur. Enterococcuslar penisilini de içeren antibiyotiklere karşı direnç göstermede bir takım genetik değişikliklere sahiptir (59).

Birçok çalışmada değişik dolgu patlarının *E. faecalis*'e karşı antibakteriyel etkinlikleri değerlendirilmiştir. Roth 801 (çinkooksit öjenol esaslı dolgu patı), diğer patlarla karşılaştırıldığında *E. faecalis*'e karşı daha fazla antimikrobiyal etkisi olduğu bildirilmiştir. Epoksi rezin içerikli AH plus kanal dolgu patı ve çinko oksit öjenol içerikli Sultan marka dolgu patının her ikisinin de *E. faecalis*'e karşı iyi bir antibakteriyel etkisi olduğu bildirilmiştir. AH plus ve Grossman kanal dolgu patları enfekte dentin tübülleri içerisindeki *E. faecalis*'i öldürmede etkili bulunmuştur (60).

Sundqvist ve arkadaşları negatif kültüre sahip dişlerin tekrarlanan tedavisinde başarı oranının %80 olduğunu bildirmiştir. Pozitif bakteriyel örneklerle sahip dişlerin başarı oranı %33'tür. Kök kanallarının doldurulması esnasında izole edilen bakteriler arasında en fazla *E. faecalis* bulunmuştur. Siren ve arkadaşları ilk tedavili dişlerin ve yeniden tedavi edilmiş dişlerin kök kanallarından izole edilen en yaygın bakteri türünün *E. faecalis* olduğunu bulmuşlardır (57).

2.2.1.2. Candida albicans (C. albicans)

Tek hücreli, küre, oval veya silindirik yapıda, 2-8 x 3-15 µm boyutlarında olan mikroorganizmalar olup, çoğalmaları tomurcuklanma ile olur. Candida cinsi mantarlar bifaziktir. Konağa girmeden önce maya fazı olan Y fazında (yeast phase, saprofit fazı) bulunur. Konak dokuya yerleşir yerleşmez psödemiselyum geliştirerek hastalık yapan fazına, yani M fazına (Mycelial phase, hyphal phase) geçerler. Candida türlerinde hastalık oluşturma mekanizmaları; doku invazyonu, hipersensitivite reaksiyonu ya da güçlü Candida toksinleri ile olmaktadır (61).

C. albicans içerisinde antifungal bulunmayan tüm besiyerlerinde üreyebilir. En kolay Sabouraud's agarda, mısır unlu agarda, patatesli nişastalı dekstroz agarda ürerler. 37°C'de 1-4 gün inkübasyonun ardından tipik koloniler meydana gelir. Koloniler düzgün, grimsi beyaz, nemli görünümlü, yumuşaktır ve peynir kokuludur (35).

Lokal ve sistemik antibiyotik kullanımı, immuno-süpresif ve kemoterapi gibi ilaçların alınması, intrakanal medikamanların kullanımı ve önceden yapılmış kök kanal tedavileri kök kanallarında maya yerleşimine olanak tanımaktadır (48). *C. albicans*'lar kök kanalları içerisindeki zor şartlarda hayatta kalmasını sağlayacak mekanizmalara sahiptir. Dimorfik bir maya olan *C. albicans*, ihtiyaç duyduğu zaman hiften mayaya ya da mayadan hife dönüşerek çevresel değişikliklere kolayca adapte olabilmektedir (7). Ayrıca, diğer mikroorganizmalar ile birlikte yaşama kabiliyeti sayesinde kök kanal sistemi içerisinde hayatta kalma şansını yüksek oranda arttırmaktadır (62).

Mayalar nadirde olsa primer kök kanal enfeksiyonlarında yer alabilir, ancak kök kanal tedavisi yapılmış fakat başarısız olmuş dişlerde görülme olasılığı daha yüksektir (7). 1-6 µm çapında olan mayaların, dentin tübüllerine penetre olabildiği ve yaklaşık olarak 150 µm derine yerleşebildiği gösterilmiştir (63). Dolayısıyla dezenfeksiyon işlemlerinin etkilerinden korunabilmekte ve persiste kök kanal enfeksiyonlarında etkin rol oynayabilmektedir (7). Özellikle apikal periodontitisli kök kanal tedavisi tamamlanmış vakalarda en sık izole edilen mantar türüdür (41).

Dentin tübüllerinden, derin çürük kavitelelerinden ya da kök kanal tedavisi esnasında oral mikrofloradan kontamine olarak pulpaya girmektedirler (64). *C. albicans*'ın özellikle noninvaziv olanlarının biyofilm oluşturma özellikleri, hem diğer *Candida*'lara hem de invaziv *C. albicans* türlerine göre daha fazladır. *Candida* içeren bir biyofilmde, en altta yerleşen *C. albicans* hücreleri blastospor geliştirerek konak dokuya penetre olurlar. Böylece hem dışardan gelebilecek antifungal müdahalelerden korunurlar, hem de konak dokudaki enfeksiyonu sistematize edecek bir yapı geliştirirler (35).

C. albicans tek başına kök kanalında patojenite gösteremezken, biyofilm oluşturarak tedaviyi zorlaştırabilir (17). Klinik olarak *Candida* türlerinin kalsiyum hidroksite karşı oldukça direnç gösterebildiği, ayrıca *C. albicans* ve diğer bazı *Candida* türlerinin kalsiyum hidroksite karşı *E. faecalis*'ten daha dirençli olduğu bildirilmiştir (65).

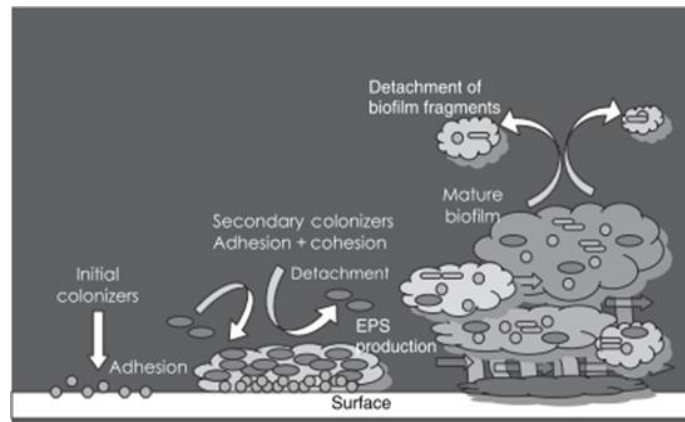
C. albicans farklı yüzeylerde biyofilm oluşturabildiği için, *C. glabrata*, *C. tropicalis*, *C. parapsilosis* gibi daha az biyofilm oluşturabilen diğer *Candida* türlerine göre daha patojenik olarak nitelendirilmektedir. *Candidalarda* Thigmotropism (temas duyusu) sayesinde, özellikle *C. albicans*'ın dokuların yüzeylerinde büyüebilmesi kolay hale gelmektedir. *C. albicans* bu özelliği ile 'dentinofilik' mikroorganizma olarak değerlendirilmekte, böylelikle dentine invaziv bir afinite göstermektedir. Dentinde

smear tabakası olduğu zaman *Candida*'nın farklı formlarında kalın bir biyofilm tabakası oluştuğu, tam tersi olarak smear tabakasının olmadığı durumlarda ise biyofilm yapısının oluşmadığı, belirgin fakat ayrı ayrı koloniler meydana geldiği bildirilmektedir. Ayrıca smear tabakası olduğu zaman *C. albicans*'ın dentine adezyonunun arttığı saptanmıştır (64).

2.2.1.3. Biyofilm

Biyofilm cansız ya da canlı yüzeylere geri dönüşümsüz olarak tutunup çoğalan mikroorganizmaların ekstrasellüler polimerik yapıdaki matris içinde birbirleriyle haberleşme, gen transkripsiyonu gibi özellikleri ile planktonik mikroorganizmalara göre daha farklı bir fenotip kazanarak oluşturduğu mikroorganizma topluluğudur. Ekstrasellüler polimerik bir maddenin (EPS) içine gömülü olan bu hücreler birbirlerine bağlı durumdadır. Biyofilm EPS'si DNA, proteinler ve polisakkaritlerden oluşan polimerik karmaşık bir yapıdır. Biyofilmler canlı veya canlı olmayan yüzeylerde oluşabilir ve doğal, endüstriyel ve hastane ortamlarında mikrobiyal hayatın baskın yönünü temsil eder. Biyofilm oluşumu dört başamakta oluşur;

- Mikroorganizmaların yüzeye adezyonu
- Koloni oluşumu ile hücre organizasyonu
- EPS (ekstrasellüler polimerik madde) salgılanması ile bu üç boyutlu yapının olgun hale gelmesi
- Hücre soyunun yayılımı



Şekil 2.1. Biyofilm gelişim basamakları

Bakteri varlığı ilk kez 17. yüzyılda Antonie von Leeuwenhoek'in kendi diş plağı kazıntılarını yaptığı mikroskopta incelemesi ile kanıtlanmıştır. Mikroorganizmalar %65-80 oranında biyofilmler oluşturabilirler. Mikroorganizmaların varlığını sürdürmesinin temel kaynağı biyofilm oluşumudur. Oysa biyofilm yapısı bu kadar önem taşıyorken mikrobiyolojik çalışmaların çoğu planktonik (serbest) yaşayan mikroorganizmalarla yapılmıştır (66).

Biyofilm içindeki bakteri toplulukları serbest yaşayan bakterilerden daha dominant yapı gösterir. Çok hücreli bir canlı gibi iş birliği içinde ve iş bölümü yaparak, gıda paylaşımı ile koordine bir şekilde yaşarlar (67).

Biyofilm tabakası içinde yer alan mikroorganizmalar için konak savunma sisteminden kurtulmak çok kolaydır (47). Serbest yaşayan hücreler, biyofilm içinde organize olan mikroorganizmalara kıyasla antimikrobiyal ajanlara ve konak savunma mekanizmalarına daha az dirençlidirler (67, 68). Tronstad ve arkadaşları kök kanal tedavisine cevap vermeyen dişleri incelediklerinde apikal üçlüde foramene yakın alanlardaki biyofilm oluşumunu rapor etmişlerdir (69).

Bu bulgular ışığında biyofilm yapısının konak savunmasından kaçışta çok avantaj sağladığı ve persiste periradiküler lezyonlara olanak tanıdığı gözlenmiştir. Periradiküler biyofilm oluşumunun klinisyen tarafından klinik olarak belirlenmesi mümkün değildir. Bu amaçla alınacak kültür yöntemi ile biyofilm oluşumu belirlenebilir. Ancak, kök kanal sisteminde de mikroorganizmaların yer aldığı ve alınan örneklerle mikroorganizma denk gelmeyeceği ihtimali unutulmamalıdır. Eğer kültür sonucu negatif sonuçlanıyorsa kanal dolgusu tamamlanmalı, ardından iyileşme gerçekleşmezse, ekstradiküler enfeksiyondan şüphelenilmelidir (45).

2.2.2. Mikrobiyal Olmayan Faktörler

Kanal tedavilerinin başarısız olmasındaki en önemli sebepler intraradiküler veya ekstraradiküler enfeksiyonlar olmakla beraber, iç veya dış kaynaklı mikrobiyal olmayan sebeplerin de başarısızlığa neden olabileceği unutulmamalıdır. Başarısızlık nedeni olarak mikrobiyal faktörler dışında, hasta ile ilgili faktörler, dişin periodontal durumu, hatalı protetik restorasyonlar ve travmatik okluzyon, tedavi ile ilgili faktörler, kanal dolgusu seviyesi, koronal sızıntı gibi etkenler sayılabilir. İyileşmemiş kök kanal

tedavilerinin bazılarında mikroorganizma varlığı görülmemiş olup başarısızlığın periradikuler dokulardaki yabancı cisim reaksiyonunu ile ilişkili olabileceği söylenmiştir.

Nair ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada iyileşmeyen bir endodontik lezyonun apikal rezeksiyonla çıkarılıp mikroskopta incelenmesi ile aslında apikalde oluşmuş bir periradiküler kist olduğu tespit edilmiştir (70). Nair ve arkadaşlarının yaptığı başka bir çalışmada, yine iyileşme gözlenmeyen periapikal lezyona sahip dişler incelendiğinde, iki vakada kök kanal sisteminde kalıcı enfeksiyon, bir vakada periapikal kist ve diğer iki vakada ise periapikal bölgede skar dokusuyla iyileşme nedeniyle başarısızlık olduğu belirtilmiştir (71). Endodontik tedavi başarısızlığının sebepleri arasında periradiküler kistler sayılabilir fakat konvansiyonel kök kanal tedavisinin ardından çoğu periradiküler kistin iyileştiği bildirilmiştir (68, 70). Ancak, inflamatuvar apikal kistlerin bazal hücreleri, sitokin ve medyatör sinyalleri olmadan kendi kendine proliferasyon göstermezler. Bu nedenle enflamatuvar apikal kistlerde de kök kanal tedavisinin ardından iyileşme olabilir (50).

Bazı durumlarda kök kanal dolgu materyalleri periradiküler dokulara taşındığı takdirde yabancı cisim reaksiyonunu başlatabilecek maddeler içerebilir (68, 72). Periradiküler lezyonun tedaviye rağmen iyileşmesini engelleyebilecek diğer yabancı cisimler; paper pointler, pamuk peletler ve bazı bitkisel kaynaklı yiyeceklerin selüloz içeriğidir (42, 72). Ayrıca bazı yiyecek parçaları ve bitki kaynaklı besinler de periapikal bölgede uzun süren semptom göstermeyen lezyon oluşturabilir (68).

İyileşmeyen periapikal enfeksiyonların başka bir mikrobiyal olmayan sebebi de, lezyonun skar dokusuyla iyileşmesidir. Periapikal skar, kök ucu ve periapikal dokularda kolonize olmuş yumuşak bağ dokusu prekürsörlerinden kaynak olarak oluşur (71).

2.3. Kök Kanal Preparasyonunun Önemi

Kök kanal preparasyonu, günümüzde biyolojik ve anatomik yapının öneminin daha iyi anlaşılmasıyla biyomekanik preparasyon şeklinde adlandırılmaktadır. Nekrotik doku, pulpa artıklarının ve mikroorganizmaların uzaklaştırılması kök kanal preparasyonunun başarısında en büyük rolü oynar. Şekillendirme işlemindeki amaç ise, hekimin kanal

dolgunu kolay bir biçimde uygulayabilmesi ve kök kanal irrigasyon ajanları ile etkin bir dezenfeksiyon sağlaması için uygun bir kavitenin oluşturulmasıdır.

Başarılı ve etkili bir kök kanal sekillendirme boşaltma işlemini de kolaylaştırır. Tam bir boşaltma sağlandığında organik materyalle birlikte, mikroorganizmalar da uzaklaştırılarak mekanik dezenfeksiyon sağlanır.

Kök kanal tedavisi esnasında klinisyenin en çok zaman harcayacağı tedavi evresi kanal preparasyonudur. İdeal preparasyon yapılmış bir kök kanalının sahip olması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir;

- Kök kanal yapısının orjinal hatlarını taşımalıdır.
- Kanal dolgu maddelerinin kolayca yerleştirilebileceği bir şekil göstermelidir.
- Genişletme işleminin sonunda en dar ebatlarının apikalde çoğu defa dentin-sement birleşimine yakın olan apikal daralım bölgesinde bulunduğu bir kanal şekli ortaya çıkmalıdır.
- Kanal preparasyonu, kök boyunca geride kalan diş yapılarına en yüksek dayanıklılığı sağlayacak bir genişlik göstermelidir.
- Herhangi bir artık doku bırakılmamalıdır.
- Apikal daralım bölgesine doğru daralan düzgün tersine konik bir şekil sağlanmalıdır.
- Apikal preparasyon ebatları orijinal değerlerini kaybetmeden koronale doğru irrigan ve ilaçların taşırılmayacağı, kök kanal dolgunun ideal olarak yerleştirileceği ebatlara kadar genişletilmelidir.
- Kök kanallarında basamak oluşumu, perforasyon meydana gelmemeli ve alet kırılmamalıdır.

Kök kanal tedavisinde, kanalda mevcut olan bakteri yükünü patojen olmayacak değerlere indirip, periapikal iyileşmeye yardımcı olmak esas amaçtır (1).

Endodontik vakalarda, sadece mekanik yöntemle dezenfeksiyon sağlamak mümkün değildir. Çünkü kullanılan enstrümanlar, kök kanalının tüm iç yüzeylerine temas etmez. Bu nedenle kimyasal olarak aktif irriganlar, mikroorganizmalar üzerinde antibakteriyel amaçlı kullanılmaktadır. Kök kanalının mekanik enstrümantasyonu, antibakteriyel irriganların bütün kanal düzensizliklerine nüfuz edebilmesi için bir giriş yolu oluşturur.

Ayrıca pansuman maddeleri ve kanal dolgusunun uygulanabileceği bir alan oluşturur (73).

2.3.1. Kök Kanal Preparasyon Yöntemleri

Apikal genişletmenin öncelikli yapıldığı teknikler

2.3.1.1. Standardize preparasyon tekniği

Çoğunlukla düz kanallarda tercih edilen bu yöntemde genişletme için sıra ile büyüyen kanal aletleri kullanılarak çalışma prensiplerine uygun bir şekilde, aynı çalışma uzunluğunda kök kanalları genişletilir. Fizyolojik foramen apikaleye kadar uzanan ilk kanal aletinin numarası kök kanal genişletme için ilk kullanılan kanal aletidir. Bu preparasyonda gittikçe büyüyen eğelerin kanalda aynı çalışma boyunda kullanılmaları ile apikal kısımda 'apikal stop' olarak isimlendirilen bir basamak formu oluşturulur. Genişletmenin hangi numarada tamamlandığına dair bilgi yoktur. Genişletmenin bitirileceği kanal aletinin numarası klinisyene bağlıdır (74).

2.3.1.2. Step-Back tekniği

Günümüzde eğimli kanalların biyomekanik preparasyonunda kullanılan bu yöntemde amaç kanalın en dar yeri olarak tarif edilen apikal konstruksiyondan başlayarak apikalden koronale genişleyen bir kanal yapısı oluşturmaktır. Şekillendirmenin tamamlanmasıyla kök kanalları fizyolojik foramen apikaleden başlayarak koronale doğru açılan konik şeklini alır (74).

2.3.1.3. Dengelenmiş kuvvet tekniği (Balanced-Force)

Ucu yuvarlatılmış ve üçgen kesiti ile esnekliği arttırılmış eğe (Flex R eğe) kullanarak saat yönünde hareketle ilerlemeyi, ters saat yönünde hareketle kesmeyi esas alan hareketlerle tarif edilen bu yöntem apikal transportasyon ve zip oluşumunu engellemek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Birbirini izleyen üç temel hareket vardır;

- Kanal aletinin saat yönünde hareket ettirilerek kök kanalı içerisine yerleştirilmesi,

- Apikal baskı uygulanan kanal aletinin saat yönünün tersine hareket ettirilmesiyle dentinin kesilmesi,
- Saat yönünde pasif hareket ile aletin kanaldan uzaklaştırılması ve debris eliminasyonu işlemidir (75).

Koronal genişletmenin öncelikli yapıldığı teknikler

2.3.1.4. Step-down tekniği

İlk olarak radiküler giriş için Gates Glidden frezleri kullanılır. Ardından step-back prensipleri kullanılarak apikal genişletme yapılır. Küçük aletlerden başlayarak daha büyük aletlerin sırası ile kullanılması ile koronal flaring şekli meydana gelir. Antikurvatur eğeleme prensipleri doğrultusunda eğeleme işlemi furkasyon bölgesinden uzak olacak şekilde yapılır (76).

2.3.1.5. Double-Flared tekniği

Bu preparasyon tekniği mikroorganizmaların ve biriken debrisin apikal kısımdan itilmesini önlemek için geliştirilmiştir. Eğeler büyükten küçük numaraya doğru koronal şekillendirme için apikal basınç uygulanmadan kullanılır. Koronal bölgedeki debrisin uzaklaştırılması ile kanal içeriklerinin periapikal bölgeye itilme riski en aza indirilmiştir. Daha sonra Step-back teknik kullanılarak apikal preparasyon yapılır ve elde edilen koronal ve apikal preparasyon birleştirilir (73).

2.3.1.6. Crown-down tekniği

Bu teknik daha fazla koronal genişletme ile apikal bölgeye daha rahat ulaşmak ve irrigasyon solusyonunun etkinliğini artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Koronal bölümün preparasyonunu tamamladıktan sonra çalışma uzunluğu tespit edilir. Eğeler büyük numaradan küçük numaraya doğru apikale basınç gelmeyecek şekilde sırasıyla uygulanarak belirlenen çalışma uzunluğuna ulaşılır. Apikal üçlüde genişletme daha az yapılarak çalışma uzunluğuna ulaşan ilk egeden iki numara büyük ege ile preparasyon tamamlanır (77).

Koronalden apikale uygulanan preparasyon tekniklerinin avantajları:

Saunders; korondan apikale doğru yapılan Şekillendirmenin avantajlarını Şu Şekilde sıralamıŐtır;

- Kök kanal patojenlerinin periapikal dokulara geçiş riski azaltılmaktadır.
- Kök kanal irriğanlarının penetrasyonu artmaktadır.
- İrrigasyon ajanlarının ve debrislere apikalden taŐma riski azalmaktadır.
- Preparasyon işlemi sırasında oluşabilecek çalışma boyu deęiŐiklięi riskini azaltılmaktadır.
- Elektronik apex bulucuların daha etkin olması sağlanmaktadır.
- Enstrümanların koronal bölgedeki sıkıŐma riskini azaltılmaktadır (78).

2.3.2. Ni-Ti Döner Sistemlerde Kanal Preparasyonu

Bütün Ni-Ti döner sistemlerin ana çalışma prensibi crown-down preparasyon yöntemidir (73). Crown-down tekniğinde geniş tepe açılı (taper) eğeler kullanılarak koronal dentinin Şekillendirilmesi daha küçük eğelerin apikal ulye ulaŐmasını kolaylaştırmaktadır. Böylece mikroorganizmaların ve debrisin apikale taŐma riski minimuma indirilmiŐ olacaktır. Saunders, crown-down tekniği ile Ni-Ti döner sistem eğelerin kullanım prensiplerini Şu Şekilde zetlemiŐtir;

- Koronal kanal kısmına düz bir giriş sağlanmalı,
- Kanal küçük boy ISO el eğesi ile kontrol edilmeli,
- Eğe kanala giriş ve çıkış esnasında çalıŐır vaziyette olmalı,
- Hafif bir basınçla yavaş bir Şekilde kanal içine sokulmalı,
- Alet kanal içinde durdurulmamalı ve yeniden baŐlatılmamalı,
- Kullanım esnasında kayganlaŐtırıcı ajan kullanarak aşağı ve yukarı ufak hareketlerle (pecking veya gaga lama) kullanılmalı,
- Kök kanalı kuru ise alet alıŐtırılmamalı,
- Her kullanım süresi 5-7 sn olmalı ve kanal bol miktarda irriğasyon ajanı ile yıkanmalı,

- Aşırı eğimli kanallarda kullanılan ve deforme olmuş aletler tekrar kullanılmamalıdır (77).

2.3.2.1. Ni-Ti Alaşımların Tarihsel Gelişimi ve Metalurjik Özellikleri

1960'lı yılların başında W.F. Buehler tarafından geliştirilmiş olan Ni-Ti alaşımlar günümüzde kanal aletlerinin yapımında sıklıkla tercih edilmektedir. Kök kanal preparasyonunda zamandan kazanç sağlaması ve preparasyon sırasında oluşabilecek komplikasyonları en aza indirmesi avantajlarıdır.

Ni-Ti alaşım; ağırlıkça %54-56 (ortalama %55) nikel ve %45 titanyum metallerinin eşit sayıda atomlarının kullanılmasıyla meydana gelir. Bazı Ni-Ti alaşımlarda ağırlıkça %2 oranında kullanılan kobalt nikel yer değiştirebilir. 55-Nitinol isimli alaşım bunlardan en sık bilinenidir. Ni-Ti alaşımlar tüm şekil hafızalı alaşımlar gibi süperelastiklik ve şekil hafıza etkisi gibi özelliklere sahiptirler. Bu alaşımlarda iki temel bir ara olmak üzere üç farklı mikrokristal faz yapısı bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda veya düşük stres değerlerinde austenit faz (ana faz) olarak adlandırılan, kararlı, gövdesel merkezli kübik kafes yapıdadırlar. Düşük sıcaklıklar ve yüksek streslerde meydana gelen diğer kristal yapı olan martensit faz (yavru faz) "monoclinic" (birbirine eşit olmayan üç ayrıtı bulunan kristal oluşum) olarak tarif edilen atomların dizilişinde düşük simetri gösteren karmaşık bir yapıya sahiptir (79).

Alaşım farklı fazlarda farklı mekanik özelliklere sahiptir. Martensitik formda Ni-Ti alaşım daha kolay deforme olabilirken austenitik yapıdaki alaşım göreceli olarak zor bükülebilir ve daha sert davranmaktadır (80).

R-Faz (Ara faz): Martensitik faz dönüşümünde kübik kafes yapısından monoklinik kafes yapısına geçiş sırasında ya da aksine austenitik faz dönüşümlerinde R-faz olarak belirtilen özel bir geçiş fazı görülebilmektedir. Bu faz ısıtma işlemi sonrası martensitten austenite ileri transformasyon ve soğutma işlemi sonrası austenitten martensite ters transformasyon esnasında meydana gelen rhombohedral bir yapıdır (79).

Bu faz üç şekilde meydana gelir. Birincisi alaşıma soğuk şekil verme sonrasında tavlama işlemi yapılması, ikincisi alaşımdaki nikel oranının atomca %50.5 ve daha fazla olduğu bölgede yaşlandırma işlemi yapılması, üçüncüsü döküm esnasında alaşıma

martensitik dönüşüm sıcaklığını azaltacak üçüncü elementlerin eklenmesidir. Ni-Ti alaşımlarda R-fazı ile düşük sıcaklık değişikliklerinde ve kısa sürede şekil değişimine olanak sağlanır (81). Ni-Ti alaşımlarda young's modül değeri R fazında austenit fazdakinden daha düşüktür. Bu özellik alaşıma esneklik ve direnç kazandırmaktadır. Dolayısıyla Ni-Ti telin kendi eksenini etrafında burulması (twisting) hareketi için en uygun faz R-fazıdır ve bu fazda tele herhangi bir bileme işlemi yapılamamaktadır (82).

M-teli:

2007 yılında bir seri ısıtılma işlemi ardından süperelastik özellik kazandırılmış 508 Ni-Ti alaşımının modifiye edilmesi ile üretilmiştir. Gerilme dayanıklılığı ve yorulma direnci geleneksel süperelastik alaşıma oranla daha yüksektir. M-telinin Af sıcaklık değeri 50°C'dir (79). ProFile GT X serisi bu alaşımdan yapılmış ilk ege sistemidir. Profile Vortex ve Vortex Blue eğerler bu alaşımdan üretilen diğer ege sistemlerine örnek verilebilir.

CM-teli:

2010 yılında nikel oranı değiştirilmiş Ni-Ti alaşımının özel bir takım termomekanik işlemlerden geçirilmesi sonucu meydana gelmiştir. CM-telinden üretilen sistemlerin Ni-Ti eğerlerde olan şekil hafızası özellikleri yoktur. Sadece esneklik özellikleri ile ön plana çıkmışlardır. Ni-Ti döner aletlerde nikel içeriği ağırlık olarak %54.5-57 oranında iken, CM alaşımlarda bu oran %51-52'dir. Bu farklı oran ile beraberinde uygulanan termomekanik işlemler CM-telinin Af sıcaklık değerinin 55°C'ye yükselmesine neden olmuştur. Dolayısıyla CM-telinden yapılan eğerler normal klinik koşullarda austenit kristaller içeren martensitik yapıda bulunmaktadır.

CM-Telinden yapılan Ni-Ti eğerler, aşırı dirence maruz kaldıklarında spiraller düzleşir. Isı uygulandığında bu deformasyonlar hızlıca geri çevrilebilir ve aletler orijinal şekline geri döndürülebilir. Geleneksel Ni-Ti eğerlere kıyasla döngüsel yorgunluğa %300 daha dirençlidirler. HyFlex CM bu telle yapılmış sistemlere bir örnektir (83).

