

**KKTC
YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KANAL YIKAMA TEKNİKLERİNİN, DEĞİŞİK SON YIKAMA
SOLÜSYONLARININ DENTİN TÜBÜL PENETRASYONUNA ETKİSİNİN
LAZER TARAMALI KONFOKAL MİKROSKOP İLE İNCELENMESİ**

Diş Hek. Meltem KÜÇÜK

ENDODONTİ PROGRAMI

DOKTORA TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Yrd. Doç. Dr. Fatma KERMEOĞLU

LEFKOŞA 2018

YDÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma jürimiz tarafından Endodonti Programında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Yaşar Meriç TUNCA
Yakın Doğu Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fatma KERMEOĞLU
Yakın Doğu Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi

Üye: Prof. Dr. Meltem Dartar ÖZTAN
Ankara Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi

Üye: Prof. Dr. Ayçe Ünverdi ELDENİZ
Selçuk Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi

Üye: Doç. Dr. Atakan KALENDER
Yakın Doğu Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi

ONAY:

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

Prof. Dr. K. Hüsnü Can BAŞER
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca ve doktora tezimin tüm aşamaları süresince bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan tez danışmanım **Yrd. Doç. Dr. Fatma KERMEOĞLU** başta olmak üzere, **Prof. Dr. Yaşar Meriç TUNCA**, **Doç. Dr. Atakan Kalender** ve **Doç. Dr. Umut Aksoy'a**,

Doktora hayatım boyunca ilgi, alaka, yardım ve manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen **Dt. Tuba SU GREAVES** başta olmak üzere diğer tüm değerli asistan arkadaşlarım ve klinik çalışanlarına,

Lazer taramalı konfokal mikroskop ile çalışmama olanak sağlayan **İstanbul Üniversitesi Aziz Sancar Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü'ne**,

Doktora tez çalışmam boyunca sevgi, güler yüz ve misafirperverliklerini benden esirgemeyen kuzenim **Uz. Dr. İsmail ÖZVER** ve değerli eşi **Münevver ÖZVER'e**

Eğitim hayatım boyunca beni her konuda destekleyerek yanımda olan, hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, başarılarımla gurur duyan annem **Fatma KÜÇÜK** başta olmak üzere tüm aileme en içten duygularıyla teşekkür ediyorum.

ÖZET

Küçük, M. Farklı Kanal