R-faz üretimli tel:

Ni-Ti döner eğelerin klinik performansını artırmak amacı ile ısı uygulayarak plastik deformasyona uğratılması ile 2008 yılında geliştirilmiştir. Bu deformasyon işlemi paslanmaz çelik K-eğeler ve reamerlara benzer şekilde burma hareketi (twisting) ile yapılmaktadır (84). R-fazının bu işlem için en uygun faz olduğu düşünülmektedir. Elde edilmesi zor olan bu fazda gerekli olan ısının uygulanmasıyla geleneksel Ni-Ti alaşımın rhombohedral yapısı stabilize edilebilmiştir. Bu eğerlerde sap ve gövde kısmı tek parçadan ibarettir. 17°C civarında olan Af sıcaklık değeri nedeniyle klinik koşullarda austenit fazda bulunurlar (79).

2.3.2.1. Reciproc Sistem

Reciproc sistem, bir motor (VDW Silver Reciproc Endomotor), 6:1 redüksiyonlu bir angldrüva (VDW Silver Reciproc Angldrüva), üç adet ege (R25, R40, R50), eğerlerle uyumlu Reciproc kağıt konlar ve Reciproc guta-perka konlardan oluşmaktadır. Eğeler geleneksel Ni-Ti' ye göre daha yüksek esneklik ve döngüsel yorgunluk direnci sağlayan Ni-Ti M-Telinden üretilmektedir. S-şekilli enine kesitli, kesici olmayan uç yapısına ve keskin 2 adet kesici kenara sahiptir.

Resiprokasyon hareketiyle kullanılmak üzere özel olarak dizayn edilmiş ege sistemleridir. Saat yönü tersi yönde, daha geniş açıyla (150°) döndüğünde kanalda ilerler ve dentini kesmek için dentine saplanır. Saat yönünde hareketinde ise daha küçük açıyla (30°) döner ve kanalın dışına doğru çevrilip çıkarılarak tekrar serbest bırakılır. Ege sistemi dizaynında kesme yöndeki dönme açısı, egenin elastik limitinden daha küçük olacak şekilde ayarlanmıştır. Sistem eğeleri, 11 mm'lik kısa bir sapa sahiptir. Dolayısıyla 13 mm ya da daha uzun sapa sahip diğer eğerlerle karşılaştırıldığında, büyük azı dişlerde daha kolay giriş ve çalışma olanağı sağlayabilmektedirler. Eğelerin diğer bir özelliği, sap kısmında bulunan renkli plastik banttır. Üzerinde resiprokasyon hareketinin tamamlanmasını sağlayan üç oluk açılmış silikon stoper ege angldrüvaya yerleştirildiğinde tanınmasını sağlar. Kök kanal tedavisinde kullanılan bir adet Reciproc egesi birden fazla döner enstrümanın yaptığı işlemi yapabilir. Bu durum daha fazla döngüsel yorgunluğa uğramasına neden olmaktadır. Bu nedenle bir kök kanal preparasyonunun ardından tekrar kullanılmamalıdır. Piyasada Reciproc eğerler önceden

sterilize edilmiş blister paketler halinde bulunur. Eğin otoklavlanması halinde, sapındaki renkli plastik bant şişip deforme olmakta ve angldrüyaya tekrar yerleştirilememektedir. Bu durum, birden fazla vakada tekrarlayan kullanım nedeniyle oluşabilecek yorgunluk kırığı ihtimalini ve hastalar arası çapraz enfeksiyon oluşma riskini ortadan kaldırmaya yönelik bir güvenlik özelliğidir (85).

2.4. Kök Kanal İrrigasyonunun Önemi

Bir kanal tedavisinin başarılı olması mekanik preparasyon, irrigasyon ve kanal içi dezenfektan ile sterilizasyonu takiben sızdırmaz şekilde doldurulması gibi işlemlerin eksiksiz olarak yapılmasına bağlıdır. Kök kanallarının temizlenip şekillendirilmesinde genişletme yaparken kullanılan aletlerin yanı sıra etkili bir yıkamanın da yapılması şarttır. Ancak mikroorganizmaların bu işlemlerle tamamıyla yok edilmesi mümkün değildir (86).

Oval şekilli kanalların preparasyonu esnasında apikal kök duvarlarının sadece %40'ında kanal aletleriyle temizlik sağlanabilmektedir. Diş yapısındaki anatomik varyasyonlar, lateral ve aksesuar kanallar, düzensiz yapılar nedeni ile mekanik olarak uzaklaştırılmayan pulpa ve enfekte dentin artıkları mikroorganizmalar için besin kaynağı rolü görerek dezenfeksiyonu güçleştirmektedir. İrrigasyon solusyonu mekanik olarak uzaklaştırılmayan bu artıkların kanaldan uzaklaştırılması için kolaylık sağlayarak kök kanal dezenfeksiyonuna katkıda bulunmaktadır. Ancak kök kanalı içerisindeki kemomekanik dezenfeksiyon önemli olsa da dentin tübülleri içerisine yerleşen mikroorganizmalara etkisi çok sınırlıdır (87).

İrrigasyon solusyonunun yararları;

- Enfekte pulpa dokusu, debris, dentin kollajeni, biyofilm ve inorganik dentini çözerek kanaldan uzaklaştırır.
- Mikroorganizmaların düzensiz dentin duvarında tutunma yeteneğini azaltarak kanaldan daha kolay uzaklaştırılmasını ve antimikrobiyal etkiyi sağlar.
- Kanal aletlerinin lubrikasyonla çalışmaları kolaylaştırılmaktadır. Oluşan ıslatma ile işlemsel komplikasyonlar azalır ve aletin kesme etkinliği artar.

- Kanalda kullanılan antiseptik pansumanların etkinlikleri artırılmaktadır. Bazı sıvılar smear tabakasını uzaklaştırarak dezenfektanların dentin tübülleri içerisine yayılmalarını kolaylaştırmaktadır.
- İrriyanların dişleri beyazlatıcı özellikleri de dikkate alınmalıdır. Bu özellik kök kanal tedavisinin ardından dişlerin doğal renklerini kaybetmelerini engeller.
- Eğelerin kanal dallanma bölgelerine ulaşmaları oldukça güç olduğundan irriyanların doku eritici özelliği geride kalan yumuşak dokuyu ortadan kaldırarak tam bir boşaltma sağlanmakta ve kök kanal dolgusunun adezyonu da artırılmaktadır.

İdeal bir irriyasyon solusyonun özellikleri;

- Doku ve debrisi eritebilmelidir.
- Smear tabakayı kaldırabilmelidir.
- Dentin ve dentin tübülleri dezenfekte etmelidir.
- Biyofilm içerisinde anaerob ve fakültatif mikroorganizmalara karşı güçlü antimikrobiyal etkisi olmalıdır.
- Yüzey gerilimi düşük olmalıdır ve her alana kolaylıkla ulaşabilmelidir.
- Lubrikasyon özellikte olmalıdır ve kanal aletlerinin kanalda hareketini kolaylaştırmalıdır.
- Toksik özellik göstermemelidir.
- Periapikal dokularda irriyasyon oluşturacak özellikte olmamalıdır.
- Endotoksinlere karşı etkili olmalıdır.
- Kanalda kolay nötralize olarak etkisini kaybetmemelidir.
- Kök kanal dolgu materyalleri ile uyumlu olmalı bağlantılarını ve adaptasyonlarını olumsuz etkilememelidir.
- Dişte renklenme yapmamalıdır.
- Kullanımı kolay olmalıdır ve kullanıcıya zarar vermemelidir.
- Raf ömrü uzun olmalıdır.
- Maliyeti düşük olmalıdır.
- Tad ve kokusu kabul edilebilir olmalıdır (1).

Smear tabakası kök kanal preparasyonu esnasında kazınan dentinin yüzey kısmının kanaldaki diğer artık doku ve ölü mikroorganizmalar ve artıklarıyla birleşip kanal duvarına sıvanması ile oluşur. Smear tabakası ortalama 1-2 µ kalınlığı bulabilir ve

dentin tübüllerinde ise 40 µ kalınlıĝa ilerleyebilen bir katman oluşturabilir (88). Bazı araştırmacılar, smear tabakasının dentin tübül aĝızlarını kapatarak, dentin geirgenliĝini azaltmasıyla bakteriyel veya toksin geçişini sınırladıĝını  ne sürmektedirler (89). Ancak preparasyon işleminin ardından bakterilerin, smear tabakası ve dentin tübülleri içerisinde tekrardan oĝalabileceĝi gösterilmiştir. Ayrıca smear tabakasının çok iyi bir bariyer olmadıĝını, bakterilerin bu tabakayı ařabileceĝi de bildirilmiştir. Bazı araştırmacılar ise smear tabakasının kanal içi dezenfektanların dentin tübülleri içinde yerleşen mikroorganizmalara etkisini engellediĝini  ne sürmüşlerdir (90).

Bu araştırmacılara göre;

- Smear tabakasının yüksek su ieriĝi nedeni ile standart bir kalınlıĝı olduĝu söylenemez.
- Smear tabakası içerisinde yer alan bakteri ve ürünleri diĝer bakteriler için besin kaynaĝı olarak kullanılabilir.
- Dezenfektanların tübül içerisine etkisini sınırlamaktadır.
- Kök kanal dolgu materyallerininin kök kanal duvarına tam anlamıyla adaptasyonuna engel olmaktadır.

Sodyum hipoklorit güçlü bir doku çözücü olmasına ve kök preparasyonunda oluşan yüzeyel debris temizleyebilmesine raĝmen, smear tabakası üzerinde hiçbir etkiye sahip deĝildir (91). Erbiyum lazerler ise kök kanalındaki hücreleri buharlaştırmakta ve smear tabakasını kaldırmaktadır. Kök kanallarında kullanılan lazer sistemlerinin dezavantajı ise dentin yapısında erime, karbonlaşma ve rekristalizasyon gibi çeşitli sonuçlar oluşturmasıdır. Ayrıca dar kanallarda geniş uç kullanımı mümkün deĝildir (92).

2.4.1. Endodontide Kullanılan İrrigasyon Ajanları

Kök kanallarında yer alan debris ve artıkların uzaklaştırılması amacıyla çeşitli irrigasyon yöntemleri ve kimyasal ajanlar önerilmiştir. Bu irrigasyon solusyonları asitler, şelasyon ajanları, proteolitik enzimler, alkalin solusyonlar ve oksitleyici ajanlar olarak sınıflandırılabilir. NaOCl günümüzde hem antimikrobiyal  zelliĝi hem de dokularda kolay  z lebilirliĝi nedeniyle sıklıkla kullanılan bir irrigasyon ajanıdır (86).

2.4.1.1. EDTA

EDTA (Etilen diamin tetraasetik asit) en etkili şelasyon ajanı olup günümüzde sıklıkla tercih edilmektedir. Endodontik olarak kullanımındaki amaç smear tabakasını uzaklaştırmak ve dentin duvarlarının dezenfeksiyonunu artırmaktır. Endodontide %15-17'lik kullanımı önerilen bu ajanın hem visköz hem sıvı formları mevcuttur ve dentinden kalsiyum ve magnezyum moleküllerini uzaklaştırarak inorganik çözücü etkisi gösterir (93).

EDTA sınırlı antimikrobiyal etkiye sahiptir. EDTA ve üre peroksit birlikteliği (Rc-Prep) kök kanallarında etkili bir lubrikasyon ve temizleme ile antiseptiklerin daha derinlere yayılımını sağlayabilmektedir. EDTA'nın antimikrobiyal etkisi Gr(-) bakterilerin hücre membranındaki katyonlarla birleşerek lipopolisakkaritlerin açığa çıkması şeklindedir. Ayrıca EDTA'nın aeroplarda üzerinde çok az etkisi varken, anaeroplara etkisi daha fazladır. Seelan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada farklı irrigasyon ajanlarının Enterococcus faecalis üzerindeki antibakteriyel etkileri karşılaştırılmış ve sonuç olarak NaOCl, EDTA ve CHX'in birlikte kullanımının maximum antibakteriyel etkiye sahip olduğu bulunmuştur (94). EDTA'nın bir dakikalık kullanımı smear tabakayı kaldırmada oldukça etkilidir (93).

2.4.1.2. Sitrik Asit

Günümüzde asit solusyonlar içinde en sık kullanılanı sitrik asittir. NaOCl'den daha etkili bir şekilde smear tabakayı kaldırmasına rağmen antimikrobiyal olarak daha dar bir spektruma sahiptir. Özellikle Candida albicans üzerinde hiçbir etkisi yoktur (1).

2.4.1.3. Tetrasiklin

Geniş spektrumlu antimikrobiyal etkiye sahip olan tetrasiklin, ayrıca kök kanallarında kalsiyum şelatörü olarak etki göstererek mine ve dentin demineralizasyonuna neden olur (1).

2.4.1.4. MTAD

Final irrigasyonunda kullanılan MTAD içeriğinde %3 doxycycline hyclate, %4.25 sitrik asit ve %0.05 polysorbate=tween 80 içeren, dentin erozyonuna neden olmadan smear tabakayı kaldıran, antimikrobiyal bir ajandır. MTAD doksisisiklin içeriğinden dolayı bakteriyostatik bir ajan olup hem Gr(+) hem de Gr(-) bakterilere etkilidir, fakat mantarlara etkili değildir. MTAD'nin antimikrobiyal özellikleri geleneksel mikrobiyal yöntemler kullanılarak EDTA ve NaOCl ile karşılaştırıldığında daha etkili bulunmuştur. MTAD'nin *Enterococcus faecalis* üzerine antibakteriyel etkisi ile ilgili birçok çalışma vardır. Yapılan bu çalışmalarda MTAD'nin *E.faecalis* üzerinde etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Krause ve arkadaşları MTAD'nin iki bileşeni doksisisiklin, sitrik asit ve NaOCl'yi *E. faecalis* ile enfekte edilmiş örneklerle uygulayarak antimikrobiyal etki olarak dentin yüzeyinde NaOCl ve doksisisiklin, serum fizyolojikten daha etkili bulunurken, daha derinlerde NaOCl'i daha etkili bulmuşlardır.

MTAD'nin *Candida albicans* üzerine antibakteriyel etkisi üzerine yapılan çalışmalar yetersizdir. Ruff ve arkadaşları NaOCl ve klorheksidinin antifungal etkilerinin eşit miktarda aynı olduğunu, MTAD ve %17'lik EDTA'dan ise anlamlı olarak fazla olduğunu yaptıkları çalışmada rapor etmişlerdir (95).

2.4.1.5. Sodyum Hipoklorit (NaOCl)

Sodyum hipoklorit, dilüe kostik sodada sıvı veya gaz halinde bulunan klorinle reaksiyona girmesi sonucu oluşan bir sıvıdır. Endodontide ilk defa Walker tarafından 1936 yılında kullanımı önerilmiştir. NaOCl, organik dokuları çözme başarısı, düşük yüzey gerilimi ile iyi dentin difüzyonu, ucuz olması, antiseptik olması, makul raf ömrüne sahip olması gibi özellikleri sayesinde tüm dünyada kök kanal tedavisinde en sık kullanılan irrigasyon ajanı olmuştur. Ek olarak kök kanallarının şekillendirme ve genişletilmesi işlemlerinde, antimikrobiyal olarak arındırılmasında ve kanal içi pansumanında kullanılmaktadır (96, 97).

NaOCl antimikrobiyal özelliği sayesinde kök kanal tedavisinde vazgeçilmez bir noktadadır. Etki mekanizması mikroorganizmaların hücre proteinlerini oksitlemesi ve hidrolize etmesi şeklindedir. Hipertonikliği sayesinde ozmotik olarak hücre sıvılarını çeker. pH aralığının 11-12 aralığında olması aynı şekilde bakterilerin peptit bağlarının

kopmasına neden olarak antibakteriyel özelliğini artırmaktadır. Ayrıca NaOCl çok geniş spektruma sahip olduğu için bakteri, bakteriofaj, virüs, mantar ve sporlara karşı antimikrobiyal etki gösterir (1).

NaOCl'nin klinik kullanımı birçok çalışmaya konu olmuştur. Byström ve Sundqvist'in yaptıkları çalışmada NaOCl'in klinik olarak kullanıldığı 60 hastada %0.5 ile %5'lik konsantrasyonların antimikrobiyal özellikleri karşılaştırılmış fakat anlamlı bir fark bulunamamıştır (98).

Heggens ve arkadaşları NaOCl'in antibakteriyel özellik gösterdiği konsantrasyon aralığı ile ilgili yaptıkları çalışmada %0.0025 konsantrasyonda dahi antibakteriyel etki sağlandığını ve bu aralıkta dokularda hiç toksik özellik oluşturmadığını rapor etmişlerdir (99).

Zielke ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada genişletilmiş kök kanallarında NaOCl ve H₂O₂'nin ardarda kullanılması ile %90 antibakteriyel etki oluştuğunu rapor etmişlerdir (100).

NaOCl nekrotik pulpa dokusunun uzaklaştırılmasında oldukça etkili bir ajandır. %3'lük konsantrasyonda kullanıldığında sitrik asite oranla yedi kat fazla doku eritme özelliği mevcuttur. Çalışmalara göre NaOCl'in %2.2 konsantrasyonuna kadar seyreltilmesinin, doku eritme gücüne etkisini değiştirmedığını, ancak %0.5 konsantrasyondaki NaOCl solusyonunun etkisinin çok az olduğunu bildirmişlerdir (101).

NaOCl'in hangi konsantrasyon aralığında kullanılması gerektiği hakkında net bir bilgi hala yoktur. Birçok çalışmada %5.25'lik değer kullanılması gerektiği belirtilirken, bazılarında %3 hatta %0.5'lik konsantrasyon yeterli bulunmuştur (11).

Hand ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada NaOCl'in farklı konsantrasyonlarının doku eritme özelliklerini kıyaslamış ve %2.5 konsantrasyonun %5.25'lik konsantrasyondan yaklaşık üçde bir oranda daha az etkili olduğu sonucuna varmıştır (102).

Rosenfeld ve arkadaşları ise %5.25'lik NaOCl solusyonunun vital pulpa dokusu üzerindeki çözücü etkisini araştırmış ve sonuç olarak başarılı bulmuşlardır, fakat aynı başarıyı kök kanalındaki pulpa için gösterememiştir (103).

Yine başka bir çalışmada fikse edilmiş nekrotik dokuların ilk 30 dakika içinde %1'lik NaOCl çözeltisiyle yarısından azı, %2'lik NaOCl çözeltisiyle %80'i, %3'lük NaOCl çözeltisiyle hemen hemen tamamı çözülmüştür (104).

NaOCl doku çözücü etkisini artırmak için ısıtılarak kullanımı düşünülmüştür. Abou-Rass ve Oglesby yaptıkları çalışmada NaOCl'in yoğunluk ya da ısısındaki artışın ve tazeliğinin doku çözmedeki etkisine katkısı olup olmadığını araştırmışlardır. Sonuç olarak taze dokunun en hızlı çözüldüğünü, nekrotik dokunun orta fikse dokunun ise en az çözüldüğünü görmüşlerdir (105).

NaOCl smear tabakasını tek başına kaldıramaz, fakat EDTA ve sitrik asit ile birlikte kullanılırsa smear tabakanın organik kısmına da etki ederek kaldırılmasına yardımcı olur (33). NaOCl irrigasyonu endodontide çok önemli bir yere sahiptir. Fakat dezavantajları da mevcuttur. Canlı dokular üzerinde toksik etkisi zararlara yol açmaktadır. Klinikte kullanılan %5.25 konsantrasyonda NaOCl antibakteriyel olarak başarılı olmasına rağmen kullanım sonrası periradiküler dokularda irritasyon ve ağrı oluşturduğu rapor edilmiştir. Ayrıca sahip olduğu pH aralığı da protein oksidasyonu ile hasara yol açmaktadır. Kullanımı sırasında hasta ya da hekimin kıyafetlerine zarar verme ve göz teması gibi komplikasyonlar da gelişebilir. Tedavi esnasında yanlış kullanım nedeni ile NaOCl'in apeksten taşırılması istenmeyen bir durumdur. Böyle bir durumda ani gelişen ilk 2-5 dakikası çok şiddetli olan bir ağrı oluşur ve ardından hızlı bir ödem gelişir. Dokular arasında sızıntı oluşması ile ekimoz tablosu oluşabilir. Böyle bir durumla karşılaşılması durumunda tedavi hemen durdurulmalı ve hasta bilgilendirilmelidir. Alana ilk olarak soğuk sonraki aşamalarda ılık serum fizyolojik uygulanması ve ardından sekonder enfeksiyon oluşmaması için antibiyotik tedavisi başlanmalıdır. Kortikosteroid kullanımı da düşünülebilir. Bunun dışında gelişebilecek komplikasyonlar, şiddetli ağrı, yanma hissi, ateş, hızlı ödem, nekroz, hematoma, olasılıkla sekonder enfeksiyon, geri dönüşebilir anestezi durumu veya olası parestezi ve apseler olarak sayılabilir. NaOCl ile alerjik reaksiyon gelişebileceğine dair vakalar mevcuttur. NaOCl'in çok kötü koku ve tada sahip olması dezavantajları arasındadır. Ayrıca metalleri korozyona uğratabilmektedir (106).

NaOCl'in birçok ajanla kullanımı ile etkinliğinin artabileceği de bildirilmiştir. NaOCl'in beraber kullanıldığı bir irrigasyon ajanı klorheksidindir. Birlikte kullanımlarındaki amaç antibakteriyel etkinliğin artırılmasıdır. Kuruvilla 'nın yaptığı

çalışmada %2.5'lik NaOCl'in %0.2'lik klorheksidinle beraber kullanımının ayrı ayrı kullanımlarındaki oluşturdukları antibakteriyel etkiden daha fazla olduğu rapor edilmiştir (107). Bu işlemin komplikasyonu ise kök kanalında kalan NaOCl'in tamamen uzaklaştırılmaması ve hemen arkasından klorheksidin uygulanması ile oluşan çökeltidir. Asit baz reaksiyonu ile oluşan bu çökelti para-kloroanilindir (PCA) (107).

NaOCl'in birlikte kullanıldığı bir diğer ajan EDTA'dır. Beraber kullanımları EDTA'nın etkisini artırırken NaOCl'in doku eritme özelliğini kaybetmesine neden olmaktadır. Bu nedenle beraber kullanmak yerine ayrı kullanımları önerilmektedir. Kök kanal preparasyonunun ardından final irrigasyonu olarak NaOCl'in kullanılması temiz kök kanal duvarları sağlamaktadır. Ancak NaOCl'in oluşturduğu komplikasyonları engellemek için NaOCl'in seyreltilmesi etkinliğini azaltacaktır (1).

NaOCl'in antibakteriyel etkinliği konusunda ise literatürde farklı çalışmalar mevcuttur. Bazı çalışmalarda bazı hedef mikroorganizmalar düşük konsantrasyonlarda dahi kısa süre içerisinde tahrip edilirken, bu etki için daha uzun bir süreye ihtiyaç olduğunu savunan kaynaklar da mevcuttur (108). Ayrıca kök kanallarındaki organik kalıntıların miktarının da fazla olması NaOCl'in etkisini azaltır. Siqueira ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, instrumentasyon ile %1, %2.5 ve %5.25 oranında NaOCl irrigasyonunun bakteriyel azalma üzerindeki etkisini in vitro olarak karşılaştırmışlardır. Tüm değerlerde bakteriyel bir azalma olduğu, fakat %5.25'lik NaOCl'in en başarılı olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuca göre düşük konsantrasyondaki NaOCl'in antibakteriyel olarak etkinliğini artırmak için solüsyon miktarının ve uygulama sıklığının artırılması gerekmektedir (56).

Gomes ve arkadaşları in vitro olarak yaptıkları bir araştırmada, farklı konsantrasyonlarda (%0.5, %1, %2.5, %5.25) NaOCl ile iki farklı formda (jel ve sıvı) ve üç farklı konsantrasyonda (%0.2, %1, %2) klorheksidin glukonat'ın *E. faecalis* üzerindeki etkilerini gözlemlemişlerdir. Tüm konsantrasyonlardaki sıvı formdaki klorheksidin glukonat'ın ve %5.25'lik NaOCl'in 30 saniyeden az bir sürede antibakteriyel etki gösterdikleri rapor edilmiştir. Sonuçta *E. faecalis*'in eliminasyonu için gereken sürenin kullanılan irrigasyon solüsyonunun tipine ve konsantrasyonuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir (109).

Radcliffe ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada ise, farklı konsantrasyonlarda NaOCl'in *Actinomyces naeslundii*, *C. albicans* ve *E. faecalis* mikroorganizmaları

üzerindeki etkisine bakılmıştır. NaOCl, *A. naeslundii* ve *C. albicans* üzerinde tüm konsantrasyonlarda 10 saniyenin altında etkili olurken, *E. faecalis* üzerinde %0.5'lik NaOCl ile 30 dakikada, %1'lik NaOCl ile 10 dakikada, %2.5'luk NaOCl ile 5 dakikada ve %5.25'lik NaOCl ile 2 dakikada etkili olabildiği sonucuna varılmıştır (96).

Berber ve arkadaşlarının yaptıkları bir araştırmada, %0.5, %2.5 ve %5.25 oranında NaOCl'in instrumentasyon teknikleriyle birlikte uygulanmasıyla *E. faecalis* üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonunda %5.25'lik NaOCl en başarılı irrigasyon solüsyonu olarak bulunmuştur. NaOCl'in yüksek konsantrasyonlarda kullanılması uygulanan preparasyon tekniğinden bağımsız olarak dentin tübüllerini dezenfekte edebildiği sonucuna varılmıştır (110).

Clegg ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, %6, %3, %1 oranında NaOCl'in, %2'lik klorheksidin'in ve BioPure MTAD'in polimikrobiyal biyofilm üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada sadece %6 konsantrasyonundaki NaOCl'in hem bakteri eliminasyonunda hem de biyofilmin kaldırılmasında başarılı olduğu sonucuna varılmıştır (111).

Retamozo ve arkadaşları yaptıkları çalışmada *E. faecalis*'i sığır dentin silindirlerinden uzaklaştırmak için gerekli olan minimum konsantrasyon ve süreyi belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada konsantrasyonlar 5 dakikadan 40 dakikaya kadar temas sürelerinde uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda yalnızca %5.25'lik NaOCl solüsyonunun 40 dakika uygulanması ile *E. faecalis*'in elimine edildiği bildirilmiştir. Bu çalışma ile %1.3 veya %2.5 NaOCl solüsyonlarının 40 dakikanın altında uygulanması ile antibakteriyel etki sağlamadığı rapor edilmiştir. Çalışmanın sonunda NaOCl'in *E. faecalis* üzerinde büyük oranda etki sağlayabilmesi için yüksek konsantrasyon ve uzun uygulama süresi gerektiği sonucuna varılmıştır (112).

2.4.1.6. Octenidin Dihidroklorit

Geniş spektruma sahip özellikle mayalar üzerinde etkili olmak üzere antibakteriyel bir ajandır. Antibakteriyel etkisi klorheksidine benzer şekildedir. Alaçam ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada direk pulpa tedavisinde kalsiyum hidroksit'in altında kanama kontrolü için kullanılan serum fizyolojik ile klorheksidin glukonat, sodyum hipoklorit ve octenidine dihidroklorit'in etkinliklerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak tüm

solusyonlar pulpa iyileşmesinde serum fizyolojiktan daha etkin bulunmuştur (113). Lucena ve arkadaşları *E. faecalis* ile enfekte köklere kalsiyum hidroksitin etkili olmadığını, klorheksidin pansumanlarının daha etkili olduğunu, octenidine jelin ise en iyi sonuçları verdiğini bildirmişlerdir (114).

2.4.1.7. Klorheksidin glukonat (CHX)

Klorheksidin, antimikrobiyal etkinliğini en çok pH 5,5-7,0 aralığında gösteren geniş spektrumlu, irritasyon özelliği çok az olan sentetik katyonik bisguaniddir. Katyonik özellikte olan bu ajan, antibakteriyel özelliğini bakterilerin anyonik bileşiklerine bağlanarak hücre bütünlüğünü bozarak ve osmotik dengeyi değiştirerek gösterir. NaOCl'in aksine CHX'in antibakteriyel etkisi geçici değildir. Kanalların %2 ve %0.12'lik CHX ile yıkanmasının ardından antimikrobiyal etki 72 saate kadar devam eder (115). Bakteriyostatik etki düşük konsantrasyonlarda kendini gösterirken konsantrasyon arttıkça stoplazmadaki organellerin çökmesine neden olarak bakterisid etki gösterir. Ayrıca hem organik hem de inorganik yapıya bağlanma yeteneğine sahiptir. 1994 yılında Jeanson ve White yaptıkları çalışmada %2'lik klorheksidin glukonat solusyonunun %5.25'lik NaOCl'e eşdeğer antimikrobiyal özellik gösterdiğini ileri sürmüşlerdir (116). 1993 yılında Ohara ve arkadaşlarının aynı şekilde yaptıkları çalışmada %0.2'lik klorheksidin glukonatın antibakteriyel etkisi %5.25'lik NaOCl den daha yüksek bulunmuştur (117). 1995 yılında Yeşilsoy ve arkadaşları ise yaptıkları in vitro çalışmada %0.12'lik klorheksidinin %0.5'lik NaOCl'den daha yüksek antibakteriyel etkisi olduğunu bildirmişlerdir (118).

2.4.1.8. Kalsiyum Hidroksit (CaOH₂)

Antimikrobiyal etkisi oldukça sınırlı olmakla birlikte düşük oranda nekrotik dokuları eriterek kök kanal temizliğine yardımcı olmaktadır. Endodontik patolojilerde rol alan mikroorganizmaların çoğu alkali ortamda yaşayamamaktadır. Ca(OH)₂'in antimikrobiyal etki mekanizması, hidroksil iyonu yayması üzerine kurulmuştur. Bakteri hücreleri üzerindeki ölümcül etkileri bakteriyel stoplazmik membrana hasar verme, protein denatürasyonu ve DNA hasarı şeklinde olur (119).

2.5. Lazer

Kök kanal dezenfeksiyonu, başarılı bir kök kanal tedavisi için esastır. Günümüze kadar dezenfeksiyon amacıyla birçok materyal kullanılmıştır. Fakat kök kanallarında bütünüyle dezenfeksiyon sağlayacak ideal bir madde mevcut değildir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda lazerin kullanımı gündeme gelmiştir (120).

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 salacağı teorisini ortaya koymuştur. 1958'de Schawlow ve Townes; "Microwave amplification by stimulated emission of radiation" (MASER) ilkesinin ışık dahil herhangi bir dalga boyundaki tüm elektromanyetik dalgalara uygulanabileceğinden hareket ederek, "light amplification by stimulated emission of radiation" (LASER) kavramını ortaya koydular (120).

Lazerlerin çalışma prensibi ışık enerjisini ısı enerjisine dönüştürmek şeklindedir. Lazer sistemi, foton üreten bir lazer ortamı (katı, sıvı, gaz), uyarma için enerji üreten bir eksitasyon kaynağı ve bir tarafında %100, diğer tarafında %90 yansıtıcı ayna bulunan, ışık paralelliği için rezonatör içeren bir sistemdir. Katı, sıvı, gaz veya yarı iletkenle dolu bu optik odacık, bir dış etken tarafından uyarıldığında lazer ışını oluşur. Oluşan bu foton salınımı; lazer odacığının aynalarla kaplı iki duvarı arasında yansıyarak diğer atomların uyarılmasına neden olur. Lazer ışığı dışarı çıkana kadar, bu olay devam eder ve yoğunlaştırılmış bir ışık demeti oluşur. Oluşan lazer ışığının elektronlarının enerjisi dalga boyu ve ışığın rengini belirler. Bazı lazer sistemlerinde sürekli bir lazer ışığı (continuous laser irradiation) salınımı vardır. Bazı cihazlarda ise kullanılan metal perdeciklerle, "chopped laser beam" olarak adlandırılan ışığın pulsatif akımı sağlanır. Bazı sistemlerde ise enerji birikimi yapılarak, daha kısa bir zaman diliminde salınmaktadır. Bu karakterdeki lazer akımına; duraksatılmış akım anlamına gelen "pulsed laser irradiation" denilmektedir. Işığı oluşturan kaynak atom lazere ismini verir ve bu özgün materyal, açığa çıkan enerjinin dalga boyunu ve lazerin klinik endikasyonunu belirlemektedir (121).

Diş hekimliğinde ilk lazer kullanımı, 1964 yılında protetik diş tedavisinde diş preparasyonu ile olmuştur. Endodontide lazerin kullanımı 1971 yılında Weichman ve Johnson tarafından yapılan in vitro çalışma ile olmuştur. Sert dokularda Nd:YAG lazer

kullanılan çalışmalarda istenilen başarı elde edilememiş, fakat antibakteriyel etkisi fark edilmiştir (122).

2.5.1. Lazer Güvenliği

Lazerler dokuda primer ve sekonder hasarlara neden olabilirler. Primer hasarlar, lazerin gözde ve deride oluşturduğu hasarlardır. Lazer kaynağından çıkan ışınlar direk veya yansyarak göz hasarı oluşturur. Deri üzerindeki hasarlar termal etkisi ile eritem, ülserasyon ve kabuklaşma şeklindedir. Dolaylı olarak lazer enerjisi sekonder hasarlara da sebep olabilir. Elektriksel, kimyasal veya çevresel olarak etkiler gösterebilir. Lazerler; elektrik çarpması, elektriksel yangın ve patlama risklerini arttırmaktadırlar. Lazer cihazının yapısında bulunan klorin ve florin gibi kimyasallar zararlı etkiler oluşturabilir (121).

2.5.2. 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 (122).

Sınıf 1: 0.4 mW gücün altındaki düşük enerjili ve hasar oluşturma kapasitesi olmayan lazerlerdir. Doğrudan lazer kaynağına bakılması önerilmemektedir. Diyot lazerler örnek verilebilir.

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. Uzun süreyle ve doğrudan bakılmadıkça bir tehlike oluşturmazlar.

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 sınıftadırlar. Bu tür lazerlerin yansıyan ışıkları bile göz ve cilt için tehlikelidirler. Ciltte yanıklar ve kalıcı göz hasarı oluşturabilirler. Koruyucu gözlük kullanılması gereklidir.

Lazerler, birçok dental işlemden klinik başarıyı arttırmalarına rağmen gerekli tedbirler alınmadığında hasta, hekim ve sağlık personeli için zararlı olabilirler.

2.5.3. 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.
- Lazer uygulanan mekânlarda yansıtıcı özellikteki ayna, parlak kaplamalar veya metaller gibi materyaller bulundurulmamalıdır.

- Lazer tedavisi odasının kapısı mutlaka kapalı tutulmalı ve üzerine lazer uyarı levhası asılmalıdır.
- Elektrik donanımı lazer cihazlarının ihtiyaç duyduğu yüksek voltaja uygun olmalıdır.
- Elektrik yangınına yönelik önlemler alınmalıdır.
- Ciltte termal hasar oluşmaması için hastalarda cerrahi önlükler kullanılmalı ve hekimler de kolları örten önlüklerle çalışmalıdır (122).

2.5.4. Lazer Sistemlerinin Sınıflandırılması

Bu sınıflandırma lazer aktif maddesi, dalga boyu, lazer ışığının hareketine, enerjisine ve klinik uygulamalarına göre yapılır (122).

1. Lazer aktif maddesine göre

- Katı maddeler (Ruby, Nd:YAG, Er:YAG, Alexandrite)
- Gazlar (Argon, CO₂, He-Ne lazer)
- Yarı iletken lazerler (Gallium arsenide)
- Kimyasallar

2. Lazer dalga boylarına göre

- Ultraviyole ışınlar
- Kızılötesi (infrared) ışınlar
- Görünür ışık spektrumundaki ışınlar

3. Lazer ışınlarının hareketine göre

- Devamlı (continuous) ışın verenler
- Atımlı (pulse) ışın verenler
- Dalga akım olarak ışın verenler

4. Lazer ışınlarının enerjisine göre

- Soft lazer (He-Ne lazer, Ga- As lazer)
- Mid lazer (Diode lazer)
- Hard lazer (Argon, CO₂, Nd:YAG, Er:YAG)

5. Klinik uygulamalarına göre

- Yumuşak doku lazerleri
- Sert doku lazerleri

2.5.5. Diş Hekimliğinde Kullanılan Lazerler

2.5.5.1. Argon lazer

Aktif maddesi argon gazı olan bu lazer gözle görülebilen mavi renkli 488 ve yeşil renkli 514 nm olmak üzere iki dalga boyuna sahiptir. Devamlı ve aralıklı atım modları bulunur. Sert dokular tarafından absorbe edilmezler.

488 nm dalga boyundaki argon lazerler kompozit rezin polimerizasyonu ve diş beyazlatmada kullanılan jellerin polimerizasyonunda kullanılır. 514 nm dalga boyuna sahip olan argon lazerler görünür ışık yayan tek cerrahi lazerlerdir. Hemoglobinin, hemosiderin ve melanin içeren dokular tarafından absorpsiyonu yüksek miktarda olduğu için hemostatik amaçlı periodontal hastalıkların tedavisinde ve hemanjiom gibi vaskülarize doku cerrahisinde kullanılmaktadır. Su tarafından absorbe edilmediği için yumuşak dokulara zarar vermezler. Argon lazerlerin kullanıldığı diğer bir alan çürük teşhisidir (122).

2.5.5.2. CO₂ lazer

Kızılötesi lazer spektrumunda yer alan CO₂ lazerler 10600 nm dalga boyuna sahiplerdir. Devamlı ya da aralıklı modda çalışabilmektedirler. Suda oldukça iyi absorbe edildiklerinden yumuşak doku cerrahisinde koagülasyon sağladığından tercih edilmektedirler. Yumuşak doku, %75-90 oranında su içerdiği için enerjinin %98'i ısıya dönüşür ve çok az saçılım ve penetrasyonla beraber doku yüzeyinde emilir. Kontak ya da nonkontak modda çalışabilmektedir. Nonkontak modda çalışabilme özelliği sayesinde hareketli dokuların tedavisinde kullanılabilir (123).

CO₂ lazerin hemostatik özelliği çalışmayı kolaylaştırmaktadır. İyi hemostaz oluşturduğu için hekime temiz çalışma alanı sağlar. Temassız kullanılabilmesi 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 (124). Frenektomi, kron boyu uzatma, gingivoplasti ve gingivektomi gibi yoğun fibröz dokuların buharlaştırılmasını içeren işlemlerde de avantajlıdır. Hidroksiapatit tarafından yüksek emilimi ve devamlı salınımı ile sert doku uygulamaları kısıtlanmaktadır. Diş dokusunda mine çatlağı ya da dentinde karbonizasyona neden olabilmektedir. Hidroksiapatit tarafından absorpsiyonu en fazla olan lazer olduğu için dişlere yakın alanlarda işlem yaparken, dişlerin mutlaka metal bir koruyucu ile lazer ışınından korunması gerekmektedir. Ayrıca kök kanal dezenfeksiyonunda yeterli bir etkiye sahip değildir (125).

2.5.5.3. Nd:YAG lazer

Nd:YAG lazer katı aktif, yttriyum ve alüminyum ile kombine olmuş, neodim iyonları ile güçlendirilmiş garnet kristalidir. Diş hekimliğinde 1064 nm dalga boyunda kullanılır. Nd:YAG lazerler fiber optik kablo vasıtasıyla ışın hüzmesini iletmektedirler. Temaslı ya da temassız modda kullanılabilirler (122).

Nd:YAG lazerin endodontideki ilk kullanımı 1971 yılında Weichman ve Johnson tarafından olmuştur. Su ve hidroksiapatit absorpsiyonu çok iyi olmayıp melanin ve hemoglobin tarafından yüksek oranda absorbe olmaktadır. Nonkontak modda çalışıldığında penetrasyon yapabildiği için pulpa hassasiyeti, aft tedavisi ve hemostaz sağlamada kullanılabilir. Nd:YAG lazerle ilgili endodonti alanında birçok çalışma yapılmıştır. Kök kanal dezenfeksiyonu sağlamadaki etki mekanizması lokalize ısınma ile mikroorganizmaları doğrudan buharlaştırma şeklindedir. Derin dentin tübüllerindeki mikroorganizmalar üzerinde de etkili olduğu çalışmalarda gösterilmiştir. NdYAG lazerin çalışma presibi: 1064 nm olan özel dalga boyu sayesinde dişhekimliğinde sıkça enfeksiyonlara sebep olan bakteriler (siyah pigmente) tarafından emilmekte ancak diğer dokular tarafından emilimi olmamaktadır. Ancak dezenfeksiyondaki etkisi eğri kanallarda istenilen düzeyde değildir (120).

2.5.5.4. Diyot lazer

Diod, alüminyum veya indiyum, galyum ve arseniğin kombinasyonundan oluşan yarı iletken kristallerden üretilen katı aktif bir lazerdir. Devamlı ya da aralıklı modda

çalışma özelliği mevcuttur. 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 (120).

Diyot lazer pigmente dokular tarafından absorbe edilir. Hemostaz sağlamada argon lazerler kadar etkili olmamaktadır. Sert dokular üzerinde absorpsiyonu zayıf olmasından dolayı yumuşak doku cerrahisinde tercih edilmektedir. Abse insizyonu, frenektomi, implant üstünün açılması, periimplantitis ve mukoza koagülasyonunda kullanılmaktadır. Devamlı modda kullanılırsa hızlı bir ısı artışına neden olacağından hava ve su ile kullanımı gerekmektedir.

Bu lazerlerin antimikrobiyal etkisi; ya bakterinin bağlandığı substrat tarafından lazer ışığının absorbe olarak substratta oluşan ısının mikroorganizmaların ölümüne yol açmasıyla ya da lazer ışınının direk bakteri tarafından emilerek hasar oluşmasıyla meydana gelmektedir.

Diyot lazerin fiber uçları ince ve esnek yapıdadır. Böylece kök kanallarında kullanım kolaylığı sağlanmaktadır. Sahip olduğu antimikrobiyal özellik sayesinde son yıllarda endodontik kullanımı yaygınlaşmıştır (126).

2.5.5.5. Ho:YAG lazer

Ho:YAG lazerler, kromiyum ile hassaslaştırılmış ve holmiyum ve tulyum iyonlarıyla güçlendirilmiş, yttriyum alüminyum garnet katı kristali içermektedirler. 2100 nm dalga boyuna sahip olan Ho:YAG lazerler serbest atım modu ile çalışan fiber optik bir sistemdir. Nd:YAG lazerlere kıyasla su tarafından 1000 kat daha fazla absorbe olma özelliğine sahiptir. Sert dokular üzerinde etkilidir. Kıkırdak dokuları orta derece nekrozla düzgün 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 (127).

2.5.5.6. Erbiyum lazerler

İlk sert doku lazerleri 1990'lı yıllarda üretilmeye başlanmıştır. Mine, dentin, sement ve kemik gibi sert dokular için kullanılan erbiyum lazerler yumuşak dokular için de kullanılmaktadırlar. Suya absorpsiyonu bütün lazer sistemlerinden yüksek olan bu lazerin, hidroksiapatite ve kollajene afinitesi de yüksektir (128). Erbiyum lazerlerin ortak özellikleri bulunsa da, Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerler olarak iki farklı türü vardır . Her iki lazerin de aktif ortamı katı kristal olmasına rağmen dalga boyları farklıdır. Er:YAG lazer 2940 nm dalga boyunda iken, Er,Cr:YSGG lazer 2790 nm dalga boyuna sahiptir (120).

Kavite preparasyonu için kullanılan bu lazer sistemleri, günümüzde; yumuşak doku kaldırmada, kök kanal dezenfeksiyonunda, oral ve maksillofasiyel cerrahide kemik dokuların kaldırılması için yüksek hızlı el aletlerine alternatif olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca periodontolojide; kalkulusların kaldırılması dâhil birçok işlemde kullanılabilirler. Bu özelliklere ek olarak, bu lazerler birçok dental işlem için gerekli lokal anestezi miktarını da azaltabilirler (129).

Er:YAG lazerin diğer lazer tipleri ve endodontik irriganlardan daha etkili şekilde kök kanal duvarı temizliği yaptığı, debris ve smear tabakasını ortadan kaldırdığı deneysel çalışmalarda bildirilmiştir (130).

Erbium lazer etkisini değiştirebilecek birçok etken vardır. Bunlar, güç ayarları, enerji iletim modu, lazerin tipi ve durumu, hedeflenen doku ve su soğutması gibi birçok faktördür. Erbiyum lazer ucu yerleştirildiği kanaldan dairesel hareketlerle geri çekilirken lazer ışığının tüm kanal yüzeyine temasının gerçekleşmemesinden dolayı dentin tübüllerinin tamamı açılmamaktadır. Erbiyum lazerlerin antibakteriyal etki mekanizması, bakteri hücreindeki suyun lazer ışığını absorbe ederek hücrenin buharlaşması şeklindedir. 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 (131). Erbiyum lazerler yumuşak dokular üzerinde de kullanılabilirler ve derin dokulara zarar vermezler. Dokuda penetrasyon özelliklerinin düşük olmasından dolayı hemostatik amaçlı kullanımları sınırlıdır (120).

Hem sert hem de yumuşak dokularda kullanımı mümkün olan erbiyum lazerlerin, dokulardaki farklı su miktarları nedeniyle kullanılması gereken güç değerleri de farklı

seçilmelidir. Diş sert dokuları tarafından lazer enerjisi absorbe edilmediği için mine, sement ve kemik gibi sert dokuların kaldırılması esnasında termal hasara neden olmaz (128).

Erbiyum lazerlerde enerji, lazer ucunun bitişiğindeki 10 µm kalınlıktaki irrigasyon solüsyonu tarafından emilir. Sıvı hızlıca kaynama derecesine ulaşır ve 1 µs içinde buhara dönüşür. Buhar baloncuğunun genişlemesiyle, lazer ışığının önünde boş bir alan oluşur. Bu balon, lazer ışınımı süresince genişler. Işınımın bitmesinin ardından buhar baloncuğu büzölmeye başlar. Baloncuğun etrafında yer alan sıvı, açılan buhar boşluğuna doğru akar. Şiddetle içeriye doğru çekilme nedeniyle ilk olarak süpersonik daha sonra sonik hızda ilerleyen basınç dalgaları oluşur. Baloncuğun çökmesi esnasında, baloncuk-alt tabaka ve/veya baloncuk-serbest yüzey etkileşiminin bir sonucu olarak yüksek hızlı sıvı akışı da oluşur. Genişleyen buhar baloncuğunun tamamıyla çökmesinin ardından birçok küçük kavitasyon baloncuğu oluşur. Lazer fiber ucunun etrafındaki suyun basıncının ani ve geniş kapsamlı değişimine bağlı olarak çok sayıda yeni kavitasyon baloncuğu oluşur. İkincil baloncuklar, ilk buhar baloncuğundan çok daha küçüktürler ve çöktükten sonra azalan sayılarda tekrardan kaybolarak daha da küçük baloncuklar oluşturabilirler (126).

İrrigasyon solüsyonunun lazer ile aktive edildiği yöntemde, lazer ucu sıvıyla dolu kanal içerisine uygulanır. Lazerle uyarılmış baloncukların neden olduğu şok dalgaları ve hızlı akım ile temizlik işlemi gerçekleştirilir. Kök kanalı içerisinde baloncuğun yanlara doğru rahatça genişlemesi mümkün olmadığından, irrigant kanal içinde ileriye ve geriye hareketlerle itilir. İrrigasyon solüsyonunun, buharın ileri doğru genişlemesini engellemesinden dolayı baloncuk, geriye doğru büyür. Baloncuk içerisindeki basınç, uzun bir süre yüksek kalır çünkü küçük kanal içerisinde yer değiştirebilmek için su direncine karşı mücadele etmesi gerekmektedir (126).

Kanal içindeki baloncuğun yana ve ileri doğru genişleme hareketi, kanal duvarı tarafından sınırlanmaktayken geriye doğru genişleme hareketi, kanalın lümenini daha da küçük hale getiren fiber uç ile önlenir. Böylece oluşan makaslama stresi ile kanal duvarı boyunca irrigantın temizleme yeteneği oluşur. Ayrıca, ikinci kavitasyon baloncukları, sonraki lazer atımlarıyla aktifleştirilir ve kök kanal duvarı boyunca iç patlamaları ve bölgesel olarak yüksek güçlerle duvara dik mikro akımları oluştururlar. Bu durum kök kanal duvarlarındaki hücrelerin ve smear tabakasının parçalanmasına da katkıda

bulunan bir mekanizmadır. İrrigasyon solusyonununun lazer uygulamasıyla aktive edildiği bu yöntemde, 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 sonuçlar verdiği bildirilmiştir (132).

Er:YAG lazer

Yttrium-aluminum-garnet katı kristal aktif ortamına sahip 2940 nm dalga boyuna sahip katı kristal lazerdir. Er:YAG lazerde su ve su içeren organik yapılar tarafından absorpsiyonu sonucu moleküllerde meydana gelen mikropatlama, ardından dokular arasındaki bağların çözülmesi ile dokuların buharlaşması şeklinde gelişen bir mekanizma vardır. Bu lazer sistemlerinde hem fiber optik hem de reflektörlü boş hortum dağıtım sistemi yer alır. Kullanımı boyunca su ve hava ile çalışılmalıdır (126).

Schoop ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Er:YAG lazerin belirgin bakterisidal etkisinin, uygulanan çıkış gücüne ve bakteri türlerine bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Sasaki ve arkadaşları ise, Er: YAG lazer uygulaması yapılmış kemik dokusunda 30 µm kalınlıkta bir tabakada mikro çatlaklar, apatit kristallerinde düzensizlik ve hafif rekristalizasyon ve organik matrikste azalma gibi değişiklikler oluştuğunu gözlemlemişlerdir (133).

Er:YAG lazerler periodontoloji alanında sıklıkla tercih edilmektedir. Periimplantitis ve frenektomi gibi yumuşak doku cerrahisinde, hatta periodontal alanda diş taşı uzaklaştırılmasında kullanılabilirler. Klinik kullanımda; Er:YAG lazerlerin kök yüzeyinde pürüzsüz bir morfoloji oluşturduğu, SEM görüntüleriyle tespit edilmiştir. Kök yüzeyi düzleştirilmesi açısından karşılaştırıldığında; Er:YAG lazerin cerrahi olmayan periodontal tedaviler için uygun bir alternatif sunabileceği birçok yayında söylenmektedir (134).

Er:YAG lazer uygulamasının ardından iyileşme hızında artış, ağrı ve şişlikte belirgin azalma gözlenmektedir. Ancak yumuşak dokuda etkili olmasına rağmen, hemostatik etkisi çok sınırlıdır. Endodonti alanında Er:YAG lazerlerin yüksek su afinitesi ve hidroksiapatit kristallerince emilimi nedeniyle kullanımı sınırlıdır. Kök kanal preparasyonu, dezenfeksiyonu ve smear tabakanın eliminasyonunda kullanılmaktadır.

NaOCl ile beraber kullanıldığında kanal içinde akustik dalgalar oluşturarak dezenfeksiyon etkisi sağlamaktadır (134).

2010 yılında DiVito, 'foton başlatıcılı fotoakustik akım (PIPS) ucu' olarak adlandırılan tasarımı tanıttı. Bu ucun son 3 mm'sindeki poliamit kılıf soyulmuştur ve açılı dairesel ateşleme yeteneğine sahiptir. Diğer lazer uçlarında olduğu gibi tüm kök kanalının içine yerleştirilmek yerine, pulpa odasında tutulması yeterli olmaktadır. 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 güç oluştururlar (135).

Divito'nun 2012 yılında PIPS ile ilgili derlemesinde, orta ve infrared lazerlerin kök kanallarındaki smear ve debris kaldırma ve bakteriyel azalma oranları karşılaştırılmıştır. Erbiyum lazerlerin kök dentin yüzeyindeki bakteriyel eliminasyon kabiliyeti çok yüksek iken, dentin derinliklerinde bu başarı oranı düşmektedir. Ayrıca NaOCl ile birlikte kullanımı ile üç boyutlu kök kanal sistemindeki biyofilm ve bakterilerde azalma sağladığı bildirilmiştir. Son çalışmalarda smear ve debris uzaklaştırmak için %17'lik EDTA ile beraber kullanımı diğer lazer sistemlerinde görülen termal ısınma ve organik dentin hasarını minimuma indirmiştir (135).

PIPS tekniğinin, hem EDTA hem de NaOCl' le kullanımının; kök kanal sistemindeki bakteri miktarını ve onunla bağlantılı olarak biyofilmi üç boyutlu olarak azalttığı gözlenmiştir. Konik uçlar, düz uçlara oranla üç kat yüksek optodinamik dönüşüm etkinliğine sahiptirler (136).

Er,Cr:YSGG lazer

2780 nm dalga boyuna sahip Er,Cr:YSGG lazerler erbium ve kromium eklenmiş yttriyum skandium gallium garnet katı kristal aktif ortamına sahiptir. Serbest çalışma atım moduna sahiptir. Er:YAG lazerde olduğu gibi su ve hava ile çalışırlar. Mineral substrat içindeki suyun buharlaşması büyük hacim artışına sebep olarak çevre dokularda mikro patlamalara neden olurlar.

Er,Cr:YSGG lazerlerin mine ve dentin yüzeyinde uygulandığında oluşturduğu mikroçatlaklar kayda değer olmamakla birlikte smear tabakasını kaldırabilmekte oldukça iyi sonuçlar göstermektedir (137). Er,Cr:YSGG lazerler; pulpaya zarar vermeden çürük kaldırmada ve kavite preparasyonunda lokal anestezik ihtiyacını azaltırlar veya ortadan kaldırırlar. Eversole ve arkadaşları, Er,Cr:YSGG lazerle güçlendirilmiş hidrokinetik sistemle kavite açımı sırasında oluşan pulpa cevabını hayvanlar üzerinde değerlendirdiklerinde; hiçbir enflamatuar cevap oluşmadığını gözlemlemişlerdir (138). 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 (139).

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 bulamamışlar da, bu araştırmacılar Er,Cr:YSGG lazer preparasyonu sonrası asitleme önermektedirler (140). 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 spreysi ile lazer işleminin, ablasyon derinliğini arttırdığını ve susuz uygulamanın, mine ve dentinde kahverengi veya koyu renkli karbonizasyonlara yol açtığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, dentinde erimiş kavite oluştuğunu ve birçok düzensiz yapı bulunduğunu rapor etmişlerdir (92).

Hem sert hem de yumuşak dokuda farklı enerji seviyelerinde kullanılabilirler. Yumuşak dokulardaki kullanımı dokuya penetrasyon özelliğinin zayıf olmasından dolayı sınırlı düzeydedir. Dolayısıyla koagülasyon özellikleri düşük düzeyde olup hemostatik amaçlı kullanımları yoktur. Sert dokulardaki kullanımlarında uygulama esnasında lazer enerjisi diş dokuları tarafından absorbe edilerek mine, dentin, sement ve kemik gibi dokular üzerinde termal hasara yol açmaz (137).

Minede 4-8 W, dentinde 2-5 W, çürük dokularda 1-3 W, kemikte 1.5-3 W ve yumuşak dokuda 1-3 W arası enerji düzeyleri kullanım için uygun değerlerdir (129).

2.5.6. Lazerin Dokulardaki Etkisi

Lazerin uygulandığı dokuda oluşturduğu dört farklı etki vardır. Bu dört farklı etkinin oluşmasında dokunun optik özelliği ve lazerin dalga boyu rol oynar. Lazerin dokuda ilk etkisi yansımadır. İkinci etkisi hedef bölge tarafından absorbe edilmesidir. Lazerin dalga boyu, emisyon modu ve dokunun sahip olduğu su miktarı, rengi ve kimyasal kompozisyonuna bağlıdır. Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerin hidroksiapatit kristalleri ve suya afinitesi yüksektir ve ortamda bu maddeler var olduklarında daha iyi absorbe olurlar. Bir sonraki etki ise transmisyondur. Lazer ışığının dokuda hiçbir etki yapmadan geçişidir. En son olarak saçılma etkisi oluşur. “Scatter“ olarak adlandırılan bu etki lazer enerjisinin molekülden moleküle sekerek dağılması şeklindedir (1).

2.5.6.1. Lazerin Foto-Kimyasal Etkisi

Foto-kimyasal etki, lazer ışığının termal etki olmaksızın uygulandığı hedef dokuda meydana getirdiği değişikliklerdir. Foto-kimyasal etki için kuvvetli bir lazer kullanılacaksa dokuda ısı artışı oluşabilir. Vücut hücreleri ışığı soğurduğunda mitokondrilerde ATP üretimi artacak ve beraberinde hücre metabolizmasında artış olacaktır. Ardından Deoksiribonükleik asit (DNA) ve Ribonükleik asit (RNA) formasyonunda ve protein sentezinde bir artış olacaktır (141).

2.5.6.2. Lazerin Foto-Termal Etkisi

Foto-termal etki, fiziksel olarak ışığın ısıya çevrilmesidir. Lazer enerjisi termal etkiye dönüşerek dokuda ısınma meydana getirir. Bu durum, dokuda bazı değişikliklere ya da bozulmalara yol açar. Dokuda infrared (kızılötesi) ışığın emilimi sonucunda termal buharlaşma meydana getirir. Lazerin termal etkileri; koagülasyon, protein denatürasyonu, küçük kan damarlarının tıkanması, lenfatik hemostazın artırılması, yara yerlerinin dezenfeksiyonu ve doku kaynaşması gibi olaylara sebep olur. Kısa süreli orta ısıtmalar altında ise katlanma ve birbiri üzerine sarılma başlar. Bu doku kaynaşmasının temelinde yatan mekanizmadır. Lazer ışığının herhangi bir uygulama için kullanılması sırasında oluşan yüzey ısısı, mikroorganizma yıkımına neden olarak yüzey dezenfeksiyonu sağlar (120).

Sadık ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Nd:YAG lazerin kök dış yüzeyinde meydana getirdiği sıcaklık değişimlerini sıcaklık ölçer algılayıcısıyla ölçmüşlerdir. Kanal içine yerleştirilen 0,30 mm optik fiber aracılığıyla 15 Hz frekansta 100, 120 ve 140 mJ enerji seviyelerinde beş saniye lazer ve ardından 55 saniye yıkama gerçekleştirmişlerdir. Bu işlemi 5 defa tekrarlamışlar ve gruplarda birikimli sıcaklık artışı rapor etmemişlerdir. Sadece 37C°'nin üzerinde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur. Sonuç olarak en uygun ayarın 1,5 W olduğu sonucuna varılmıştır (142).

2.5.6.3. Lazerin Foto-Mekanik Etkisi

Lazerlerin kısa sürede yüksek enerjide kullanılması ile hedef dokularda hızlı bir ısınma olur. Lazerin oluşturduğu ısı, uygulanan dokunun buharlaşma sıcaklığından fazla olmamalıdır. Eğer olursa oluşan absorpsiyon sonunda meydana gelen patlamalar “fotoablasyon” olarak adlandırılan buharlaşma olayını gerçekleştirir. Bu olayın ardından oluşan şok dalgaları ile çukurlar oluşur. Lazerin doku üzerindeki etkisi, suda soğurulma katsayısı ile yakından ilgilidir. CO₂ lazer, Er,Cr:YSGG ve Er:YAG lazerlerden daha düşük suda soğurulma katsayısına sahiptir. Bu durum suda soğurulma katsayısının dalga boyu ile ilgili olmadığını göstermektedir (120).

2.5.7. Lazer Kullanım Parametreleri

Lazerler mine, dentin, sement ve dişeti için farklı enerji seviyelerinde kullanılır. Lazerin etkisini ışığın gücü, dalga boyu, atım süresi, uygulama süresi etkilerken hedef dokunun kendine özgü özellikleri de etkilemektedir (120).

Lazer atımları kesintili ya da sürekli olabilir. Bu atım süreleri farklı olabilir. Özellikle sert doku lazerlerinde mikro saniyelerle ifade edilir. Bunun nedeni yumuşak dokuya uygulanan enerji miktarı sert dokuya kıyasla düşüktür (143).

Lazer ışığının dokuya olan etkisinde belirleyici bir diğer faktör dalga boyudur. Frekans ise belirli bir noktadan geçen dalga sayısıdır. Tüm dalgalar belirli bir frekansa sahip olup dalga ve frekans birbiriyle ters orantılıdır. Frekansın ünitesi Hertz (Hz)'dir. Hertz saniyedeki atım (pulsasyon) sayısıdır. Atım sayısı yada lazer enerjisi artırıldıkça lazerin sert dokuda etkinliği artar (120).

Hedef dokunun hangi dalga boyunu en iyi absorbe ettiği lazer seçiminde çok önemlidir. Bunu cihazın çıkış gücü ve atım özellikleri takip eder. İdeal lazer enerjisi; hedef dokuda lazerin en az yansıma, saçılma veya transmisyona uğradığı ancak en fazla absorbe olduğu dalga boyunda uygulanmalıdır. Hedeflenen alana ve 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. Lazer ışığının kullanıldığı bölgenin küçülmesi, birim alana uygulanan ışık gücünün yoğunluğuyla ters orantılıdır ve daha derin bir ablyasyon meydana gelmektedir (120).

Lazer ışığının enerjisinin yoğunluk birimi mJ/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 (143).

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 (120).

Tüm dalga boylarının belirli bir frekansı vardır. Lazer sistemlerinin frekansı bir saniyede kaç titreşimin dalgayı meydana getirdiğini göstermektedir. Dalga boyuyla frekans ters orantılıdır. Lazer sistemlerinin frekans aralığının geniş olması istenen bir özelliktir. Lazer enerjisinin miktarı ve uygulamanın yapıldığı dokunun hangi dalga boyunu absorbe ettiği, oluşan reaksiyonun derinliğini ve miktarını etkiler. Lazer cihazının çıkış gücü ve seçilen atım türünün özellikleri de lazerin etkinliği üzerinde etkili parametrelerdendir (144).

2.5.8. Lazerlerin Diş Hekimliğindeki Kullanım Alanları

Estetik diş hekimliğinde; kron boyu yükseltilmesi, kron çevresinin gingival şekillendirilmesi ve diş beyazlatmada 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.

İmplantolojide; implantın üzerinin açılması, periimplantitis tedavisinde titanyum yüzey detoksifikasyonunda ve implantın hemen yerleştirileceği vakalarda çekim sonrası socketin dezenfeksiyonunda kullanılmaktadırlar.

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 dezenfeksiyonu, 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 düzeltmeleri, torus uzaklaştırılması, tüberoplasti, rezidüel kret düzeltilmesi, epulis fissuratum eksizyonu, protez stomatitinin tedavisi, apikal rezeksiyon, gömülü diş cerrahisi ve biyostimülasyon amacıyla kullanılmaktadırlar (145).

2.5.9. Lazerin Endodontide Kullanım Alanları

Lazer enerjisi; endodontide çürüğün ve diş vitalitesinin tanısı, kavite preparasyonu, çürüğün uzaklaştırılması, anestezi oluşturulması, restoratif materyallerin uzaklaştırılması, dentin hassasiyet tedavisi, mine ve dentin pürüzlendirilmesi, amputasyon, pulpa çıkarılması, kök kanal preparasyonu, retropreparasyon, kök kanal dezenfeksiyonu, apeks kapama, kök kanal dolgusu ve tekrarlayan endodontik tedavilerde kök kanal boşaltılması, kompozit rezin polimerizasyonu, bleaching, biyostimülasyon amacıyla kullanılmaktadır.

Endodonti alanında lazerin fotomekanik ve fototermal etkisinden yararlanır. Lazer ışığı kök kanallarında ışığı geçirgen bir fiber yardımı ile etki sağlar. XeCl (308 nm), Er:YAG (2940 nm), diyot (810 nm), Nd:YAP (1340 nm), Nd:YAG lazer gibi birçok lazer endodontide kullanılmıştır. Lazer ışığı termal etki ile dentin tübüllerinin 1mm içerisine kadar etki göstermektedir. Erbiyum lazer ailesinde dentinde yüzeyel ablasyon

etkisi mevcuttur. Bu durum kontrollü çalışılmadığı zamanlarda erime, rekristalizasyon ve karbonizasyona sebep olmaktadır (1).

2.5.9.1. Lazerle yapılan kök kanal dezenfeksiyonu

Kök kanal dezenfeksiyonunda lazer, el aletleri ve kimyasalların ulaşamayacağı alanlara ulaşabilme düşüncesiyle kullanılmaya başlanmıştır. Lazer ışınları düz olarak yayılım gösterir. Dolayısıyla yan kanal duvarlarına etki gösteremez ve kök kanal sisteminden smear ve debris tabakasının tamamen kaldırılamaz. Amaç tüm kök kanallarında lazer etkisini mümkün kılmaktır (146).

Nd:YAG lazer, endodontik açıdan en çok araştırılmış lazerdir. 1984 yılında ilk raporlar yayınlanmıştır. Antibakteriyel etkisi; tamamen biyofilm ve mikroorganizmalarla olan termal etkileşimin üzerine kurulmuştur. Ancak eğri kanallara etkisi düşüktür. E. faecalis biyo filmleri üzerine etkisi diyot lazerlerden düşüktür. Bazı çalışmalarda antibakteriyel etkinliğinin, NaOCl irrigasyonundan düşük veya eşit olduğunu rapor edilmiştir. Bu nedenle; yüksek enerji yoğunluklarına ihtiyaç duyması, geleneksel kanal dezenfeksiyon yöntemlerinden üstün olmaması ve tüm kök kanal sistemine ulaşamaması, endodontideki kullanımını sınırlamaktadır (146).

Erbiyum lazerlerin fototermal ve fotomekanik etkisi ile dentin, smear tabakası, debris ve pulpa artıkları kök kanal sisteminden buharlaştırılarak uzaklaştırılabilir (132). 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 intertübüler dentin bölgesi tarafından absorbe edildikleri için kanal dentininde yüzeysel ablyasyon ve bakterisidal etkiler meydana getirirler (129).

Kök kanallarında etkili lazer dezenfeksiyonu için Stabholtz ve arkadaşları tarafından yanlardan ışınla yapan uçlar tasarlanmıştır. Endodontik amaçlı geliştirilen bu spiral endodontik ucun; kenarları kazınmıştır, altın kaplıdır ve konik şekillidir. Uç kısmı ise apikal foramenden transmisyonu engellemek için kapatılmıştır. Er:YAG lazer, ışınımını tüm uç boyunca uzanan spiral bir yarık yardımıyla kök kanal duvarlarına yayar. Bu ucun kullanılması için kök kanallarının ISO #60 boyutuna kadar preparasyonu ve apikal sonlanmaya kadar ucun yerleştirilmesi gerekmektedir (147).

Arnabat 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 (148). 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 varmışlardır (26). Eldeniz ve arkadaşları, düz kanala sahip köklere uygulanan Er,Cr:YSGG lazerin, Enterococcus faecalis sayısını belirgin oranda düşürmesine rağmen tamamen yok edemediğini bildirmişlerdir (149). Wang ve arkadaşları, antibakteriyal etkinlik açısından Er,Cr:YSGG ile Nd:YAG lazerin her ikisini de etkili bulsa da, Nd:YAG lazerin daha başarılı olduğunu rapor etmişlerdir (150).

Er,Cr:YSGG lazerin endodontik amaçlı tasarlanan ilk fiber uçlarında, lazer ışığının çoğu doğrusal biçimde kök kanalına yayılırken çok az bir kısmı da açısız olarak yayılmaktaydı. 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 (151). 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 (152).

Günümüzde kök kanal tedavisinde altın standart olarak gösterilen NaOCl'in klinik kullanımı ile oluşan birçok komplikasyon bulunmaktadır (1). Bu çalışmada, son yıllarda diş hekimliğinin birçok alanında kullanılan Er,Cr:YSGG ve Er:YAG lazer sistemlerinin endodontik amaçlı dizayn edilen uçları olan RFT (Radial firing tips) ve PIPS (Photon Induced Photoacoustic Streaming) kullanılarak kök kanal dezenfeksiyonunda başarıyı artırmanın mümkün olup olmayacağı sorusuna cevap aranmıştır. Literatürde bu çalışmaya benzer çalışmaların kısıtlı düzeyde olması çalışmanın çıkış noktası olmuştur.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Prosedürü

Bu in vitro çalışma, Gaziantep Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 2016/433 karar nolu ve 15.03.2016 tarihli etik kurul raporu ile bilimsel ve etik açıdan uygun bulunmuştur. Çalışmanın deneyleri, Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Laboratuvarı ve Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı Bakteriyoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada *E. faecalis* ve *C. albicans* ile enfekte edilen diş köklerinde Er,Cr:YSGG lazerin (Waterlase MD, Biolase Technology, ABD) ve Er:YAG (Fotona, SLOVENIA) lazerin antibakteriyel ve antifungal etkinliğinin %5 NaOCl'e alternatif bir yöntem olup olmadığı araştırıldı.

3.2. Örneklerin Hazırlanması

Çalışma öncesi yeni çekilmiş, daha önce kök kanal tedavisi yapılmamış, kök ucu kapalı, çürüksüz, tek köklü alt premolar insan dişleri 4 °C sıcaklıkta ve %0.9 NaCl solüsyonunda çalışmanın yapılacağı 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. Kontrol grupları haricinde incelenecek grup sayısının 6 olması kararlaştırıldı. Araştırma öncesi yapılan power analiziyle, her deney grubunda 20 örneğin araştırmanın güvenilirliğini sağlayacağı gösterildi. Kalan dişlerden rastgele seçilen 140 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, Resiproc döner alet sisteminin eğeleriyle ISO #40'a kadar şekillendirildi (Jensen JP-1, İstanbul, Türkiye). Eğeler, Dentsply X-Smart endodontik motora (Dentsply, Maillefer, İsviçre) bağlı angldrüva ile üretici firmanın tavsiyelerine uygun olarak kullanıldı. şekillendirme sırasında kanallar serum fizyolojik ile irriga edildi. Kanallar paper-pointlerle (Pearl Endo, Gyonggi-Do, Korea) kurulandıktan sonra dişlerin apeksleri ışınlı kompozit dolgu ile kapatıldı. Daha sonra köklerin dış yüzeylerine tırnak cilası sürülerek kanal ağızlarına pamuk pelet yerleştirilip kapatıldı.



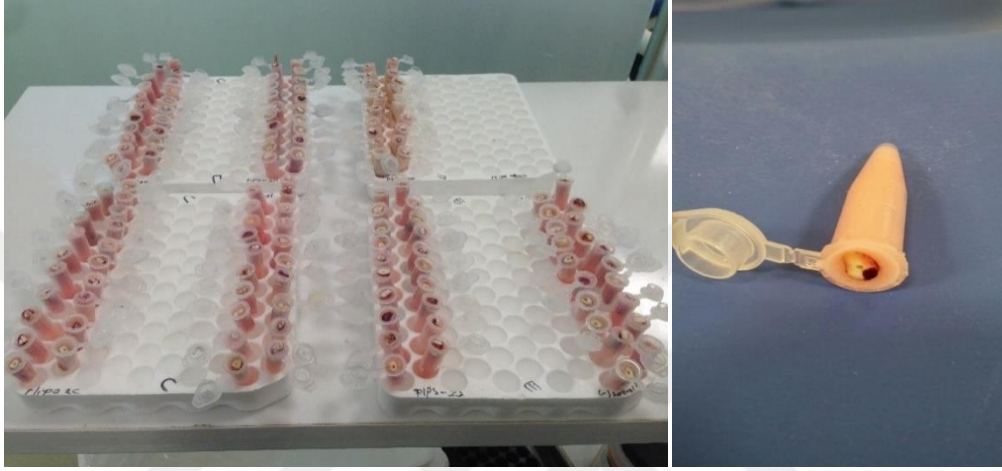
Resim 3.1. Kök boyu 12 mm olacak şekilde kron kısımları kesilmiş örnekler



Resim 3.2. Kök kısımları kompozit rezinle kapatılmış örnekler

Dişler mikrobiyolojik eppendorf tüplerinin içerisine soğuk akrilik ile sabitlendi. Tüplerin kapaklarının tam olarak kapanabildiğinden emin olundu. Akril polimerizasyonunun tamamlanmasının ardından kanal ağzındaki pamuk peletler uzaklaştırıldı. Kanallarda artık madde kalmadığından emin olmak için tüm kanallar

tekrardan serum fizyolojik ile yıkandı. Ardından tüm örneklere 1 dakika %17'lik EDTA uygulandı ve kanalda kalan kısmı enjektörle çekilip, kanallar tekrar serumla yıkanarak paper-point'lerle kurutuldu. Hazırlanan örnekler Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Laboratuvarına ulaştırıldı. Tüm örnekler 74°C'de Anprolen Gaz (Caps, Chine) sterilizatöründe steril hale getirildi. Sterilizasyonun kontrolü, kontrol bandı ile doğrulandı.



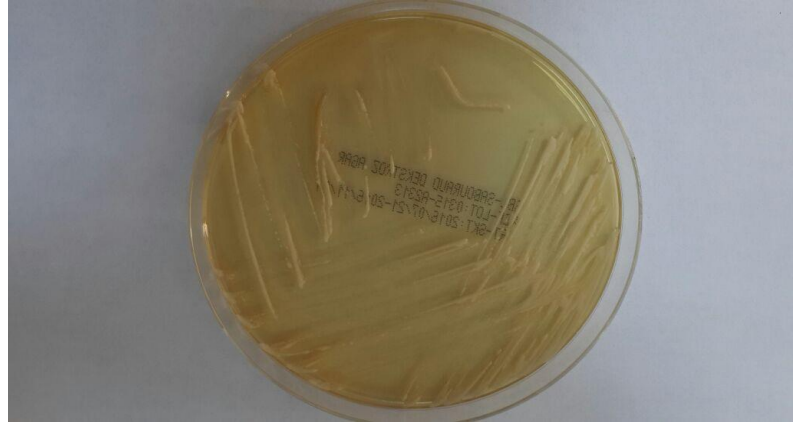
Resim 3.3. Eppendorf tüplerinin içerisine yerleştirilmiş örnekler

3.3. Çalışmada Kullanılan Mikroorganizmalar:

Çalışma National Collection of Type Cultures, *E. faecalis* (*E. faecalis* ATCC 29212) standart bakteri ve *C. albicans* (*C. albicans* ATCC 90028) standart maya ile yapıldı.



Resim 3.4. *E. faecalis* üremesini gösteren koyun kanlı agar besiyeri görüntüsü



Resim 3.5. *C. albicans* üremesini gösteren SDA besiyeri görüntüsü

3.4. Standart Mikroorganizmaların Üretilmesi ve Deney İçin Hazırlanması:

Standart *E. faecalis* (*E. faecalis* ATCC 29212) suşları canlandırılarak %5 koyun kanlı agar (Becton Dickinson, USA) besiyerine 10 µl ekimleri yapıldı ve 37°C’de 24 saat inkübe edildi. Standart *C. albicans* (*C. albicans* ATCC 90028) suşları canlandırılarak Sabouraud Dextrose Agar (SDA) (Becton Dickinson, USA) besiyerine 10 µl ekimleri yapıldı ve 37°C’de 24 saat inkübe edildi. Üremeleri kontrol edildi.

3.5. Deney ve Kontrol Gruplarının Oluşturulması:

Dişler steril edildikten sonra 10 adet diş pozitif kontrol ve 10 adet diş negatif kontrol grubu olarak ayrıldı. Çalışmada değerlendirilecek 120 adet diş iki gruba ayrıldı. 1. gruptaki 60 adet diş *E. faecalis* ile, 2. gruptaki 60 adet diş *C. albicans* ile enfekte edildi. Daha sonra 20’şer alt gruplar halinde deney grupları oluşturuldu.

Yapılacak ölçümler ve izlenecek parametreler:

Grup 1: E. faecalis ile enfekte edilen grup

Grup 1A: Er,Cr:YSGG Lazer Grubu (20 örnek)

Grup 1B: Er:YAG Lazer Grubu (20 örnek)

Grup 1C: %5'lik NaOCl Grubu (20 örnek)

Grup 1D: Pozitif Kontrol Grubu (5 örnek)

Grup 1E: Negatif Kontrol Grubu (5 örnek)

Grup 2: C. albicans ile enfekte edilen grup

Grup 2A: Er,Cr:YSGG Lazer Grubu (20 örnek)

Grup 2B: Er:YAG Lazer Grubu (20 örnek)

Grup 2C: %5'lik NaOCl Grubu (20 örnek)

Grup 2D: Pozitif Kontrol Grubu (5 örnek)

Grup 2E: Negatif Kontrol Grubu (5 örnek)

3.6. Kök Kanallarının Enfekte Edilmesi:

Dişler laboratuara getirilmeden bir gün önce E. faecalis ve C. albicans suşları pasajlandı ve 37°C'de 24 saat inkübe edildi. Öze yardımıyla plaklardaki saf kültürlerden alınan mikroorganizmalar, kendilerine ait 5 ml Id Broth (Becton Dickinson, USA) bulunan serolojik cam tüplerin içerisine karıştırılarak vorteks cihazında (VELP Scientifica, Italy) 10 sn vortekslendi ve PhoenixSpec (Becton Dickinson,USA) cihazı kullanılarak McFarland 0.5 bulanıklık elde edilinceye kadar bu işleme devam edildi. Hazırlanan 0.5 McFarland E. faecalis bakteri süspansiyonundan her bir enfekte edilecek diş için 10 µl steril uçlu otomatik pipet (Gilson, France) ile steril eppendorf tüplere konuldu. Steril insülin enjektörü kullanılarak eppendorf tüp içerisindeki 10 µl bakteri süspansiyonu alınıp kök kanallarına enjekte edildi. Aynı işlemler C. albicans için tekrarlandı. Her diş içerisine E. faecalis ve C.albicans 10⁵ CFU/ml miktarında inoküle edildi. Böylece bütün örneklerde bakteri-maya miktarı standardilizasyonu sağlandı. Enfekte edilen kök kanalları E. faecalis ve C.albicans için 37°C'de 4 hafta inkübe edildi ve 4 günde bir her bir diş 10 µl besiyeri takviyesi yapıldı. Bütün ekimler güvenlik kabini (CleAir Class II, Biological Safety Cabinets) içerisinde gerçekleştirildi.

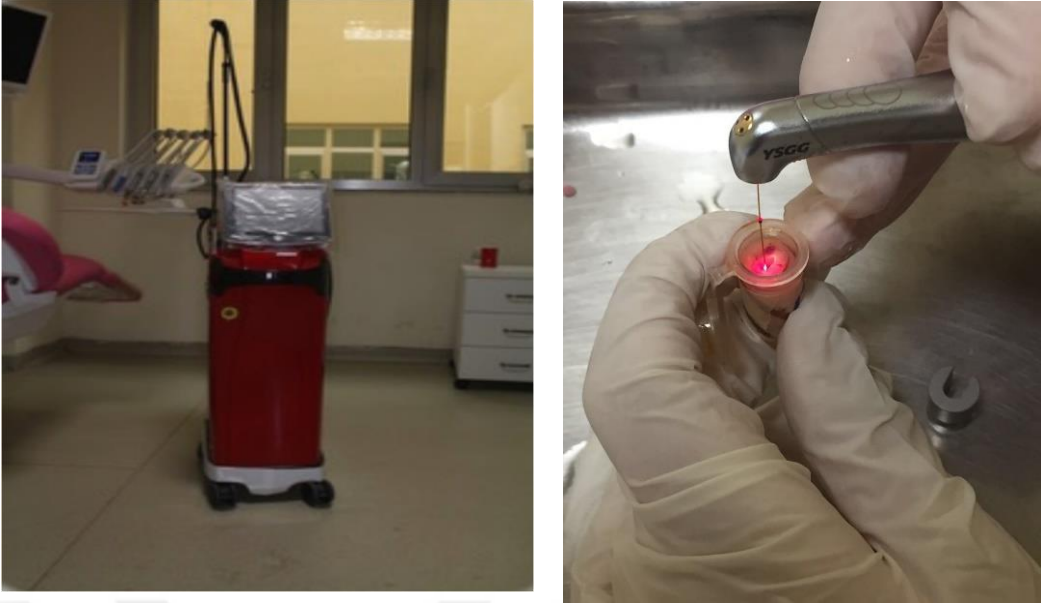


Resim 3.6. Mikrobiyolojik işlemlerin gerçekleştirildiği güvenlik kabini

3.7. Kök Kanal Dezenfeksiyonu

3.7.1. Er,Cr:YSGG Lazer Grupları

1A ve 2A gruplarında Er,Cr:YSGG lazer; 2 W gücünde, 20 Hz, 25 mj, % 25 su ve % 35 hava değerlerinde, 200 µm çapında 21 mm RFT 2 uç kullanılarak saniyede 1mm koronale çekecek şekilde 12 saniye lazer uygulaması, 10 saniye dinlenme şeklinde 4 period uygulandı. Toplamda 48 saniye ışınlama yapıldı. Lazer ucu, çalışma boyunca kanala yerleştirildi ve her bir saniyede lazer ucu 1 mm apikalden koronale doğru tüm kanal duvarlarına temas edecek şekilde dairesel hareketlerle geri çekildi. Ardından tüplerin kapakları kapatıldı. Her lazer uygulamasının ardından fiber uç kontrol edildi. Herhangi bir deformasyon olması durumunda başka uç kullanıldı. Eğer uç tekrar kullanılacaksa her örnek arası lazer ucu öncelikle izopropil alkol (Tekkim Kimya, Bursa, Türkiye) ile dolu olan kaba, daha sonra da serum fizyolojik (%0.9 izotonik sodyum klorür, Polifarma, İstanbul, Türkiye) ile dolu olan kaba batırılarak steril bir gazlı bez ile silindi. Lazer uygulaması ardından kanallara irrigasyon yapılmadı.



Resim 3.7. Çalışmada kullanılan Er,Cr:YSGG lazer cihazı



Resim 3.8. Kullanılan Er,Cr:YSGG lazer parametreleri

3.7.2. Er:YAG Lazer Grupları

1B ve 2B gruplarında Er:YAG lazer; 0.8 W gücünde, 20 Hz, 40 mJ değerlerinde %5'lik NaOCl ile birlikte, 5 saniye lazer uygulaması 5 saniye dinlenme şeklinde 5 period uygulandı. Toplamda 25 saniye ışınlama yapıldı. Her bir örnek için 7 ml NaOCl kullanıldı. PIPS uygulaması esnasında kanala enjektörle devamlı bir şekilde NaOCl

uygulanarak işlem sırasında kanalın kuru kalması engellendi. Her bir örnek için ayrı bir enjektör kullanıldı. Hemen ardından tüplerin kapakları kapatıldı. Her lazer uygulamasının ardından fiber uç kontrol edildi. Herhangi bir deformasyon olması durumunda başka uç kullanıldı. Eğer uç tekrar kullanılacaksa her örnek arası lazer ucu öncelikle izopropil alkol (Tekkim Kimya, Bursa, Türkiye) ile dolu olan kaba, daha sonra da serum fizyolojik (%0.9 izotonik sodyum klorür, Polifarma, İstanbul, Türkiye) ile dolu olan kaba batırılarak steril bir gazlı bez ile silindi.



Resim 3.9. Çalışmada kullanılan Er:YAG lazer cihazı



Resim 3.10. Kullanılan Er:YAG lazer parametreleri

3.7.3. Sodyum Hipoklorit (NaOCl) Grupları

1C ve 2C gruplarında örneklerin kök kanallarının her birine 7 ml %5'lik NaOCl (Microvem, Rehber Kimya, İstanbul, Türkiye), enjektör ucu apeksten 2 mm kısa olacak şekilde yerleştirilip 2 dakika boyunca uygulandı. İşlemin ardından kanal içerisinde kalan NaOCl her dişte ayrı steril enjektör kullanılarak geri çekildi. Hemen ardından tüplerin kapakları kapatıldı.



Resim 3.11. Çalışmada kullanılan NaOCl ajanı



Resim 3.12. Kanalların %5 NaOCl ile yıkanma işlemi

3.7.4. Pozitif Kontrol Grupları

1D ve 2D pozitif kontrol gruplarındaki örneklerde yalnızca mikrobiyal inokülasyonu gerçekleştirildi. Dezenfeksiyon amaçlı herhangi bir işlem uygulanmadı.

3.7.5. Negatif Kontrol Grupları

1E ve 2E negatif kontrol gruplarındaki örnekler H₂O₂ gaz sterilizatöründe steril edildi. Herhangi bir mikrobiyal inokülasyon veya dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmedi.

3.8. Lazer ve NaOCl Uygulamasından Sonra Cfu/ml Değerlerinin Belirlenmesi:

Dezenfeksiyon işlemleri uygulanan örnekler tekrar Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı'na ulaştırıldı. Her bir örneğin kök kanalında 1 dakika boyunca serum fizyolojik emdirilmiş paper point tüm kanal duvarlarına temas edecek şekilde uygulanarak örnekler alındı ve besiyerlerine kontrol ekimleri yapıldı. Ardından kontrol grupları dışında kalan örneklerin kök kanallarına sıvı besiyeri uygulaması yapıldı (Becton Dickinson, USA) ve tekrar 37°C de 4 hafta inkübe edildi. Bu süre içerisinde 4 günde bir her diş içerisine 10 µl besiyeri takviyesi yapıldı ve işlem aralarında kapaklar sıkıca kapatıldı. İnkübasyon süresini tamamlayan örneklerin kök kanallarından tekrardan serum fizyolojik emdirilmiş paper pointle 1 dakika süresince tüm kök kanal duvarlarına temas edecek şekilde kültür alındı. Aynı şekilde besiyerlerine ekimleri yapıldı ve 37°C de 24 saat inkübe edildi. İnkübasyon sonunda her bir kök kanalı için işlem sonrası CFU/ml değerleri belirlendi. Bütün ekimler güvenlik kabini içerisinde gerçekleştirildi.



Resim 3.13. Dezenfeksiyon işlemlerinin ardından kültür alma işlemi

3.9. İstatistiksel Yöntem:

Çalışma öncesinde çalışmanın gücünün en az %80-95 aralığında olması adına PASS yazılımı kullanılarak grupların en az 20 dişten oluşması gerektiği hesaplandı. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shaphiro Wilk testi ile test edildi. Normal dağılıma sahip olmayan değişkenlerin gruplar arasında karşılaştırılmasında Kruskal Wallis ve Dunn çoklu karşılaştırma testleri, gruplar içinde karşılaştırılmasında ise Willcoxon testi kullanıldı. İstatistiksel analizler için SPSS for Windows version 22.0 paket programı kullanıldı ve $p < 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.



4. BULGULAR

4.1. E. faecalis ile Enfekte Edilen Örneklerden Elde Edilen Bulgular:

Grupların dezenfeksiyon işlemlerinin hemen ve 4 hafta ardından ortalamaları ve standart sapma değerleri Tablo 4.1' de gösterilmiştir.

Dezenfeksiyon işlemlerinin hemen ardından tüm irrigasyon yöntemleri, kanal içindeki E. faecalis miktarını belirgin oranda azaltmıştır. En etkili yöntem Er:YAG iken, Er;Cr:YSGG en az etkili yöntemdir. Er:YAG grubu, diğer gruplardan üstün olmakla birlikte, NaOCl grubuyla arasında fark istatistiki olarak anlamlı değildir ($p>0.05$). Ancak, Er;Cr:YSGG grubundan anlamlı derecede üstün bulunmuştur ($p<0,05$).

Dezenfeksiyon işlemlerinin 4 hafta ardından tüm irrigasyon yöntemleri, kanal içindeki E.faecalis miktarını belirgin oranda azaltmıştır. En etkili yöntem Er:YAG iken, Er;Cr:YSGG en az etkili yöntemdir. Er:YAG grubu, diğer gruplardan üstün olmakla birlikte, NaOCl grubuyla arasında fark istatistiki olarak anlamlı değildir ($p>0.05$). Ancak, Er;Cr:YSGG grubundan anlamlı derecede üstün bulunmuştur ($p<0,05$)

Deney gruplarının kendi içerisinde yapılan karşılaştırmasında dezenfeksiyon işleminin hemen ardından belirlenen cfu/ml değerlerinin, 4 hafta sonraki cfu/ml değerlerine oranı kıyaslanmıştır. NaOCl grubunda bakteri miktarındaki azalmada istatistiki olarak fark bulunmazken ($p>0.05$), Er:YAG ve Er,Cr:YSGG gruplarında fark bulunmuştur ($p<0.05$).

Tablo 4.1. Deney gruplarındaki *E. faecalis* miktarının dezenfeksiyon işleminin hemen ve 4 hafta ardından ortalamaları ve standart sapma değerleri tablosu

Bakteriler*	Grup	N	Başlangıç	n	4. hafta	P (grup içi)
<i>E. faecalis</i>	Er,Cr:YSGG	20	5,25±7,46 ‡	20	48,65±20,99 ‡	0.001†
	Er:YAG	20	0,6±2,25 §	20	3,55±7,43 §	0.001†
	NaOCl	20	2,21±4,98	20	9,1±19,12 §	0,176
	Pozitif	5	100±0	5	100±0	1,000
	Negatif	5	0±0	5	0±0	1,000
P (gruplar arası)			0.001†		0.001†	

*Ortalama ± standart sapma

†0,05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı

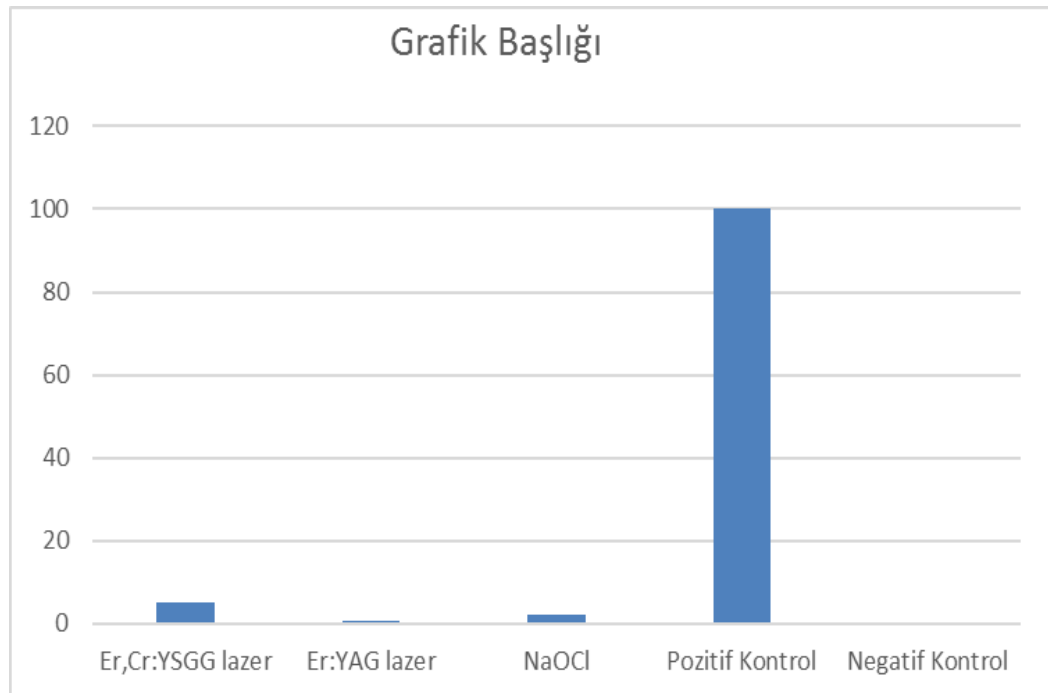
|| Pozitif kontrole göre p<0.05

‡ Negatif kontrole göre p<0.05

§ Er,Cr:YSGG ye göre p<0.05

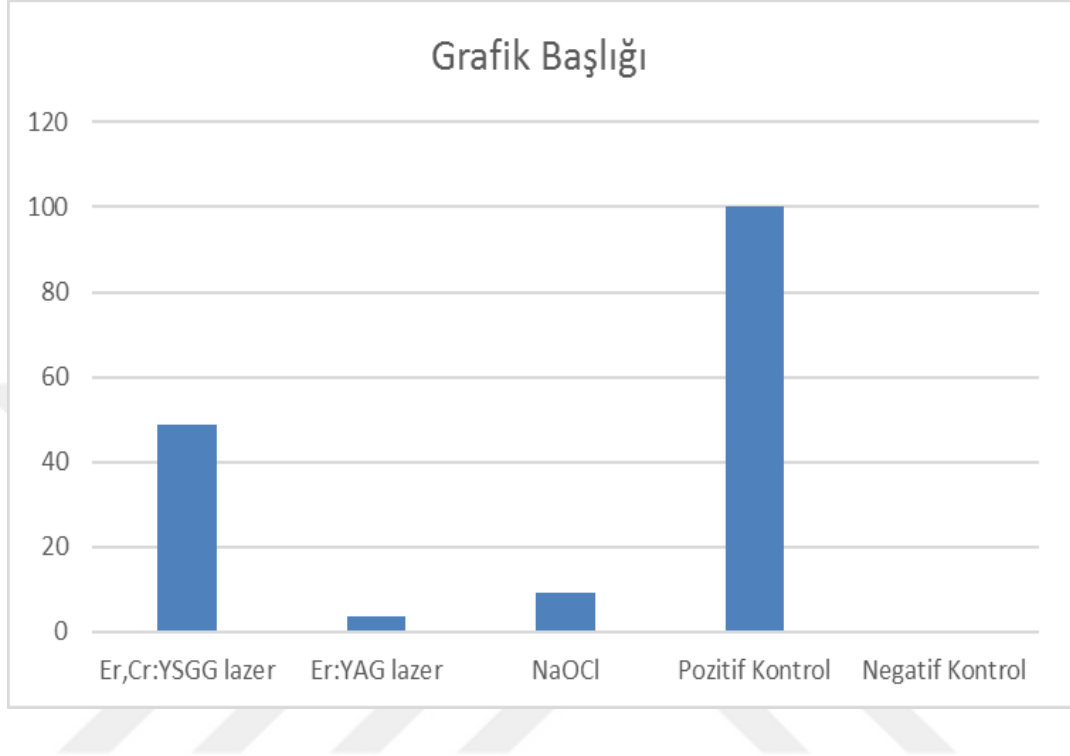
Tablo 4.2. Deney gruplarındaki *E. faecalis* miktarının dezenfeksiyon işleminin hemen ardından ortalama grafiği

E. faecalis miktarı (CFU/ml)



Tablo 4.3. Deney gruplarındaki E. faecalis miktarının dezenfeksiyon işleminin 4 hafta ardından ortalama grafiği

E. faecalis miktarı (CFU/ml)



4.2. C.albicans ile Enfekte Edilen Örneklerden Elde Edilen Bulgular:

Grupların dezenfeksiyon işlemlerinin hemen ve 4 hafta ardından ortalamaları ve standart sapma değerleri Tablo 4.4’ de gösterilmiştir.

Dezenfeksiyon işlemlerinin hemen ardından tüm irrigasyon yöntemleri, kanal içindeki C.albicans miktarını belirgin oranda azaltmıştır. En etkili yöntem NaOCl iken, Er,Cr:YSGG en az etkili yöntemdir. NaOCl grubu, diğer gruplardan üstün olmakla birlikte, Er:YAG grubuyla arasında fark istatistiki olarak anlamlı değildir ($p>0.05$). Ancak, Er,Cr:YSGG grubundan anlamlı derecede üstün bulunmuştur ($p<0,05$)

Dezenfeksiyon işlemlerinin 4 hafta ardından tüm irrigasyon yöntemleri, kanal içindeki C. albicans miktarını belirgin oranda azaltmıştır. En etkili yöntem NaOCl iken, Er,Cr:YSGG en az etkili yöntemdir. NaOCl grubu, diğer gruplardan üstün olmakla birlikte, Er:YAG grubuyla arasında fark istatistiki olarak anlamlı değildir ($p>0.05$). Ancak, Er,Cr:YSGG grubundan anlamlı derecede üstün bulunmuştur ($p<0,05$)

Deney gruplarının kendi içerisinde yapılan karşılaştırmasında dezenfeksiyon işleminin hemen ardından belirlenen cfu/ml değerlerinin, 4 hafta sonraki cfu/ml değerlerine oranı kıyaslanmıştır. NaOCl ve Er:YAG gruplarında bakteri miktarındaki azalmada istatistiki olarak fark bulunmazken ($p>0.05$), Er,Cr:YSGG grubunda fark bulunmuştur ($p<0.05$).

Tablo 4.4. Deney gruplarındaki *C. albicans* miktarının dezenfeksiyon işleminin hemen ve 4 hafta ardından ortalamaları ve standart sapma değerleri tablosu

Bakteriler *	Gruplar	N	Başlangıç	n	4. hafta	P (grup içi)
<i>C. albicans</i>	Er,Cr:YSGG	20	7,2±7,85	20	73,15±34,04	0.001†
	Er:YAG	20	3,6±8,09	20	8,15±13,13 §	0.306
	NaOCl	20	0,5±2,23 §	20	0,05±0,22 §	0,655
	Pozitif	5	100±0	5	100±0	1,000
	Negatif	5	0±0	5	0±0 §	1,000
P (gruplar arası)			0.001†			0.001†

*Ortalama ± standart sapma

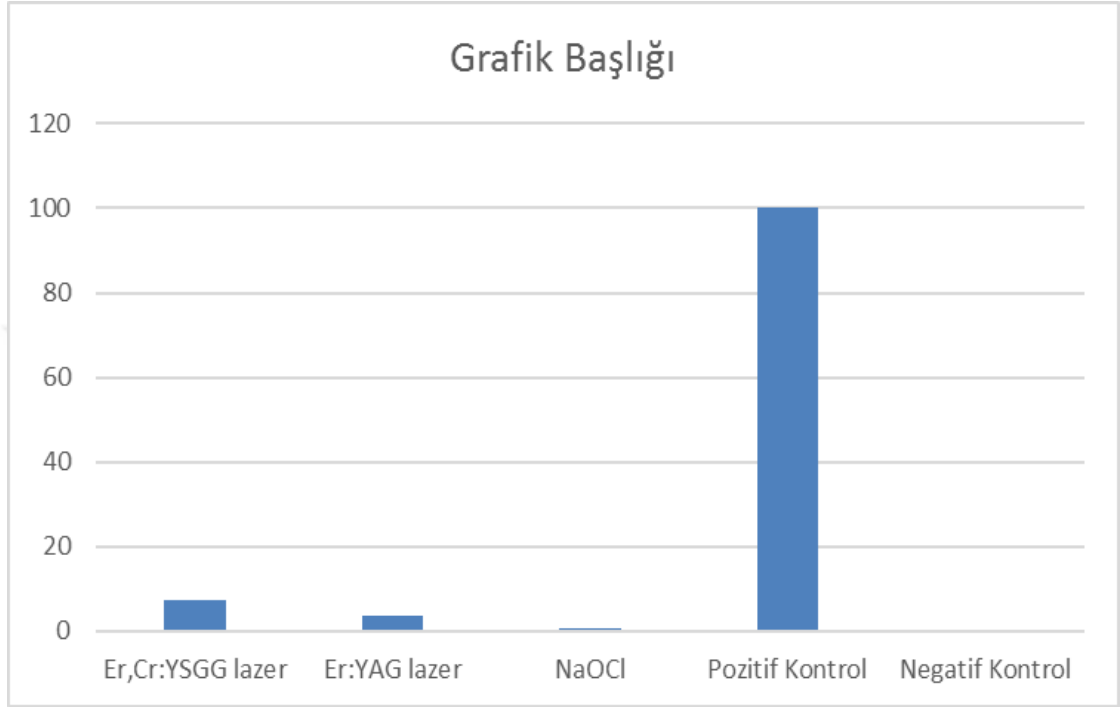
†0,05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı

|| Pozitif kontrole göre $p<0.05$

§ Er,Cr:YSGG lazere göre $p<0.05$

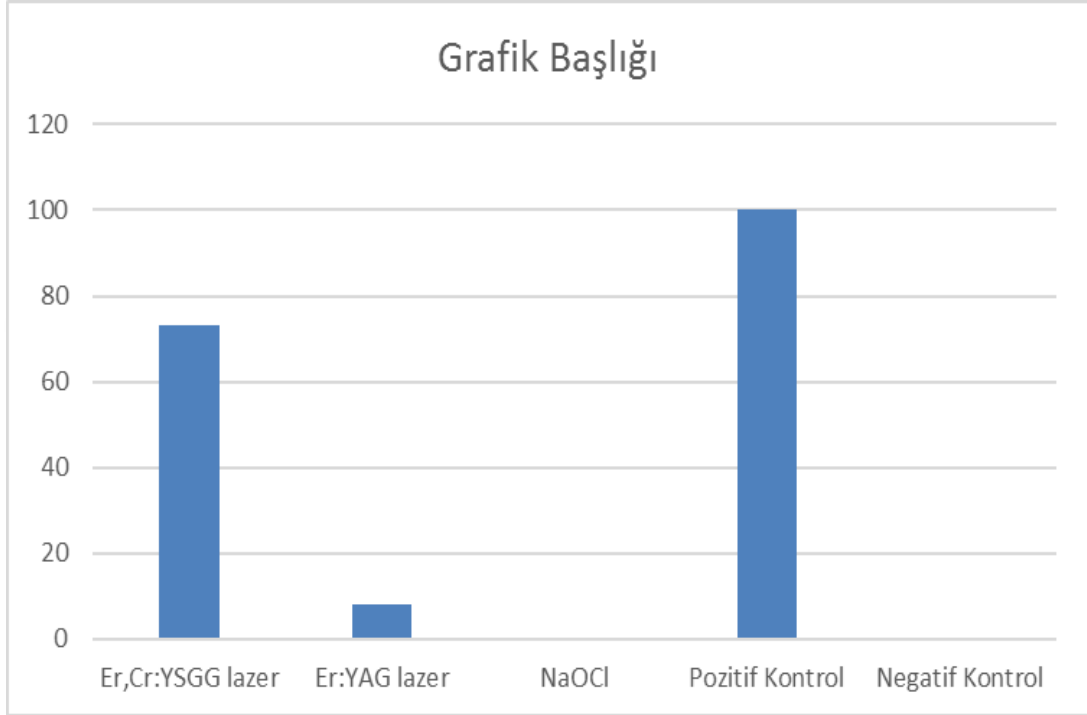
Tablo 4.5. Deney gruplarındaki *C. albicans* miktarının dezenfeksiyon işleminin hemen ardından ortalama grafiği

C. albicans miktarı (CFU/ml)



Tablo 4.6. Deney gruplarındaki *C. albicans* miktarının dezenfeksiyon işleminin 4 hafta ardından ortalama grafiği

C. albicans miktarı (CFU/ml)



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kök kanal tedavisinde amaç, kron ve kök pulpasının çıkarılarak, kök kanal sisteminin mikroorganizma ve litik artıklardan arındırılıp, şekillendirilmesi ve uygun bir materyal ile bütünüyle doldurulmasıdır. Kök kanal enfeksiyonlarının birincil etkeni olan mikroorganizmaların kök kanalı içerisinde tamamen uzaklaştırılması amacı ile kullanılan birçok intrakanal medikaman dentin kanallarına yeterince nüfuz edememektedir. Ayrıca bu ajanların antibakteriyel etkinliklerinin istenilen düzeyde olmaması ve kompleks kök kanal sisteminde var olan lateral, aksesuar ve furkasyon kanallarına ulaşımın imkansız oluşundan dolayı alternatif dezenfeksiyon yöntem arayışına girilmiştir (153). Günümüzde kök kanal dezenfeksiyonu için geleneksel olarak kullanılan ajan NaOCl'dir (154). Her ne kadar istenilen düzeyde antibakteriyel etkiye sahip olsa da canlı dokuda oluşturduğu toksik etki, kötü tad ve kokusu, metal korozyonu gibi birçok nedenden dolayı ideal bir dezenfeksiyon ajanı olamamıştır (109).

Teknolojik gelişmeleri takiben lazer uygulamaları, diş hekimliğinde son zamanlarda oldukça popüler hale gelmiş ve endodonti alanında kendine geniş bir yer bulmuştur (12). Sert doku lazerleri ilk üretildiğinde çürük temizleme ve kavite preparasyonu konuları üzerinde çalışmalar yapılmış ardından esnek endodontik uçların üretilmesi ile endodontik tedavide yer almıştır (151). Piyasaya sürülen Erbiyum lazerlerin ilk endodontik uçlarıyla dizaynındaki eksiklikler nedeniyle hedeflenen antibakteriyel sonuca ulaşamamıştır. Eski uçlarda lazer ışınının direk apikale verilmesi lateral duvarları etkilememesi durumunun ortadan kaldırılması amacıyla yeni uçlar geliştirilmiştir. Er,Cr:YSGG lazerin konik formda 60 derecelik bir açıyla ışın verebilen bu uçları RFT olarak isimlendirilmiş ve kök kanal dezenfeksiyonundaki başarımın artırılması amaçlanmıştır. Son yıllarda Er:YAG lazerin endodontik kullanımında kök kanal içinde mevcut irrigasyon ajanının etkinliğini artırıcı bir yöntem olarak dizayn edilen PIPS uçları güncel hale gelmiştir. Bu yöntemle kök kanalı içerisinde oluşan patlamalar sayesinde smear tabakası ve debrisin uzaklaştırılması kolaylaşmakta ve böylece dezenfeksiyon ajanının tübül penetrasyonunu arttırmak mümkün olmaktadır (155). Bizim çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlara baktığımızda Er,Cr:YSGG lazerin hem *E. faecalis* hem de *C. albicans* üzerindeki etkisi düşük düzeyde kalırken, Er:YAG

lazerin hedeflenen antibakteriyel etkiyi sağladığı görülmüştür. Bu sistemin, antibakteriyel etkiyi artırmaya yardımcı bir yöntem olarak kullanımı düşünülebilir.

Kullanılan dişlerin sahip olduğu karmaşık anatomik yapı mikrobiyolojik çalışmalarda sonuçları etkileyebilmektedir (148). Örneklerdeki anatomik farklılıkların en aza indirilmesi amacı ile çalışmamızda insan tek köklü alt premolar dişler kullanılmıştır. Çalışmada sonuçları etkilememesi açısından #10 K-tipi eğenin apikal bölgeye kadar sıkışmadan ulaşabildiği, eğri olmayan, kök yüzeyinde çatlak ve rezorbsiyon gözlenmeyen dişler çalışmaya dahil edilmiştir.

Kök kanal tedavisinin başarısı irrigasyon ajanının dezenfeksiyon kabiliyetine bağlı olsa da mekanik preparasyonun da kritik bir önemi vardır (9). Ni-Ti döner ege sistemleri preparasyon süresini azaltması, uygulama kolaylığı, komplikasyon oluşma riskinin daha düşük olması gibi nedenlerle günümüzde oldukça sık tercih edilmektedir (155). Çalışmamızda Ni-Ti döner ege sistemi olan Reciproc egesi kullanılmıştır. Diğer ege sistemlerine oranla daha az smear tabakası oluşturduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (156,157).

Irrigasyon solusyonlarının dentin tübülleri içine ulaşabilmesi kök kanal dezenfeksiyonunda çok önemlidir. Fakat dentin yüzeyinde oluşan smear tabakasının varlığı ajanın tübül içerisine olan etkisini sınırlamaktadır. Bu nedenle smear tabakasının kaldırılmasının tedaviyi olumlu yönde etkileyeceği bildirilmiştir (90). Çalışmamızdaki örneklerde tübüllere mikroorganizma penetrasyonu amaçlandığı için preparasyonun hemen ardından tüm örnekler %17'lik EDTA çözeltisi ile yıkanmıştır. Böylece dentin penetrasyonu sağlanmıştır. NaOCl'in smear tabakasını kaldırmada etkisi yoktur. Ancak Er,Cr:YSGG lazerin smear tabakasını kaldırdığı yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (148). Aynı şekilde Er:YAG (PIPS) lazerin de smear tabakasını kaldırdığı son yapılan araştırmalar ışığında rapor edilmiştir (158). Bizim çalışmamızda önemli olan nokta tübül içerisinde yaşamını sürdürebilen mikroorganizmaların kalan miktarı olduğu için tüm örneklerde %17'lik EDTA kullanılmıştır.

Enterococcus faecalis bilindiği üzere kök kanal tedavisi yapılmış fakat iyileşmemiş inatçı enfeksiyonların en önemli etkeni olarak kabul edilmektedir (159). E. faecalis yüksek pH aralıklarında dahi yaşamını sürdürebilmesi, intrakanal medikamanlara olan

direnci ve biyofilm oluşturma yeteneği ile baş edilmesi oldukça güç bir mikroorganizmadır (54). Dolayısıyla bu mikroorganizmanın kök kanallarından uzaklaştırılması tedavinin başarısını artıracaktır. Bu bilgi ışığında biz de alışmamızda *E. faecalis* kullanmayı tercih ettik.

Kök kanalarında başarısızlık nedeni olarak *E. faecalis* kadar önemli bir yeri olan mikroorganizma *Candida albicans*'tır. Bu mikroorganizma diğer bakterilerle veya saf kültür olarak primer ve sekonder kök kanal enfeksiyonlarından izole edilebilmektedir (51). Bu mantarın yüksek dentin afinitesi vardır. Derin dentin tübüllerine invazyon yapabilir ve diğer *Candida* türlerine kıyasla biyofilm oluşturabilme özelliği nedeni ile patojen kabul edilmektedir. Bu nedenle alışmamızda *E. faecalis*'e ek olarak *C. albicans*'ı da kullandık. Deney gruplarında standardı yakalamak adına ekilen *E. faecalis* ve *C. albicans* miktarlarını eşit tıttuk. Tüm kök kanallarının her birine 100×10^3 CFU/ml (100 koloni) miktarında önceden ekimi yapılmış saf kültür *E. faecalis* ve *C. albicans* yerleştirilmiştir.

Çalışmamızda kullandığımız bu iki mikroorganizma da tedavinin başarısını olumsuz yönde etkilemektedir. Kök kanal tedavisinde dezenfeksiyon amaçlı kullanılan NaOCl solusyonu ve lazer sistemlerinin bu canlıları ne derece etkilediği çalışmamızın çıkış noktalarından biri olmuştur. Literatürde birçok çalışmada aynı anda yer almış olan bu mikroorganizmalar üzerinde yapılan çalışmalar bizim için kaynak niteliğindedir. Smith ve Wayman'ın 1986 yılında yaptıkları çalışmada *C. albicans*'ın sitrik asit ve NaOCl'e direncinin *E. faecalis*'ten daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir (160). Jerin ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada *E. faecalis* ve *C. albicans* zerine 4 farklı irrigasyon ajanı uygulanmış, ardından oluşturdukları inhibisyon zonuna göre başarı oranları kıyaslanmıştır. Çalışmadaki rnekler beş gruba ayrılmıştır. Grup 1: QMIX, Grup 2: Guava yaprağı zt, Grup 3: Aloe vera zt, Grup 4: %2.5 NaOCl, Grup 5: %2 CHX. Çalışmanın sonunda en büyük inhibisyon zonu QMIX grubunda olmuştur. Ardından en büyük zondan küçük zona sırasıyla %2 CHX, %2.5 NaOCl, Guava yaprağı zt, Aloe vera özütü şeklinindedir. %2.5'luk NaOCl'in *E. faecalis* ve *C. albicans* zerinde daha etkili olduğu rapor edilmiştir (161). Bu çalışmada kullanılan NaOCl konsantrasyonu daha düşük değerde tercih edilmesine rağmen bizim çalışmamıza benzer şekilde başarılı bir eliminasyon sağlanmıştır.

Bruna ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada başarısız kök kanal tedavilerinden en çok izole edilen *E. faecalis*, *C. albicans*, *S. aureus* ve *P. aeruginosa* üzerinde farklı konsantrasyonlarda NaOCl solusyonu ve fotodinamik terapinin (PDT) antibakteriyel etkisini karşılaştırmışlardır. Gruplar şu şekilde oluşturulmuştur; Grup 1: %1 NaOCl, Grup 2: %5.25 NaOCl, Grup 3: steril %0.85 NaCl ve PDT, Grup 4: %1 NaOCl ve PDT, Grup 5: %5.25 NaOCl ve PDT, Grup 6 (pozitif kontrol): steril %0.85 NaCl, Grup 7 (negatif kontrol): steril %0.85 NaCl. Her kanal için kullanılan irrikanlar 10 ml miktarında tercih edilmiştir ve her örnek için 90 saniye uygulanmıştır. İşlemin ardından bizim çalışmamızdaki şekilde steril serum fizyolojik emdirilmiş paper pointlerin kanal içinde 1 dakika bekletilmesi ile kültür alınmıştır. Çalışmanın sonunda %1'lik NaOCl grubunda tüm bakterilerde, %5.25'lik NaOCl grubunda tüm *E. faecalis* gruplarında üreme olurken *C. albicans* da %70 üreme olmuştur, %1'lik NaOCl'in PDT ile birlikte kullanıldığı grupta ise *E. faecalis* ve *C. albicans*'da sırasıyla %80 ve %90 oranlarında üreme göstermiştir. %5.25'lik NaOCl'in PDT ile birlikte kullanıldığı grupta her iki bakteride de %40 üreme gözlenmiştir (162). Bu çalışmada kullanılan mikroorganizmalar, kültür yöntemleri ve NaOCl konsantrasyonu bizim çalışmamızla aynıdır. Araştırmanın sonunda elde edilen verilerde aynı şekilde *E. faecalis* ve *C. albicans* üzerinde etkinlik sağlanmıştır. Ayrıca PDT yönteminin %5.25'lik NaOCl ile birlikte kullanıldığı gruptaki yüksek eliminasyon oranı PIPS grubuna paralel şekildedir. Ancak bizim çalışmamızda tüm örneklerin koloni sayımları mevcut olduğu için daha güvenilir sonuçlar içermektedir.

E. faecalis ve *C. albicans*'in inkübasyon süreleri literatürde farklılık arz etmektedir. Bu süre 24 saatten 4 haftaya kadar değişmektedir (163,164). Chivatxaranukul ve arkadaşlarının *E. faecalis*'in dentin tübül invazyonunu araştırdığı çalışmada 8 haftalık inkübasyonu ardından bakteriyel invazyon ve adezyonun maksimum olduğu bildirilmiştir (165). Biz de çalışmamızda bu süreye yakın olacak şekilde 4 hafta inkübasyon süresi tercih ettik (166). *Candida albicans*'ın inkübasyon süresi için farklı görüşler mevcuttur. Literatürde yer alan süreler 2 saat ile 28 gün arasında farklılık göstermektedir (66, 96, 167). Çalışmamızda dentin invazyonunun maksimum düzeyde olması düşüncesiyle bu inkübasyon süresini *E. faecalis* de olduğu gibi 4 hafta uyguladık.

Kök kanal tedavilerinde geçmişten bugüne vazgeçemediğimiz irrigasyon ajanı olan NaOCl'in Er,Cr:YSGG ve Er:YAG lazer dezenfeksiyonu ile antibakteriyel olarak karşılaştırıldığı bu çalışmada, NaOCl %5.25'lik konsantrasyonda kullanılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda NaOCl, %0.5'den %6'ya kadar uzanan bir konsantrasyon aralığı mevcuttur (11). Birçok çalışmada yüksek ve hızlı antibakteriyel etki için %5.25'lik konsantrasyon önerilmiştir (110, 168). Janir ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada salin ve %5.25 NaOCl'in yalnız ve PDT ile birlikte kullanıldığında E. faecalis üzerine antibakteriyel etkileri araştırılmış ve sonuç olarak %5.25'lik NaOCl'in tek başına ya da PDT ile birlikte kullanıldığında kök kanallarındaki E. faecalis üzerine aynı antibakteriyel etkide bulunduğu görülmüştür. Hatta 14 günün ardından alınan kültür sonuçları bizim çalışmamızla uyumlu bulunmuştur (168). Wang ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada Nd:YAG lazer ve Er,Cr:YSGG lazerin antibakteriyel etkisini %2.5'luk NaOCl ile karşılaştırmışlardır. Kök kanallarına uygulanan NaOCl %2.5'luk konsantrasyonda 2 dakika boyunca uygulanmış. Er,Cr:YSGG lazer ise 1 W ve 1.5 W gücünde 10 saniye ışınlama 15 saniye ara olacak şekilde 4 defa uygulanmıştır (150). Bizim çalışmamızdan farklı olarak su ve hava spreyi kapatılmıştır. Bu çalışmada kullanılan NaOCl konsantrasyonunun bizim çalışmamızda kullandığımızdan düşük olmasına rağmen benzer sonuçların çıkması dikkat çekici bir bulgudur. Er,Cr:YSGG lazerin kök kanalı içerisinde kuru şekilde kullanılması ve tüm kanal duvarlarına temas edememesi, kanaldaki mikroorganizmalara ulaşımı zorlaştırmış olabilir.

NaOCl'in uygulama süresi konusunda literatürde farklılıklar mevcuttur. Bu süre 10 saniye ile 30 dakika arasında değişkenlik göstermektedir. NaOCl'in kök kanallarında çok uzun süre düşük konsantrasyonda bekletilmesinin antibakteriyel başarıyı arttıracaklarını savunan bazı araştırmacılar vardır (163). Fakat sitotoksik olan bu ajanın kök kanallarında uzun kalması çok tehlikeli bir durum oluşturabilir. Bazı araştırmacılar ise yüksek konsantrasyonda kısa süreli uygulamanın başarılı olacağını savunmuşlardır (164). Bu çalışma ışığında biz de çalışmamızda %5'lik konsantrasyonda NaOCl'i 2 dakika süresince kanal içinde kullandık.

Lazerlerin dezenfeksiyon mekanizması ışınlama sırasında oluşan ısı etkisi ile olmaktadır (150). Er,Cr:YSGG lazerin dezenfeksiyon amacıyla kullanılan değerleri farklılık göstermektedir. Schoop ve arkadaşları Er,Cr:YSGG lazerin su ve hava soğutması

olmadan kullanıldığında 1 W ve 1.5 W gücünde ışınlama yapabildiğini, bu aralıkta sadece 3.2 °C'lik bir ısı artışı olduğunu bu değer de dokularda zararlı etkisinin olmadığını bildirmişlerdir (14). Abad – Gallegos ve arkadaşları ise hava ve su spreyi kullanmadan 1 W ve 2 W gücünde ışınlama yapmışlar. Ölçümlerde sıcaklık 10 °C geçmemiştir (170). Bu çalışmalar ışığında biz de çalışmamızda kullandığımız Er,Cr:YSGG lazeri 2 W gücünde uyguladık. Dişte oluşabilecek erime, karbonizasyon gibi termal yan etkilerin önüne geçmek adına çalışmamızda %35 hava %25 su soğutması yapılmıştır.

Son yıllarda Er:YAG lazer sistemlerinde “Foton İndüklenmiş Fotoakustik Dalgalanma” prensibi ile çalışan ve radyal ve şerit şeklinde dizayn edilen uç bir uçla kullanılan bir yöntem geliştirilmiştir. Literatürde bu yöntem, düşük enerjili lazerle fotoaktif dezenfeksiyon yöntemi olarak da isimlendirilmiştir. PIPS ile uygulanan Er:YAG lazerdeki kullanım prensibi; güç enerjisi kullanılarak kök kanalında bulunan irrigasyon solüsyonunda fotoakustik şok dalgalar oluşturmaktır. Peters ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada PIPS yöntemi ile irrigasyon solüsyonunun aktive edilmesinin; kökün apikal kısımlarında ve dentin kanalcıklarının içerisinde bulunan bakterileri tamamen ortadan kaldırmamasına karşın, apikal kısımda lazerle aktivasyonun, ultrasonik aktivasyon yöntemine kıyasla bakteri ve biofilm tabakasını daha iyi uzaklaştırdığını bildirmişlerdir (136). DiVito ve Lloyd çalışmalarında, PIPS lazer aktivasyon yöntemi ile termal hasar oluşturmadan, kök kanallarındaki biofilm tabakası üzerine etkin sonuçlar elde edilebileceğini bildirmişlerdir (135). Aynı araştırmacının başka bir çalışmasında da; kök kanallarında PIPS yöntemi ile irrigasyon solüsyonu aktivasyonunun, geleneksel yöntemle irrigasyona göre daha etkin şekilde smear tabakasını uzaklaştırdığı bildirilmiştir (171).

Mikrobiyolojik çalışmalarda kültür alma işlemi titizlikle yapılması gereken bir işlemdir. Bu amaçla kullanılan birçok yöntem vardır. Bunlardan birisi dentin yüzeylerinden kazıma yapılarak elde edilen talaşların toplanmasıdır (163). Bir başka yöntem ise örneklerin içerisine serum fizyolojik gönderilerek kanaldan birkaç defa çekilip tekrar kanala konulması yöntemidir (14, 151). Biz ise çalışmamızda steril paper-point yardımıyla kök kanallarından kültür alma yöntemini kullanmayı tercih ettik (165). Bu yöntemi tercih etme nedenimiz diğer yöntemlerden farklı olarak tüm kanal içindeki mikroorganizmalara ulaşma imkanı, uygulama kolaylığı ve güvenilirliğidir.

Çalışmamızdaki tüm örneklerin kök kanallarında steril serum fizyolojik emdirilmiş paper-pointleri 1 dakika boyunca tüm duvarlara temas ettirerek beklettik.

Schoop ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada Diyod, Nd:YAG, Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerlerin, *E. faecalis* ve *E. coli* üzerindeki antibakteriyel etkileri karşılaştırılmıştır. Tüm lazer sistemlerinde 400 µm fiber uç, 1 W ve 1.5 W güç değerlerinde kullanılmıştır. Su ve hava kapatılmıştır. İşlem 5 saniye lazer uygulaması 15 saniye ara verecek şekilde 5 kez tekrarlanmıştır. Toplamda 25 saniye ışınlama yapılmıştır. Bizim çalışmamızdan farklı olarak su ve hava spreyleri kullanılmamıştır. 1 W gücünde hiçbir lazer *E. faecalis*'e etkili olamazken, *E.coli* üzerinde ise bu güç değerinde en etkili lazer Er:YAG lazer olmuştur. Lazerler 1.5 W gücünde kullanıldıklarında yine *E. faecalis* eliminasyon oranı yetersiz kalmıştır. *E.coli* üzerinde daha başarılı sonuçlar olduğu bildirilmiştir. *E. faecalis*'in diğer mikroorganizmalara kıyasla kök kanal dezenfeksiyon ajanlarına daha dirençli bir bakteri olması bu durumun oluşmasına neden olmuş olabilir (13). Bizim çalışmamızdaki Er:YAG lazer grubunda farklı teknik ve uç kullanılmıştır. Ayrıca *E. faecalis* eliminasyonu anlamlı derecede yüksektir. Ancak Er,Cr:YSGG lazer grubundaki teknik benzerdir. Biz çalışmamızda hava ve su spreyi açık, daha ince bir uç, daha yüksek güç değerleri ve daha uzun lazer süresi kullanmayı tercih ettik. Buna rağmen benzer sonuç, lazer ucunun tüm kanal duvarlarına temasının mümkün olmamasından kaynaklanmış olabilir.

Gordon ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Er,Cr:YSGG lazerin radial emitting lazer uçları kullanılarak, *E. faecalis* ile kontamine edilmiş dentin modelleri üzerindeki dezenfeksiyon etkisini araştırmışlardır. Lazer 0.175 W ve 0.35 W değerlerinde 30, 60, 120 ve 240 saniye kullanılmıştır. NaOCl ise %2.5 konsantrasyonunda kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda hiçbir grupta %100 bakteri eliminasyonu olmamıştır. Ancak araştırmacılara göre lazer başarısı NaOCl'e göre daha yüksek bulunmuş ve Er,Cr:YSGG lazerin RFT uç ile birlikte kullanılmasının NaOCl'e alternatif bir yöntem olabileceği söylenmiştir (152). Bu çalışma bizim çalışmamızdan farklı sonuçlanmıştır. Çalışmada dentin disklerinin kullanılması farklı sonuç oluşmasına neden olmuş olabilir. Biz ise klinik uygulamaya yakın olması adına bütünlüğü bozulmamış kök kanalları kullanmayı tercih ettik. Ayrıca bu durumun lazer sistemindeki güç değerlerinin ve uygulama süresinin farklı olması ve NaOCl'in düşük konsantrasyonda uygulanmasından kaynaklanabileceği de düşünülmüştür.

Wang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Er,Cr:YSGG ve Nd:YAG lazerlerin NaOCl'e oranla *E. faecalis* üzerine antibakteriyel başarısı değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan NaOCl %2.5 konsantrasyonunda 5 ml miktarında 2 dakika uygulanmıştır. Lazerler ise 1 W ve 1.5 W güç değerlerinde 10 saniye ışınlama 15 saniye dinlenme olacak şekilde 4 kez tekrarlanmıştır. Su ve hava spreyi kullanılmamıştır. Çalışmanın sonunda Nd:YAG lazer ve NaOCl'in antibakteriyel başarısı Er,Cr:YSGG lazere oranla daha yüksek bulunmuştur (150). Bu çalışmanın bulguları bizim çalışmamızla benzer sonuçlar içermektedir. Er,Cr:YSGG lazerin uygulama prosedürü benzer olmasına rağmen tercih edilen güç değerleri bizim çalışmamızdan daha düşüktür. Ayrıca kullanılan NaOCl konsantrasyonu da %2.5 oranındadır. Ancak NaOCl uygulama süresi 2 dakikadır. Buna rağmen sonuçların benzer çıkması NaOCl'in uygulama süresinin de antimikrobiyal etkide önemli yeri olduğunu düşündürmüştür. Bizim çalışmamızda kullandığımız NaOCl'in kök kanallarına 2 dakika boyunca uygulanması ile Er:YAG lazer grubunda lazerle birlikte 25 saniyede uygulanması arasında *E. faecalis* üzerinde farklı bir etkisi olmazken *C.albicans* üzerinde sürenin artması etkiyi artırmıştır.

Schoop ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada Er,Cr:YSGG lazerin 4 saat inkübe edilen *E. faecalis* ve *E. coli* üzerine antibakteriyel etkilerini araştırmışlardır. Er,Cr:YSGG lazerle 300 µm çapında Z3 fiber uç kullanarak, 1 W ve 1.5 W, 20 Hz değerlerinde 5 saniye lazer uygulaması 20 saniye ara verecek şekilde 5 tekrar yapılmıştır. Uygulama esnasında hava ve su kullanılmamıştır. *E. coli* üzerinde 1.5 W gücünde kullanımla eliminasyon sağlandığı, fakat *E. faecalis* üzerinde iki güç değerinde başarı sağlamadığı bildirilmiştir (14). Bizim çalışmamızda 2 W çıkış gücü kullanılmasına ve inkübasyon sürelerinin farklı olmasına rağmen sonuçlar benzer çıkmıştır. Çok düşük inkübasyon süresine ve daha kalın uç kullanımına rağmen başarısızlığın nedeni, Er,Cr:YSGG lazerin yetersiz kanal duvar teması olabilir.

Eldeniz ve arkadaşları ise yaptıkları bir çalışmada bizim çalışmamıza benzer şekilde *E. faecalis* ile enfekte edilmiş farklı boyutta apekse sahip kök kanallarına Er,Cr:YSGG lazer ve NaOCl uygulamıştır. Er,Cr:YSGG lazer 200 µm çapında Z2 fiber uçla 0.5 W gücünde %20 hava ve su ile beraber uygulanmış, NaOCl ise %3'lük konsantrasyonda 15 saniye kullanılmıştır. Çalışmanın ardından lazer gruplarında tüm kök kanallarında tamamen eliminasyon oluşmazken, NaOCl gruplarında yüksek sterilizasyon sağlandığı

bildirilmiştir. Farklı apeks boyutlarının bakteriyel popülasyon üzerinde etkisi olmamıştır. Lazer grubunda ise özellikle apikal alandaki antibakteriyel etkinin yetersiz kaldığı ve apeks boyutlarının farklılık oluşturmadığı rapor edilmiştir (149). Bu çalışmanın bulguları yine NaOCl solüsyonunun yüksek antibakteriyel etkinliğini kanıtlar şekildedir. Ancak çalışmada kullanılan Er,Cr:YSGG lazerin düşük güç değerinde kullanılması, NaOCl solüsyonunun düşük konsantrasyonda tercih edilmesi ve inkübasyon süresinin 48 saat olarak uygulanması bizim çalışmamızdan farklı noktalar. Buna rağmen elde edilen sonuçlar benzerdir.

Franzen ve arkadaşlarının yaptıkları bir araştırmada, farklı kalınlıkta kesilmiş dentin dilimleri üzerine kontamine edilen *E. faecalis* üzerine Er,Cr:YSGG lazerin etkisi araştırılmıştır. Lazer 200 µm çapında fiber uç kullanılarak, 20 Hz ve 0.25 W değerlerinde 10 saniye ışınlama 5 saniye ara verilerek 4 defa tekrarlanmıştır. 100 mm ve 1000 mm kalınlıkta dentin disklerinde eliminasyon %93 ve %38 arasında değişkenlik göstermiştir. Bu çalışmada lazerin etkisinin, dentin tübüleri boyunca derinlere inildikçe azaldığı rapor edilmiştir (172). Bizim çalışmamızda dezenfeksiyon işlemlerinin hemen ve 4 hafta ardından kültür alınması ile tübüllerdeki mikroorganizmaların ne derece etkilendiğini görmek mümkün olmuştur. Er,Cr:YSGG ve Er:YAG gruplarında, lazer işleminin hemen ardından alınan bakteri miktarı ile 4 hafta ardından alınan miktar arasında fark oluşurken, NaOCl grubunda, iki kültür sonucu arasında anlamlı bir fark oluşmamıştır. Bu sonuç bize NaOCl'in tek başına tübüllerde arta kalan mikroorganizmalar üzerinde etkisinin yeterli olabileceğini göstermiştir. Franzen ve arkadaşlarının çalışmasında dentin disklerinin tercih edilmesi lazerin klinik kullanımındaki temas eksikliğini engellemiş olabilir.

Schoop ve arkadaşları yaptıkları bir başka çalışmada Er,Cr:YSGG lazeri RFT uç ile birlikte kullanarak *E. coli* ve *E. faecalis* üzerinde antibakteriyel etkisini araştırmışlardır. Lazer 2 W ve 3 W çıkış gücünde, 20 Hz atım hızında hava ve su soğutması olmadan kullanılmıştır. İşlem 5 saniye ışınlama 20 saniye ara verecek şekilde 5 defa tekrarlanmıştır. *E. coli* üzerinde 3 W güç değeri etki sağlarken, *E. faecalis* üzerinde hiçbir etki sağlanamamıştır (151). Bu çalışmada *E. faecalis* inkübasyonu 4 saat olmasına rağmen çalışmanın sonuçları bizim çalışmamızla benzerdir. Ayrıca RFT uç kullanımı ve aynı güç değerlerinin kullanımına rağmen çalışmamızla benzer sonuç elde edilmesi çalışmamızı destekler niteliktedir.

Arnabat ve arkadaşlarının yaptıkları bir başka çalışmada Er,Cr:YSGG lazerin E. faecalis ile enfekte edilmiş kök kanallarındaki antibakteriyel etkisi NaOCl ile karşılaştırılmıştır. Çalışmalarında bizim çalışmamıza benzer olarak 200 µm çapında Z2 uç, 20 Hz atım hızı, 1 ve 2 W gücünde lazerle %5'lik NaOCl kullanmışlardır. Kanallar 30 saniye 10 ml uygun konsantrasyonda NaOCl ile yıkanmıştır. Lazer ise 1 W ve 2 W güçlerinde 15 ve 30 mJ aralığında 30, 60, 120 saniye olacak şekilde kullanılmıştır. Lazer grubunda 2 W gücünde 60 saniye, 1 W gücünde 120 saniye kullanımındaki antibakteriyel etkinlik diğer gruplara oranla daha yüksek bulunmuştur (148). Bu sonuca göre lazer uygulama süresi antibakteriyel etkide önem taşımaktadır. Rapor ettikleri sonuçlar bizim sonuçlarımızla benzer şekildedir ve %5'lik NaOCl lazere göre antibakteriyel olarak daha etkili bulunmuştur. Çalışmanın ardından Er,Cr:YSGG lazerin kök kanal dezenfeksiyonu adına umut verici bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Ancak klinik olarak kök kanal lazer uygulamasının süresinin uzun olması, kökte ısı artışı oluşturarak karbonizasyon ve erimeye neden olabilir. Bu çalışmada E. faecalis inkübasyon süresi bizim çalışmamızdan farklı olarak 24 saattir ve kök kanallarından örnek alma işlemi şırınga metodu ile yapılmıştır.

Yavari ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada yüksek güç ayarlarında kullanılan Er,Cr:YSGG lazerin NaOCl'e olan antibakteriyel oranı değerlendirilmiştir. E. faecalis ekilmiş örneklerin kök kanallarına uygulanan lazer 200 µm çapında Z2 uç kullanılarak, 20 Hz atım hızında %20 hava ve su değerlerinde, 2 W ve 3 W çıkış güçlerinde uygulanmıştır. Lazer işlemi 8 saniye ışınlama 30 saniye dinlenme olacak biçimde 2 defa tekrarlanmıştır. NaOCl ise %1 konsantrasyonunda 5 ml miktarında 15 dakika boyunca kanallara uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda elde edilen bulgularda NaOCl gruplarında tamamen bakteri eliminasyonu sağlanırken, lazer grubu eliminasyonda yetersiz kalmıştır (163). NaOCl solüsyonunun düşük konsantrasyonda ve uzun sürede kullanılması, bizim çalışmamızda tercih ettiğimiz %5 konsantrasyon ve 2 dakika uygulama ile benzer sonuçlanmıştır. Ancak klinik kullanımda bu kadar uzun uygulama süresi pratik olmayacaktır. Aynı şekilde Er,Cr:YSGG lazerin yüksek güçte uygulaması dahi tamamen eliminasyonu sağlamamıştır.

Onay ve arkadaşları yaptıkları bir araştırmada, Er,Cr:YSGG lazerin tek ya da NaOCl ile kombine biçimde farklı güç ayarlarında kullanıldığında C. albicans üzerindeki etkisini

değerlendirmişlerdir. Lazer 20 Hz atım hızında, 1 W ve 0.75 W gücünde, %35 hava ve %0 su değerlerinde uygulanmıştır. Lazer uygulaması 5 saniye ışınlama 5 saniye ara vererek 5 tekrar şeklinde yapılmıştır. NaOCl ise %5.25 konsantrasyonunda 2 ml miktarında 1 dakika boyunca tek ve lazerle kombine biçimde uygulanmıştır. En yüksek eliminasyon oranı NaOCl ile kombine uygulanan 1 W gücündeki lazer grubunda olurken (%92), En düşük oran NaOCl'in tek uygulandığı grupta olmuştur (%83.3). Hiçbir grupta %100 başarı olmamıştır (136). Bu çalışmada kullanılan lazer tekniği bizim çalışmamızdan farklıdır. Çalışmanın sonuçlarına göre NaOCl grubunda bizim çalışmamızdan farklı olarak daha düşük eliminasyon gözlenmesinin, NaOCl'in daha düşük miktarda ve 1 dakika uygulanmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Cheng ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG lazerlerin ve antimikrobiyal FotoDinamik Terapi'nin (aPDT) *E. faecalis* üzerine bakterisid etkileri değerlendirilmiştir. Nd:YAG lazer 15 Hz, 1.5 W parametrelerinde 4 saniye ışınlama 15 saniye ara olacak şekilde 4 defa tekrarlanmıştır. Er:YAG lazer kanallar %5.25'lik NaOCl, serum ve distile su ile doldurulduktan sonra 0.3 W, 15 Hz değerlerinde 20 saniye uygulanmıştır. Er,Cr:YSGG lazer ise 1 W gücünde, 20 Hz atım hızında 12 saniye ışınlama 15 saniye dinlenme şeklinde 4 kez tekrarlanmıştır. aPDT grubunda ise metilen mavisi ile doldurulan kanallar 2 mm çapında fiber optik uç ile 20 Hz atım hızında 60 saniye LED ışığı ile uygulanmıştır. NaOCl solusyonu %5.25'lik konsantrasyonda 5 ml miktarında 60 saniye süresince kanallara uygulanmıştır. Çalışmanın ardından sadece Er:YAG lazerin NaOCl ile birlikte kullanıldığı grupta %100 başarı sağlanmıştır. NaOCl grubunda %99.99 eliminasyon olurken Er,Cr:YSGG lazer grubunda %93.29 oranında eliminasyon sağlanmıştır (164). Er,Cr:YSGG lazer grubunda düşük güç değeri kullanılmasına rağmen yüksek bakteriyel eliminasyon oranı bizim çalışmamızdan farklı olan bir sonuçtur. NaOCl ve Er:YAG gruplarındaki yüksek antibakteriyel etki ise çalışmamızla paraleldir. NaOCl uygulama süresi ve miktarını daha yüksek oranda kullanmamıza rağmen benzer bir başarı yüksek konsantrasyondaki NaOCl'in başarısında sürenin çok önemli olmadığını düşündürmüştür. Ancak yaptığımız çalışmada NaOCl'in 2 dakika boyunca kanallara verilmesi ile 25 saniyelik Er:YAG lazer uygulaması karşılaştırıldığında, *C. albicans* üzerinde NaOCl uygulamasının süresinin de önemli olduğu görülmüştür.

Licata ve arkadaşları yaptıkları çalışmada *E. faecalis* ile enfekte edilmiş örneklerde Er,Cr:YSGG lazer ve NaOCl'in antimikrobiyal etkisini karşılaştırmışlardır. Çalışmada 200 µm çapında RFT uç değişik sürelerde ve farklı güç değerlerinde kullanılmış ve 4 grup oluşturulmuştur; 1.Grup: 0.75 W, 30 saniye, Grup 2: 0.75 W, 60 saniye, Grup 3: 0.25 W, 60 saniye. Grup 1, 2 ve 3 deki lazer uygulamaları %17 EDTA ve %5.25 NaOCl ile birlikte yapılmıştır. 4. Grup: % 17 EDTA ve %5.25 NaOCl. Dezenfeksiyon işlemlerinin ardından lazer grupları hemen, kontrol grubu ise 30 dakika sonra salinle irriga edilmiştir. Grup 1'de %92.3, Grup 2'de %100, Grup 3'de %46.1, Grup 4'de %92.3 oranlarında eliminasyon sağlanmıştır (22). Bu çalışmadaki tekniğin farklı olmasından dolayı bulgularımızı karşılaştırmamız mümkün olmamaktadır. Çalışmanın sonucunda RFT sistemin NaOCl ile beraber kullanılmasının dezenfeksiyon adına ideal olabileceği öne sürülmüştür. Sadece kontrol grubundaki yüksek bakteri eliminasyonu bizim çalışmamızla benzerdir.

Martins ve arkadaşları yaptıkları bir in vivo çalışmada Er,Cr:YSGG lazer RFT uç ile beraber kullanılarak nekrotik pulpalı periapikal lezyonlu dişlerdeki iyileşme oranını değerlendirmişlerdir. 1. gruptaki hastalar, %3'lük NaOCl uygulamasının ardından kanallara CaOH₂ gönderilmiş ve hastalar 2. seansa çağrılmıştır. Hastalar 2. seansa geldiklerinde kanallar tekrar %3'lük NaOCl ile yıkanıp doldurulmuştur. Diğer grupta ise Er,Cr:YSGG lazer, 1.seansta RFT uç kullanılarak 0.75 W, 20 Hz, hava-su kapalı parametrelerinde uygulanmıştır. 2.seansta ise yine RFT uç 1.25 W, 20 Hz, hava-su kapalı şekilde uygulanmıştır. Lazer uygulaması kök kanalllarına distile su doldurularak yapılmıştır. 6 aylık takibin ardından periapikal indekslerine bakılan lezyonların boyutundaki değişim değerlendirildiğinde 1. Gruptaki hastaların %66.67'sinde iyileşme tamamlanmış, %83.33'ünde iyileşme başlamış, %16.67'sinde lezyon değişmemiştir. 2. Gruptaki hastalarda ise %58.82'sinde iyileşme olmuş, %82.35'inde iyileşme başlamış, %17.65'inde lezyon boyutunda değişme olmamıştır. İstatistiksel analiz sonunda iki grup arasında anlamlı bir fark görülmemiştir (173).

Martins ve arkadaşlarının 2014 yılında yaptıkları bir başka in vivo çalışmada ise apikal periodontitisli ve devital tek köklü matür premolar dişler kullanılmıştır. 1. grupta dişlerin preparasyonun ardından %3'lük NaOCl ve CaOH₂ kullanılmıştır. 2. grupta ise 1. seansta distile su ile doldurulmuş kök kanalları içerisine 0.75 W, 20 Hz, hava ve su olmayan 270 µm çapında RFT uç kullanılmıştır. 2. seansta kanallar yine distile su ile

doldurulmuş 1.25 W, 20 Hz, hava ve su olmayan 320 µm çapında RFT uç kullanılmıştır. Ardından kanallar salin solusyonu ile yıkanmıştır. Hastalara 12 ayın ardından yapılan kontrollerde 1. gruptan 12, 2. gruptan 18 diş değerlendirmeye alınmıştır. NaOCl grubunda tüm dişlerde iyileşme gözlenirken, lazer grubunda bu oran %88.9 olarak belirtilmiştir. Yine bu iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşmadığı kabul edilmiştir (174). RFT uça ilgili in vivo kaynak ve çalışmalar yetersizdir ve ilave çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır.

Özkan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Er,Cr:YSGG lazerin RFT uça birlikte farklı güç değerlerinde kullanıldığında *C. albicans* üzerindeki antifungal etkisini araştırmışlardır. Geleneksel yöntemle prepare edilen örnekler *C. albicans* ile 72 saat inkübe edilmiştir. Ardından dişler 5 gruba ayrılmıştır; Grup 1: Er,Cr:YSGG lazer 1.5 W, 20 Hz, %25 su, %35 hava, Grup 2: Er,Cr:YSGG lazer 2 W, 20 Hz, % 25 su, %35 hava. Grup 3: Er,Cr:YSGG lazer 2 W, 20 Hz, %25su, %35 hava, Grup 4: 2 ml %5 NaOCl 1 dakika, Grup 5: Negatif kontrol. Grup 1 ve 2 kendi arasında ayrı olarak karşılaştırılarak lazer güç değerlerinin maya üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Diğer gruplarda ise NaOCl ile Er,Cr:YSGG lazerin antifungal etkisi karşılaştırılmıştır. Lazer 10 saniye ışınlama 5 saniye ara vererek 4 defa tekrarlanmıştır. Dezenfeksiyon işleminin ardından kök kanallarından kültür alınmış ve CFU/ml değerleri hesaplanmıştır. Farklı güç değerlerinin fungal eliminasyona etkisini anlamak için Grup 1 ve 2 karşılaştırılmış. 2 W gücünde %75.4, 1.5 W gücünde %67.7 oranında antifungal etki olmuştur. Lazer ve NaOCl'in antifungal etkisine bakmak için Grup 3 ve Grup 4 karşılaştırılmıştır. Lazer grubunda 2 W güçte mantar eliminasyonu %79.17 iken, NaOCl grubunda %100 oranında bulunmuştur (21). Bu çalışmada elde edilen bulgular bizim çalışmamızla benzerdir. Lazer parametreleri ve uygulama süreleri aynıdır. Çalışmada aynı konsantrasyonda NaOCl kullanılmış fakat miktar ve süresi farklı uygulanmıştır. Yine de benzer sonuçların elde edilmesi NaOCl'in antibakteriyel etkisinde konsantrasyonun miktar ve süreden daha önemli olduğunu düşünmemizi sağlamıştır.

Christo ve arkadaşları yaptıkları araştırmada 4 hafta *E. faecalis* ile inkübe edilmiş dişlerde düşük konsantrasyonda NaOCl ve lazerin antibakteriyel etkisini karşılaştırmışlardır. Dişler FlexMaster ege ile prepare edildikten sonra 5 ml %17'lik EDTA ile 2 dakika yıkanmıştır. Ardından dişler 6 gruba ayrılmıştır; Grup 1: 5ml %0.9'luk Salin, Grup 2: %1 NaOCl, Grup 3: %4 NaOCl, Grup 4: %0.5 NaOCl ve

Er,Cr:YSGG lazer, Grup 5: %1 NaOCl ve Er,Cr:YSGG lazer, Grup 6: %4 NaOCl ve Er,Cr:YSGG lazer. Er,Cr:YSGG lazer RFT 3 uç kullanılarak 25 mJ, 20 Hz değerlerinde su ve hava olmadan 15 saniye ışınlama ve ara olacak şekilde 4 tur uygulanmıştır. İşlem 2 dakika sürmüştür. Her uygulamada 1.25 ml NaOCl 15 saniye uygulanmış ve toplamda 5 ml solusyon kullanılmıştır. Dezenfeksiyon işlemlerinin ardında elde edilen verilerde salin grubu dışında diğer gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşmamıştır. %4 NaOCl'in lazerle birlikte kullanımının tek başına kullanımına göre daha yüksek bir antibakteriyel etkisi olmazken, bu durum %5 NaOCl konsantrasyonunda bile aynı sonuçlanmıştır (23). Böylece NaOCl'in tek yada Er,Cr:YSGG lazerle birlikte kullanımının mikrobiyal eliminasyon adına bir katkı sağlamadığı sonucuna varılmıştır. Licata ve arkadaşlarının çalışmalarında da Er,Cr:YSGG lazerle birlikte ya da tek kullanılan NaOCl'in antibakteriyel başarısı benzer oranda bulunmuştur. Ayrıca düşük güç değerlerindeki lazerin antimikrobiyal etkinliği düşük konsantrasyondaki NaOCl kadar başarılı olamamıştır.

Janir ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada salin ve %5.25'lik NaOCl'in yalnız veya PDT ile birlikte kullanıldığında E. faecalis üzerine antibakteriyel etkileri araştırılmış ve dezenfeksiyon işlemlerinin ardından 14 gün beklenerek kültür alınmıştır. Sonuç olarak %5.25'lik NaOCl'in tek başına ya da PDT ile birlikte kullanıldığında kök kanallarındaki E. faecalis üzerine aynı antibakteriyel etkide bulunduğu görülmüştür (169). Bizim çalışmamızda da NaOCl solusyonunun Er:YAG lazer ile birlikte kullanımında aynı sonuç elde edilmiştir. Bu durumda NaOCl'in etkinliği artırmak amacı ile kullanılan yöntemin de önem taşımadığı düşünülmektedir.

Pedulla ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 15 gün E. faecalis ile kontamine edilmiş kök kanallarında düşük enerji seviyelerinde kullanılan PIPS'in dezenfeksiyon etkisini araştırmışlardır. Örnekler 4 gruba ayrılmıştır; Grup A: 30 saniye steril salin, Grup B: 30 saniye %5 NaOCl, Grup C: Er:YAG lazer+ salin, Grup D: Er:YAG lazer+NaOCl, Grup E: pozitif kontrol. Dezenfeksiyon işlemlerinin ardından meydana gelen bulgulara göre NaOCl'in yalnız ya da Er:YAG ile beraber kullanılmasının bakteriyel azalmada bir fark oluşturmadığı görülmüştür. Lazer aktivasyonu ile NaOCl'in kullanımı salin kullanımına göre daha yüksek oranda eliminasyon sağlamıştır (27). Çalışmanın bulguları bizim çalışmamızı destekler şekilde lazerin tek başına kullanımının NaOCl olmadan kısıtlı düzeyde kalabileceğini göstermiştir. Ayrıca bu çalışmadaki kültür sonuçları

dezenfeksiyon işlemlerinin hemen ardından alınmıştır. Bizim çalışmamızda da aynı şekilde NaOCl'in tek ve Er:YAG lazerle birlikte kullanıldığı gruplardaki bakteriyel azalma oranı benzerdir.

Olivi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada *E. faecalis* ile kontamine edilmiş kök kanallarında PIPS'in antibakteriyel etkisini araştırmışlardır. Örnekler Profile GT ile prepare edildikten sonra 4 hafta inkübe edilmiştir. Ardından dişler 2 gruba ayrılmıştır; Grup A: 600 µm PIPS uç, 20 mj, 15 Hz, 0.3 W, 50 µs değerlerinde 30 saniye 3 ml % 5 NaOCl ile 30 saniye ara vererek 2 defa kullanılmıştır. Ardından kanallar steril salinle yıkanıp tekrar 30 saniye %17 EDTA uygulanmıştır. Grup B: Max-I-Probe iğne ile 30 saniye 3 ml %5 NaOCl 30 saniye ara vererek 2 defa uygulanmıştır. İki siklus arasında kanallar 30 ml steril salinle yıkanıp, en son tekrar 30 saniye %17 EDTA uygulanmıştır. Dezenfeksiyon işleminin hemen ardından ve 48 saat sonra kültür alınmıştır. Her iki grupta da anında alınan kültürlerde çok yüksek oranda bakteriyel eliminasyon sağlanırken, 48 saat sonraki eliminasyon oranına bakıldığında A grubunda tekrar üreme görülmezken B grubunda 10 örnekte de tekrar üreme olmuştur. Bizim çalışmamızda işlemlerin hemen ardından alınan kültürler, kontrol ve Er:YAG (PIPS) grubunda yüksek oranda eliminasyonla sonuçlanmıştır. Ancak 4 hafta ardından alınan sonuçlarda iki grupta da %100 antibakteriyel başarı sağlanamamıştır. Buna rağmen NaOCl uygulamasının hemen ve 4 hafta sonrasındaki mikrobiyal azalma oranları arasında fark oluşmazken, Er:YAG lazerde *E. faecalis* gruplarında fark oluşmuştur (28). Ayrıca bizim çalışmamızda bakteri kontaminasyonu öncesinde tüm gruplarda %17'lik EDTA irrigasyonu yapılmıştır. Böylece dentin tübüleri içerisine bakteri geçişi sağlanmış olacaktır. Ek olarak tüm irrigasyon ajanlarının tübül içerisine ulaşımı kolaylaşacaktır.

Xiaofei Zhu ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada Er:YAG lazerin PIPS uç ile birlikte kullanıldığında geleneksel iğne irrigasyonuna oranla kök kanal dezenfeksiyonu ve smear tabakasını uzaklaştırmadaki etkisini karşılaştırmışlardır. Örnekler BioRace Ni-Ti eğe ile prepare edildikten sonra %17 EDTA ile 3 dakika yıkanmıştır. Ardından *E. faecalis* ile 4 hafta inkübe edilmiştir. Her grupta 8 örnek bulunan 6 deney grubu oluşturulmuştur; Grup 1: kontrol grubu, 10 ml %0.9 steril salin, Grup 2: 10 ml %3 NaOCl; Grup 3: 10 ml %0.2 CHX; Grup 4: 10 ml %17 EDTA; Grup 5: 5 ml %3 NaOCl ve 5 ml %17 EDTA, Grup 6: %3 NaOCl ve Er:YAG lazer. Er:YAG lazer 400 µm PIPS uç ile 20 mj, 15 Hz, 50 µs parametrelerinde kullanılmıştır. Steril paper point yöntemi

kullanılarak kültür alma işleminin ardından alınan koloni değerlerine göre en yüksek eliminasyon Grup 2, Grup 5 ve Grup 6 da olmuştur. Bu çalışma bizim çalışmamızla aynı sonuçları içermektedir. Biz de aynı şekilde PIPS+NaOCl ve NaOCl gruplarında yüksek oranda bakteriyel azalma saptadık. Bizim çalışmamızla paralel olarak iki grup arasında anlamlı fark bulunmaması, NaOCl'in PIPS tekniğiyle birlikte kullanılmasının antibakteriyel başarıyı artırmada çok etkili olmadığı düşüncesini kuvvetlendirmiştir. SEM aşamasında elde edilen sonuçlarda NaOCl ve EDTA'nın birlikte kullanıldığı grupta ve PIPS grubunda en yüksek smear kaldırma oranı görülürken, diğer gruplar arasında anlamlı fark olmadığı sonucuna varılmıştır (175). Elde edilen veriler ışığında PIPS, NaOCl ile beraber kullanıldığında başarılı bir antibakteriyel etki sağlarken, apikal üçlüdeki smear tabakasını kaldırmada yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada elde edilen antibakteriyel sonuçlar bizim çalışmamızla benzerdir.

Shahrani ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada 3 hafta E. faecalis ile inkübe edilmiş kök kanallarında Er:YAG lazerin PIPS uç ile kullanılmasının antibakteriyel başarıya olan etkisine bakılmıştır. Dişler Twisted file ile prepare edilip %17 EDTA ile 1 dakika yıkandıktan sonra 4 gruba ayrılmıştır: Grup 1: Negatif kontrol, Grup 2: PIPS+%6 NaOCl (7 ml, 30 sn), Grup 3: PIPS+saline, and Grup 4: %6 NaOCl. Er:YAG lazer PIPS uç ile 20 mJ, 15Hz, 0.3 W değerlerinde kullanılmıştır. Grup 2'de 7 ml %6 NaOCl solüsyonu 30 saniye boyunca 3 kez tekrarlanmış ve toplamda 90 saniye 21 ml NaOCl uygulanmıştır. Ardından kanallar 60 saniye 7 ml salinle yıkanmıştır. Grup 3'de 28 ml %0.9 salin 150 saniye uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda yapılan değerlendirme ile en yüksek bakteriyel azalma oranı PIPS ve NaOCl'in birlikte kullanıldığı grupta olmuştur. Diğer gruplar arasında istatistiksel olarak bir fark oluşmamıştır (176). Bu çalışmada elde edilen veriler bizim çalışmamızla benzerlik göstermektedir.

Balic ve arkadaşları yaptıkları çalışmada PIPS uç ile kullanılan Er:YAG lazerin ve sonik aktivasyon yapan EndoActivator sistemin QMIX ve NaOCl ile birlikte kullanıldığında E. faecalis biyofilmine etkisini karşılaştırmışlardır. 15 gün E. faecalis inkübasyonunun ardından dişler 6 gruba ayrılmıştır; G1: PIPS/Er:YAG lazer (0.3 W, 20 mJ, 15 Hz, 50 µs, 3 × 20 s) ve QmiX, G2: PIPS/Er:YAG lazer ve %2.5 NaOCl, G3: Sonik aktivasyon (EndoActivator) 60 s ve QmiX, G4: Sonik aktivasyon 60 s ve %2.5 NaOCl; G5: QmiX, G6: %2.5 NaOCl ve pozitif kontrol: Salin %0.9. Kök kanallarındaki E. faecalis varlığı ya da yokluğu polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ve

Scanning elektron mikroskobu (SEM) ile belirlendi. Bütün gruptaki bakteriyel azalma benzer bulundu. Sonik aktivasyon ve NaOCl (%99.999), Sonik aktivasyon ve QMiX (%99.999), PIPS ve QMiX (%99.999), NaOCl (%99.998), PIPS ve NaOCl (%99.966) oranlarında bakteriyel eliminasyon görüldü (29). Bu çalışmada da Ni-Ti döner ege sistemi (Protaper Next) kullanılmış ve örnekler bakteri kontaminasyonu öncesi %15'lik EDTA solusyonu ile yıkanmıştır. İnkübasyon süresinin uzun tutulması da benzer bir seçimdir. Bizim çalışmamızda da dezenfeksiyon işleminin hemen ardından alınan kültür sonuçlarında NaOCl ve Er:YAG lazer gruplarında yüksek antibakteriyel etki saptanmıştır. Ayrıca NaOCl'in tek ya da PIPS ile birlikte uygulanmasının ilk kültürde antibakteriyel olarak anlamlı bir fark oluşturmadığını görülmüştür.

Meyer ve arkadaşları *E. faecalis* ve *S. mutans* ile kontamine edilmiş resin kök kanal modellerinde Er:YAG lazerin antimikrobiyal etkisini araştırmışlardır. Modeller 48 saat inkübasyonun ardından 2 ana gruba ayrılmıştır; Grup 1: ultrasonik irrigasyon, Grup 2: Er:YAG lazer ;1. Gruptaki örnekler 3 ml %0.3'lük NaOCl, 2. Gruptaki örnekler ultrasonik irrigasyon, 3. Gruptaki örnekler 24 mm uzunlukta 400 µm çapında fiber uç (PIPS) hava ve su kapalı olacak şekilde 20 Hz, 50 ms, 20 mj gücünde Er:YAG lazer 20 saniye uygulanmış, 4. Gruptaki örnekler 3. Gruptan farklı olarak 40 mj, 5. Gruptaki örnekler diğer lazer gruplarından farklı olarak çalışma boyundan 6 mm kısa olacak şekilde ışınlama yapılmıştır. Bütün grupta steril salin ve %2.5'lik NaOCl irrigasyonu yapılmıştır. Steril salinle birlikte kullanıldığında Er:YAG lazerin biyofilm üzerine etkisi ultrasonik yöntemden fazla olurken, %2.5 NaOCl ile birlikte kullanıldığında arada bir fark oluşmamıştır (177). Bu çalışmada gerçek insan dişi kullanılmamasına, inkübasyon sürelerinin ve NaOCl konsantrasyonunun farklı olmasına rağmen alınan sonuçlar benzerdir. Elde edilen sonuç gösteriyor ki NaOCl'in beraber kullanıldığı yöntemin bakteriyel azalmadaki etkisi önemsizdir. Ancak bu çalışmanın diğer bir dikkat çekici yönü steril salinle kullanıldıklarında Er:YAG lazerin daha etkili çıkmasıdır. Bu da dezenfeksiyonda tekniğin önemli olduğu düşüncesini kuvvetlendirmektedir. Sonuç olarak bizim yaptığımız çalışmada da aynı şekilde NaOCl'in tek başına ya da Er:YAG lazer (PIPS) tekniği birlikte kullanılması ile anında alınan kültür sonuçlarında belirgin fark oluşmamıştır. Dezenfeksiyonun hemen ve 4 hafta ardından alınan kültürler arasındaki bakteri miktarındaki artış, *E. faecalis* üzerinde sadece NaOCl grubunda olmazken, *C. albicans* üzerinde hem NaOCl hem de Er:YAG gruplarında olmamıştır.

Er,Cr:YSGG ve Er:YAG lazerlerin geleneksel bir yöntem olan NaOCl'e alternatif bir yöntem olup olamayacağını araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar:

- Kontrol grubunda, %5'lik NaOCl 2 dakika boyunca kök kanallarına uygulanmıştır. İşlemin hemen ardından alınan kültürde belirlenen bakteri-maya miktarı ile başlangıç miktarı arasında anlamlı düzeyde mikrobiyal azalma görülmüştür.
- NaOCl uygulamasının 4 hafta ardından alınan bakteri-maya miktarı ile başlangıç miktarı arasında anlamlı düzeyde mikrobiyal azalma görülmüştür.
- NaOCl uygulamasının hemen ve 4 hafta ardından belirlenen bakteri-maya miktarları kıyaslandığında aralarında istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır.
- Er:Cr:YSGG lazer grubunda 200 µm RFT uç, 2 W, 20 Hz, %25 su ve %35 hava parametrelerinde, 12 saniye ışınlama, 10 saniye dinlenme şeklinde 4 tekrarla toplamda 48 saniye lazer uygulaması yapılmıştır. İşlemin hemen ardından alınan kültürde belirlenen bakteri-maya miktarı ile başlangıç miktarı arasında anlamlı düzeyde mikrobiyal azalma görülmüştür.
- Er:Cr:YSGG lazer uygulamasının 4 hafta ardından alınan bakteri-maya miktarı ile başlangıç bakteri miktarı arasında mikrobiyal azalma görülmemiştir.
- Er:Cr:YSGG lazer uygulamasının ardından hemen ve 4 hafta ardından belirlenen bakteri-maya miktarları arasında istatistiksel olarak fark bulunmaktadır.
- Er:YAG lazer grubunda PIPS uç, 0.8 W, 20 Hz, 40 mJ değerlerinde, 5 saniye ışınlama, 5 saniye dinlenme şeklinde 5 period uygulanmıştır. Toplamda 25 saniye ışınlama yapılmıştır. İşlemin hemen ardından alınan kültürde belirlenen bakteri-maya miktarı ile başlangıç miktarı arasında anlamlı düzeyde mikrobiyal azalma görülmüştür.
- Er:YAG lazer uygulamasının 4 hafta ardından belirlenen bakteri-maya miktarı ile başlangıç bakteri miktarı arasında anlamlı düzeyde mikrobiyal azalma görülmüştür.
- Er:YAG lazer uygulamasının hemen ve 4 hafta ardından alınan bakteri miktarları arasında istatistiksel olarak fark bulunurken, maya miktarında fark bulunmamıştır

Çalışmamızın sonuçları gösteriyor ki; Er,Cr:YSGG lazer (RFT) tek başına ideal bir irrigasyon ajanı olmak için yeterli değildir. Uygun parametrelerde su ve hava soğutması ile beraber kullanıldığında smear tabakası ve debris kaldırmadaki başarısından dolayı

kullanımı tercih edilebilir. Bu konu ile ilgili yeni çalıřmaların yapılması gerektięi dūřunūlmektedir.

Er:YAG lazer (PIPS) ise üzerinde çalışılması gereken bir konudur. Çalışmamızda mikroorganizma azalması üzerinde yüksek bir başarı göstermiştir. Ancak PIPS'in dezenfeksiyondaki etkisi ile ilgili yeterli düzeyde çalışma mevcut değildir. Literatürde çoğunlukla smear ve debrisi kaldırma konusu ile ilgili çalışmalar vardır. Kök kanal dezenfeksiyonu ile ilgili yeni araştırmaların yapılması gerekmektedir.

İdeal bir kök kanal tedavisi için kullanılan irrigasyon ajanı evre dokulara zarar vermeden bakteriyel popülasyonu tamamen elimine etmelidir. Fakat günümüzde bu şartları sağlayacak bir dezenfeksiyon ajanı bulunmamaktadır. Bu arayışa cevap olabilecek ideal ajanı bulmaya yönelik çalışmaların devam etmesi ve in vivo olarak desteklenmesi gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Alaçam T. Endodonti: Adana Nobel Tıp Kitabevi; 2012. 100-5 p.
2. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The Effects of Surgical Exposures of Dental Pulps in Germ-Free and Conventional Laboratory Rats. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1965 Sep;20:340-9.
3. Sundqvist G. Ecology of the root canal flora. *Journal of endodontics*. 1992 Sep;18(9):427-30.
4. Love RM, Jenkinson HF. Invasion of dentinal tubules by oral bacteria. *Critical reviews in oral biology and medicine: An official publication of the American Association of Oral Biologists*. 2002;13(2):171-83.
5. Bystrom A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scandinavian journal of dental research*. 1981 Aug;89(4):321-8.
6. Perez F, Calas P, de Falguerolles A, Maurette A. Migration of a *Streptococcus sanguis* strain through the root dentinal tubules. *Journal of endodontics*. 1993 Jun;19(6):297-301.
7. Siqueira JF, Jr., Sen BH. Fungi in endodontic infections. *Oral surgery, oral medicine and oral pathology*. 2004 May;97(5):632-41.
8. Sundqvist G, Figdor, D. Life as an endodontic pathogen. *Endodontic Topics*. 2003;6:3-8.
9. Young GR, Parashos P, Messer HH. The principles of techniques for cleaning root canals. *Australian dental journal*. 2007 Mar;52(1 Suppl):S52-63.
10. Berutti E, Marini R, Angeretti A. Penetration ability of different irrigants into dentinal tubules. *Journal of endodontics*. 1997 Dec;23(12):725-7.
11. Haapasalo M. Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontic topics*. 2005;10:77-102.
12. Sulewski JG. Historical survey of laser dentistry. *Dental clinics of North America*. 2000 Oct;44(4):717-52.
13. 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 in surgery and medicine*. 2004;35(2):111-6.

14. Schoop U GK, Klimscha J, Zagler M, Wernisch J, Georgopoulos A, Sperr W, Moritz A. The use of the erbium, chromium: yttrium-scandium-gallium-garnet laser in endodontic treatment: The results of an in vitro study. *Journal of the American Dental Association*. 2007; DOI: <http://dx.doi.org/10.14219/jada.archive.2007.0291>
15. Poli R, Parker S. Achieving Dental Analgesia with the Erbium Chromium Yttrium Scandium Gallium Garnet Laser (2780 nm): A Protocol for Painless Conservative Treatment. *Photomedicine and laser surgery*. 2015 Jul;33(7):364-71.
16. Kirmali O, Kustarci A, Kapdan A, Er K. Effects of dentin surface treatments including Er,Cr:YSGG laser irradiation with different intensities on the push-out bond strength of the glass fiber posts to root dentin. *Acta odontologica Scandinavica*. 2015 Jul;73(5):380-6.
17. Al Bukhary R, Wassell R, Sidhu S, Al Naimi O, Meechan J. The local anaesthetic effect of a dental laser prior to cavity preparation: A pilot volunteer study. *Operative dentistry*. 2015 Mar-Apr;40(2):129-33.
18. Bolhari B, Ehsani S, Etemadi A, Shafaq M, Nosrat A. Efficacy of Er,Cr:YSGG laser in removing smear layer and debris with two different output powers. *Photomedicine and laser surgery*. 2014 Oct;32(10):527-32.
19. Vergauwen TE, Michiels R, Torbeyns D, Meire M, De Bruyne M, De Moor RJ. Investigation of Coronal Leakage of Root Fillings after Smear Layer Removal with EDTA or Er,Cr:YSGG Laser through Capillary Flow Porometry. *International journal of dentistry*. 2014;2014:593160.
20. George R, Meyers IA, Walsh LJ. Laser activation of endodontic irrigants with improved conical laser fiber tips for removing smear layer in the apical third of the root canal. *Journal of endodontics*. 2008 Dec;34(12):1524-7.
21. Ozkan L, Cetiner S, Sanlidag T. Effect of Er,Cr:YSGG laser irradiation with radial firing tips on *Candida albicans* in experimentally infected root canals. *BioMed research international*. 2014;2014:938245.
22. Licata ME, Albanese A, Campisi G, Geraci DM, Russo R, Gallina G. Effectiveness of a new method of disinfecting the root canal, using Er, Cr:YSGG laser to kill *Enterococcus faecalis* in an infected tooth model. *Lasers in medical science*. 2015 Feb;30(2):707-12.

23. Christo JE, Zilm PS, Sullivan T, Cathro PR. Efficacy of low concentrations of sodium hypochlorite and low-powered Er,Cr:YSGG laser activated irrigation against an *Enterococcus faecalis* biofilm. *International endodontic journal*. 2016 Mar;49(3):279-86.
24. Martins MR, Lima RC, Pina-Vaz I, Carvalho MF, Gutknecht N. Endodontic Treatment of an Autogenous Transplanted Tooth Using an Er,Cr:YSGG Laser and Radial Firing Tips: Case Report. *Photomedicine and laser surgery*. 2016 Oct;34(10):487-93.
25. Keles A, Kamalak A, Keskin C, Akcay M, Uzun I. The efficacy of laser, ultrasound and self-adjustable file in removing smear layer debris from oval root canals following retreatment: A scanning electron microscopy study. *Australian endodontic journal : The journal of the Australian Society of Endodontology Inc*. 2016 Jan 20.
26. 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. *Journal of endodontics*. 2010 Sep;36(9):1580-3.
27. Pedulla E, Genovese C, Campagna E, Tempera G, Rapisarda E. Decontamination efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming (PIPS) of irrigants using low-energy laser settings: An ex vivo study. *International endodontic journal*. 2012 Sep;45(9):865-70.
28. Olivi G, DiVito E, Peters O, Kaitsas V, Angiero F, Signore A, et al. Disinfection efficacy of photon-induced photoacoustic streaming on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: An ex vivo study. *Journal of the American Dental Association*. 2014 Aug;145(8):843-8.
29. Balic M, Lucic R, Mehadzic K, Bago I, Anic I, Jakovljevic S, et al. The efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming and sonic-activated irrigation combined with QMiX solution or sodium hypochlorite against intracanal *E. faecalis* biofilm. *Lasers in medical science*. 2016 Feb;31(2):335-42.
30. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1984 Nov;58(5):589-99.
31. Ramachandran Nair PN. Light and electron microscopic studies of root canal flora and periapical lesions. *Journal of endodontics*. 1987 Jan;13(1):29-39.

32. Ricucci D, Siqueira JF, Jr. Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures. *Journal of endodontics*. 2010 Jan;36(1):1-15.
33. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics - a review. *International endodontic journal*. 2010 Jan;43(1):2-15.
34. W.B. M. *The micro-Organisms of the Human Mounth*. Basel: SKarger. 1973:pp.96-9,285-95.
35. M A. *Endodontik Mikrobiyoloji*. Ankara: Özyurt Matbaacılık. 2012:p. 589-624.
36. E T. *The microbiology of the necrotik pulp*. *Textbook of Endodontology*. 2003; Blackwell, Munksgaard, Oxford:pp.111-29.
37. S K. The effect of surgical expasures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 1965;20:240-9.
38. Haapasalo M. *Bacteroides spp. in dental root canal infections*. *Endodontics & dental traumatology*. 1989 Feb;5(1):1-10.
39. Fukushima H, Yamamoto K, Hirohata K, Sagawa H, Leung KP, Walker CB. Localization and identification of root canal bacteria in clinically asymptomatic periapical pathosis. *Journal of endodontics*. 1990 Nov;16(11):534-8.
40. Haapasalo M, Ranta K, Ranta H. Mixed anaerobic periapical infection with sinus tract. *Endodontics & dental traumatology*. 1987 Apr;3(2):83-5.
41. Molander A, Reit C, Dahlen G, Kvist T. Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *International endodontic journal*. 1998 Jan;31(1):1-7.
42. Siqueira JF, Jr. Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. *International endodontic journal*. 2001 Jan;34(1):1-10.
43. Camara AC, Aguiar CM, Poli de Figueiredo JA. Assessment of the deviation after biomechanical preparation of the coronal, middle, and apical thirds of root canals instrumented with three HERO rotary systems. *Journal of endodontics*. 2007 Dec;33(12):1460-3.
44. Siqueira JF, Jr., Lopes HP. Bacteria on the apical root surfaces of untreated teeth with periradicular lesions: a scanning electron microscopy study. *International endodontic journal*. 2001 Apr;34(3):216-20.

45. Costerton JW, Cheng KJ, Geesey GG, Ladd TI, Nickel JC, Dasgupta M, et al. Bacterial biofilms in nature and disease. *Annual review of microbiology*. 1987;41:435-64.
46. Sedgley C, Buck G, Appelbe O. Prevalence of *Enterococcus faecalis* at multiple oral sites in endodontic patients using culture and PCR. *Journal of endodontics*. 2006 Feb;32(2):104-9.
47. Siqueira JF, Jr., Rocas IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *Journal of endodontics*. 2008 Nov;34(11):1291-301.
48. Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjogren U. Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology*. 1998 Jan;85(1):86-93.
49. Williams JM, Trope M, Caplan DJ, Shugars DC. Detection and quantitation of *E. faecalis* by real-time PCR (qPCR), reverse transcription-PCR (RT-PCR), and cultivation during endodontic treatment. *Journal of endodontics*. 2006 Aug;32(8):715-21.
50. Tendolkar PM, Baghdayan AS, Shankar N. Pathogenic enterococci: new developments in the 21st century. *Cellular and molecular life sciences: CMLS*. 2003 Dec;60(12):2622-36.
51. Rocas IN, Siqueira JF, Jr., Santos KR. Association of *Enterococcus faecalis* with different forms of periradicular diseases. *Journal of endodontics*. 2004 May;30(5):315-20.
52. Tanriverdi F, Esener T, Erganis O, Belli S. An in vitro test model for investigation of disinfection of dentinal tubules infected with *Enterococcus faecalis*. *Brazilian dental journal*. 1997;8(2):67-72.
53. Kaufman B, Spangberg L, Barry J, Fouad AF. *Enterococcus* spp. in endodontically treated teeth with and without periradicular lesions. *Journal of endodontics*. 2005 Dec;31(12):851-6.
54. Love RM. *Enterococcus faecalis* a mechanism for its role in endodontic failure. *International endodontic journal*. 2001 Jul;34(5):399-405.
55. Estrela C, Estrela CR, Decurcio DA, Hollanda AC, Silva JA. Antimicrobial efficacy of ozonated water, gaseous ozone, sodium hypochlorite and

- chlorhexidine in infected human root canals. *International endodontic journal*. 2007 Feb;40(2):85-93.
56. Siqueira JF, Jr., Machado AG, Silveira RM, Lopes HP, de Uzeda M. Evaluation of the effectiveness of sodium hypochlorite used with three irrigation methods in the elimination of *Enterococcus faecalis* from the root canal, in vitro. *International endodontic journal*. 1997 Jul;30(4):279-82.
 57. Lin YH, Mickel AK, Chogle S. Effectiveness of selected materials against *Enterococcus faecalis*: Part 3. The antibacterial effect of calcium hydroxide and chlorhexidine on *Enterococcus faecalis*. *Journal of endodontics*. 2003 Sep;29(9):565-6.
 58. Portenier I, Waltimo T, Orstavik D, Haapasalo M. The susceptibility of starved, stationary phase, and growing cells of *Enterococcus faecalis* to endodontic medicaments. *Journal of endodontics*. 2005 May;31(5):380-6.
 59. Abbott PV, Hume WR, Pearman JW. Antibiotics and endodontics. *Australian dental journal*. 1990 Feb;35(1):50-60.
 60. Stuart CH, Schwartz SA, Beeson TJ, Owatz CB. *Enterococcus faecalis*: Its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment. *Journal of endodontics*. 2006 Feb;32(2):93-8.
 61. Farber PA, Seltzer S. Endodontic microbiology. I. Etiology. *Journal of endodontics*. 1988 Jul;14(7):363-71.
 62. Ferrari M, Mason PN, Goracci C, Pashley DH, Tay FR. Collagen degradation in endodontically treated teeth after clinical function. *Journal of dental research*. 2004 May;83(5):414-9.
 63. Sen BH, Piskin B, Demirci T. Observation of bacteria and fungi in infected root canals and dentinal tubules by SEM. *Endodontics & dental traumatology*. 1995 Feb;11(1):6-9.
 64. Sen BH, Safavi KE, Spangberg LS. Growth patterns of *Candida albicans* in relation to radicular dentin. *Oral surgery, oral medicine and oral pathology*. 1997 Jul;84(1):68-73.
 65. Waltimo TM, Siren EK, Orstavik D, Haapasalo MP. Susceptibility of oral *Candida* species to calcium hydroxide in vitro. *International endodontic journal*. 1999 Mar;32(2):94-8.

66. Mohammadi Z, Soltani MK, Shalavi S. An update on the management of endodontic biofilms using root canal irrigants and medicaments. *Iranian endodontic journal*. 2014 Spring;9(2):89-97.
67. Gilbert P, Das J, Foley I. Biofilm susceptibility to antimicrobials. *Advances in dental research*. 1997 Apr;11(1):160-7.
68. Nair PN. On the causes of persistent apical periodontitis: A review. *International endodontic journal*. 2006 Apr;39(4):249-81.
69. Tronstad L, Barnett F, Cervone F. Periapical bacterial plaque in teeth refractory to endodontic treatment. *Endodontics & dental traumatology*. 1990 Apr;6(2):73-7.
70. Nair PN, Sjogren U, Schumacher E, Sundqvist G. Radicular cyst affecting a root-filled human tooth: A long-term post-treatment follow-up. *International endodontic journal*. 1993 Jul;26(4):225-33.
71. Nair PN, Sjogren U, Figdor D, Sundqvist G. Persistent periapical radiolucencies of root-filled human teeth, failed endodontic treatments, and periapical scars. *Oral surgery, oral medicine and oral pathology*. 1999 May;87(5):617-27.
72. Lin LM, Ricucci D, Lin J, Rosenberg PA. Nonsurgical root canal therapy of large cyst-like inflammatory periapical lesions and inflammatory apical cysts. *Journal of endodontics*. 2009 May;35(5):607-15.
73. Munson MA, Pitt-Ford T, Chong B, Weightman A, Wade WG. Molecular and cultural analysis of the microflora associated with endodontic infections. *Journal of dental research*. 2002 Nov;81(11):761-6.
74. Küçükay E KI, Yılmaz B. Kök Kanalı Şekillendirme Yöntemleri. İstanbul : Promat AŞ. 2004.
75. Roane JB SC, Duncanson Jr MG. The “balanced force” concept for instrumentation of curved canals. *J Endod*. 1985;11(5):203-11
76. Goerig AC MR, Schultz HH. Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. *J Endod*. 1982;8(12):550-4.
77. Morgan LF, Montgomery S. An evaluation of the crown-down pressureless technique. *Journal of endodontics*. 1984 Oct;10(10):491-8.
78. Saunders WP SE. Effect of noncutting tipped instruments on the quality of root canal preparation using a modified double-flared technique. *J Endod*. 1992;18(1):32-6.

79. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *Journal of endodontics*. 2013 Feb;39(2):163-72.
80. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Mechanical properties of controlled memory and superelastic nickel-titanium wires used in the manufacture of rotary endodontic instruments. *Journal of endodontics*. 2012 Nov;38(11):1535-40.
81. S D. Nikel-Titanyum Şekil Bellekli Alaşım Üretimi ve Şekil Bellek Eğitimi. 2005, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora tezi. İstanbul:115 sayfa
82. Zhou H PB, Zheng YF. An overview of the mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments. *Endod Topics*. 2013;29(1):42-54.
83. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Campbell L, Peng B, Haapasalo M. Metallurgical characterization of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *Journal of endodontics*. 2011 Nov;37(11):1566-71. PubMed PMID: 22000465.
84. Haapasalo M SY. Evolution of nickel-titanium instruments: From past to future. *Endod Topics*. 2013;29(1):3-17.
85. Kim HC, Kwak SW, Cheung GS, Ko DH, Chung SM, Lee W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. *Journal of endodontics*. 2012 Apr;38(4):541-4.
86. Bystrom A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1983 Mar;55(3):307-12.
87. Wu MK, van der Sluis LW, Wesselink PR. The capability of two hand instrumentation techniques to remove the inner layer of dentine in oval canals. *International endodontic journal*. 2003 Mar;36(3):218-24..
88. Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *Journal of endodontics*. 1984 Oct;10(10):477-83.
89. Michelich VJ, Schuster GS, Pashley DH. Bacterial penetration of human dentin in vitro. *Journal of dental research*. 1980 Aug;59(8):1398-403.

90. Meryon SD, Brook AM. Penetration of dentine by three oral bacteria in vitro and their associated cytotoxicity. *International endodontic journal*. 1990 Jul;23(4):196-202.
91. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dental clinics of North America*. 2010 Apr;54(2):291-312.
92. 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. *International endodontic journal*. 1999 Jan;32(1):32-9.
93. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *Journal of endodontics*. 2002 Jan;28(1):17-9.
94. Seelan RG, Kumar A, Jonathan R, Maheswari U, Raja J, Chelliah P. Comparative evaluation of effect of different irrigation solutions against *Enterococcus faecalis*: A polymerase chain reaction-based study. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*. 2015 Aug;7(Suppl 2):S576-9.
95. Ruff ML, McClanahan SB, Babel BS. In vitro antifungal efficacy of four irrigants as a final rinse. *Journal of endodontics*. 2006 Apr;32(4):331-3.
96. Radcliffe CE, Potouridou L, Qureshi R, Hababbeh N, Qualtrough A, Worthington H, et al. Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*, *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis*. *International endodontic journal*. 2004 Jul;37(7):438-46.
97. Orstavik D, Haapasalo M. Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endodontics & dental traumatology*. 1990 Aug;6(4):142-9.
98. Bystrom A, Sundqvist G. The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *International endodontic journal*. 1985 Jan;18(1):35-40.
99. Heggors JP, Sazy JA, Stenberg BD, Strock LL, McCauley RL, Herndon DN, et al. Bactericidal and wound-healing properties of sodium hypochlorite solutions: the 1991 Lindberg Award. *The Journal of burn care & rehabilitation*. 1991 Sep-Oct;12(5):420-4.
100. Zielke DR, Heggors JP, Harrison JW. A statistical analysis of anaerobic versus aerobic culturing in endodontic therapy. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1976 Dec;42(6):830-7.

101. Trepagnier CM, Madden RM, Lazzari EP. Quantitative study of sodium hypochlorite as an in vitro endodontic irrigant. *Journal of endodontics*. 1977 May;3(5):194-6.
102. Hand RE, Smith ML, Harrison JW. Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*. 1978 Feb;4(2):60-4.
103. Rosenfeld EF, James GA, Burch BS. Vital pulp tissue response to sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*. 1978 May;4(5):140-6.
104. The SD. The solvent action of sodium hypochlorite on fixed and unfixed necrotic tissue. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1979 Jun;47(6):558-61.
105. Abou-Rass M, Piccinino MV. The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1982 Sep;54(3):323-8.
106. Caliskan MK, Turkun M, Alper S. Allergy to sodium hypochlorite during root canal therapy: a case report. *International endodontic journal*. 1994 May;27(3):163-7.
107. Kuruvilla JR, Kamath MP. Antimicrobial activity of 2.5% sodium hypochlorite and 0.2% chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigants. *Journal of endodontics*. 1998 Jul;24(7):472-6.
108. Gomes BP, Ferraz CC, Vianna ME, Rosalen PL, Zaia AA, Teixeira FB, et al. In vitro antimicrobial activity of calcium hydroxide pastes and their vehicles against selected microorganisms. *Brazilian dental journal*. 2002;13(3):155-61.
109. Gomes BP, Ferraz CC, Vianna ME, Berber VB, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*. *International endodontic journal*. 2001 Sep;34(6):424-8.
110. Sena NT, Gomes BP, Vianna ME, Berber VB, Zaia AA, Ferraz CC, et al. In vitro antimicrobial activity of sodium hypochlorite and chlorhexidine against selected single-species biofilms. *International endodontic journal*. 2006 Nov;39(11):878-85.
111. Clegg MS, Vertucci FJ, Walker C, Belanger M, Britto LR. The effect of exposure to irrigant solutions on apical dentin biofilms in vitro. *Journal of endodontics*. 2006 May;32(5):434-7.

112. Retamozo B, Shabahang S, Johnson N, Aprecio RM, Torabinejad M. Minimum contact time and concentration of sodium hypochlorite required to eliminate *Enterococcus faecalis*. *Journal of endodontics*. 2010 Mar;36(3):520-3.
113. A A. The role of antiseptic materials on pulp healing under calcium hydroxide. *ESE Istanbul Abstract Book*. 2007:s:32.
114. Emilson CG, Bowen WH, Robrish SA, Kemp CW. Effect of the antibacterial agents octenidine and chlorhexidine on the plaque flora in primates. *Scandinavian journal of dental research*. 1981 Oct;89(5):384-92.
115. White RR, Hays GL, Janer LR. Residual antimicrobial activity after canal irrigation with chlorhexidine. *Journal of endodontics*. 1997 Apr;23(4):229-31.
116. Jeansonne MJ, White RR. A comparison of 2.0% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite as antimicrobial endodontic irrigants. *Journal of endodontics*. 1994 Jun;20(6):276-8.
117. Ohara P, Torabinejad M, Kettering JD. Antibacterial effects of various endodontic medicaments on selected anaerobic bacteria. *Journal of endodontics*. 1993 Oct;19(10):498-500.
118. Yesilsoy C, Whitaker E, Cleveland D, Phillips E, Trope M. Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal irrigants. *Journal of endodontics*. 1995 Oct;21(10):513-5.
119. Turkun M, Cengiz T. The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness. *International endodontic journal*. 1997 Sep;30(5):335-42.
120. Coluzzi DJ. Fundamentals of dental lasers: Science and instruments. *Dental clinics of North America*. 2004 Oct;48(4):751-70, v.
121. Pick RM, Powell GL. Laser in dentistry. Soft-tissue procedures. *Dental clinics of North America*. 1993 Apr;37(2):281-96.
122. Melcer J, Chaumette MT, Zeboulon S, Melcer F, Hasson R, Merard R, et al. Preliminary report on the effect of the CO2 laser beam on the dental pulp of the *Macaca mulatta* primate and the beagle dog. *Journal of endodontics*. 1985 Jan;11(1):1-5.
123. Research S, Therapy Committee of the American Academy of P. Lasers in periodontics. *Journal of periodontology*. 2002 Oct;73(10):1231-9.
124. Frame JW. Carbon dioxide laser surgery for benign oral lesions. *British dental journal*. 1985 Feb 23;158(4):125-8.

125. Pogrel MA. The carbon dioxide laser in soft tissue preprosthetic surgery. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1989 Feb;61(2):203-8.
126. Blanken J, De Moor RJ, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: A visualization study. *Lasers in surgery and medicine*. 2009 Sep;41(7):514-9.
127. Hendler BH, Gateno J, Moor P, Sherk HH. Holmium:YAG laser arthroscopy of the temporomandibular joint. *Journal of oral and maxillofacial surgery : Official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*. 1992 Sep;50(9):931-4.
128. 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. *Journal of clinical laser medicine & surgery*. 1999;17(4):155-9.
129. van As G. Erbium lasers in dentistry. *Dental clinics of North America*. 2004 Oct;48(4):1017-59, viii.
130. Clarkson DM. A review of technology and safety aspects of erbium lasers in dentistry. *Dental update*. 2001 Jul-Aug;28(6):298-302.
131. Mehl A, Folwaczny M, Haffner C, Hickel R. Bactericidal effects of 2.94 microns Er:YAG-laser radiation in dental root canals. *Journal of endodontics*. 1999 Jul;25(7):490-3.
132. Deleu E, Meire MA, De Moor RJ. Efficacy of laser-based irrigant activation methods in removing debris from simulated root canal irregularities. *Lasers in medical science*. 2015 Feb;30(2):831-5.
133. Sasaki KM, Aoki A, Ichinose S, Ishikawa I. Ultrastructural analysis of bone tissue irradiated by Er:YAG Laser. *Lasers in surgery and medicine*. 2002;31(5):322-32.
134. 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. *Journal of periodontology*. 2001 Mar;72(3):361-7.
135. DiVito E, Lloyd A. ER:YAG laser for 3-dimensional debridement of canal systems: use of photon-induced photoacoustic streaming. *Dentistry today*. 2012 Nov;31(11):122, 4-7.

136. Peters OA, Bardsley S, Fong J, Pandher G, Divito E. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *Journal of endodontics*. 2011 Jul;37(7):1008-12.
137. Hossain M, Nakamura Y, Yamada Y, Suzuki N, Murakami Y, Matsumoto K. Analysis of surface roughness of enamel and dentin after Er,Cr:YSGG laser irradiation. *Journal of clinical laser medicine & surgery*. 2001 Dec;19(6):297-303.
138. Eversole LR, RizoIU I, Kimmel AI. Pulpal response to cavity preparation by an erbium, chromium:YSGG laser-powered hydrokinetic system. *Journal of the American Dental Association*. 1997 Aug;128(8):1099-106..
139. RizoIU I, Kohanghadosh F, Kimmel AI, Eversole LR. Pulpal thermal responses to an erbium,chromium: YSGG pulsed laser hydrokinetic system. *Oral surgery, oral medicine and oral pathology*. 1998 Aug;86(2):220-3.
140. Gutknecht N, Apel C, Schafer C, Lampert F. Microleakage of composite fillings in Er,Cr:YSGG laser-prepared class II cavities. *Lasers in surgery and medicine*. 2001;28(4):371-4.
141. Vogel A, Venugopalan V. Mechanisms of pulsed laser ablation of biological tissues. *Chemical reviews*. 2003 Feb;103(2):577-644.
142. Sadık B. AM, Kayaoğlu G., Alaçam T. Kanal içinde Nd:YAG laser uygulamasında kök dış yüzeyinde sıcaklık değişimleri. *Türk Endodonti Derneği 4 Bilimsel Sempozyumu Özet Kitapçığı*,. 2009:31.
143. Dederich DN. Laser/tissue interaction: what happens to laser light when it strikes tissue? *Journal of the American Dental Association*. 1993 Feb;124(2):57-61.
144. Dederich DN, Zakariassen KL, Tulip J. Scanning electron microscopic analysis of canal wall dentin following neodymium-yttrium-aluminum-garnet laser irradiation. *Journal of endodontics*. 1984 Sep;10(9):428-31.
145. Convissar RA. The biologic rationale for the use of lasers in dentistry. *Dental clinics of North America*. 2004 Oct;48(4):771-94, v.
146. 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 Nov;26(6):755-61.
147. Stabholz A, Sahar-Helft S, Moshonov J. Lasers in endodontics. *Dental clinics of North America*. 2004 Oct;48(4):809-32, vi.

148. 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 in medical science*. 2010 Nov;25(6):805-10. PubMed PMID: 19548054.
149. Eldeniz AU, Ozer F, Hadimli HH, Erganis O. Bactericidal efficacy of Er,Cr:YSGG laser irradiation against *Enterococcus faecalis* compared with NaOCl irrigation: an ex vivo pilot study. *International endodontic journal*. 2007 Feb;40(2):112-9.
150. Wang QQ, Zhang CF, Yin XZ. Evaluation of the bactericidal effect of Er,Cr:YSGG, and Nd:YAG lasers in experimentally infected root canals. *Journal of endodontics*. 2007 Jul;33(7):830-2.
151. 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 in medical science*. 2009 Jan;24(1):59-65.
152. 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*. *Journal of the American Dental Association*. 2007 Jul;138(7):992-1002.
153. Estrela C, Pecora JD, Souza-Neto MD, Estrela CR, Bammann LL. Effect of vehicle on antimicrobial properties of calcium hydroxide pastes. *Brazilian dental journal*. 1999;10(2):63-72.
154. Carson KR, Goodell GG, McClanahan SB. Comparison of the antimicrobial activity of six irrigants on primary endodontic pathogens. *Journal of endodontics*. 2005 Jun;31(6):471-3. 154. Xu XS, Zhu YQ. [Influence of the root canal instrumentation size on the disinfection of intracanal microbe by Er:YAG laser]. *Shanghai kou qiang yi xue = Shanghai journal of stomatology*. 2015 Dec;24(6):645-51.
155. Schafer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *International endodontic journal*. 2004 Apr;37(4):239-48.

156. Khademi A, Saatchi M, Shokouhi MM, Baghaei B. Scanning Electron Microscopic Evaluation of Residual Smear Layer Following Preparation of Curved Root Canals Using Hand Instrumentation or Two Engine-Driven Systems. *Iranian endodontic journal*. 2015 Fall;10(4):236-9.
157. Amaral P, Forner L, Llena C. Smear layer removal in canals shaped with reciprocating rotary systems. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2013 Dec 1;5(5):e227-30.
158. Arslan D, Guner MB, Dincer AN, Kustarci A, Er K, Siso SH. Comparison of Smear Layer Removal Ability of QMix with Different Activation Techniques. *Journal of endodontics*. 2016 Aug;42(8):1279-85.
159. Sedgley CM, Nagel AC, Shelburne CE, Clewell DB, Appelbe O, Molander A. Quantitative real-time PCR detection of oral *Enterococcus faecalis* in humans. *Archives of oral biology*. 2005 Jun;50(6):575-83.
160. Smith JJ, Wayman BE. An evaluation of the antimicrobial effectiveness of citric acid as a root canal irrigant. *Journal of endodontics*. 1986 Feb;12(2):54-8.
161. Jose J, Krishnamma S, Peedikayil F, Aman S, Tomy N, Mariodan JP. Comparative Evaluation of Antimicrobial Activity of QMiX, 2.5% Sodium Hypochlorite, 2% Chlorhexidine, Guava Leaf Extract and Aloe Vera Extract Against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* - An in-vitro Study. *Journal of clinical and diagnostic research : JCDR*. 2016 May;10(5):ZC20-3.
162. de Oliveira BP, Aguiar CM, Camara AC, de Albuquerque MM, Correia AC, Soares MF. The efficacy of photodynamic therapy and sodium hypochlorite in root canal disinfection by a single-file instrumentation technique. *Photodiagnosis and photodynamic therapy*. 2015 Sep;12(3):436-43.
163. Yavari HR, Rahimi S, Shahi S, Lotfi M, Barhaghi MH, Fatemi A, et al. Effect of Er, Cr: YSGG laser irradiation on *Enterococcus faecalis* in infected root canals. *Photomedicine and laser surgery*. 2010 Aug;28 Suppl 1:S91-6.
164. Cheng X, Guan S, Lu H, Zhao C, Chen X, Li N, et al. Evaluation of the bactericidal effect of Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG laser radiation, and antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) in experimentally infected root canals. *Lasers in surgery and medicine*. 2012 Dec;44(10):824-31.
165. Chivatxaranukul P, Dashper SG, Messer HH. Dentinal tubule invasion and adherence by *Enterococcus faecalis*. *International endodontic journal*. 2008 Oct;41(10):873-82.

166. Kamberi B, Bajrami D, Stavileci M, Omeragiq S, Dragidella F, Kocani F. The Antibacterial Efficacy of Biopure MTAD in Root Canal Contaminated with *Enterococcus faecalis*. *ISRN dentistry*. 2012;2012:390526.
167. Valera MC, Silva KC, Maekawa LE, Carvalho CA, Koga-Ito CY, Camargo CH, et al. Antimicrobial activity of sodium hypochlorite associated with intracanal medication for *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis* inoculated in root canals. *Journal of applied oral science : revista FOB*. 2009 Nov-Dec;17(6):555-9.
168. Siqueira JF, Jr., Rocas IN, Favieri A, Lima KC. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*. 2000 Jun;26(6):331-4.
169. Soares JA, Santos Soares SM, Santos Cesar CA, de Carvalho MA, Brito-Junior M, de Sousa GR, et al. Monitoring the effectiveness of photodynamic therapy with periodic renewal of the photosensitizer on intracanal *Enterococcus faecalis* biofilms. *Photodiagnosis and photodynamic therapy*. 2016 Mar;13:123-7.
170. Abad-Gallegos M, Arnabat-Dominguez J, Espana-Tost A, Berini-Aytes 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. *Medicina oral, patologia oral cirugia bucal*. 2009 Dec;14(12):e658-62
171. DiVito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers in medical science*. 2012 Mar;27(2):273-80.
172. Franzen R, Esteves-Oliveira M, Meister J, Wallerang A, Vanweersch L, Lampert F, et al. Decontamination of deep dentin by means of erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser irradiation. *Lasers in medical science*. 2009 Jan;24(1):75-80.
173. Martins MR, Carvalho MF, Vaz IP, Capelas JA, Martins MA, Gutknecht N. Efficacy of Er,Cr:YSGG laser with endodontical radial firing tips on the outcome of endodontic treatment: blind randomized controlled clinical trial with six-month evaluation. *Lasers in medical science*. 2013 Jul;28(4):1049-55.
174. Martins MR, Carvalho MF, Pina-Vaz I, Capelas JA, Martins MA, Gutknecht N. Outcome of Er,Cr:YSGG laser-assisted treatment of teeth with apical

- periodontitis: a blind randomized clinical trial. *Photomedicine and laser surgery*. 2014 Jan;32(1):3-9.
175. Zhu X, Yin X, Chang JW, Wang Y, Cheung GS, Zhang C. Comparison of the antibacterial effect and smear layer removal using photon-initiated photoacoustic streaming aided irrigation versus a conventional irrigation in single-rooted canals: an in vitro study. *Photomedicine and laser surgery*. 2013 Aug;31(8):371-7.
176. Al Shahrani M, DiVito E, Hughes CV, Nathanson D, Huang GT. Enhanced removal of *Enterococcus faecalis* biofilms in the root canal using sodium hypochlorite plus photon-induced photoacoustic streaming: An in vitro study. *Photomedicine and laser surgery*. 2014 May;32(5):260-6.
177. De Meyer S, Meire MA, Coenye T, De Moor RJ. Effect of laser-activated irrigation on biofilms in artificial root canals. *International endodontic journal*. 2016 Mar 25.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adana'da doğdu. İlköğretimini Töbank İlköğretim Okulu'nda, orta öğretimini Töbank Ortaokulu'nda ve lise öğrenimini Adana Ticaret Odası Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Adana Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nden 2010 yılında mezun oldu ve 17.06.2013 tarihinde Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nda uzmanlık eğitimine başladı.

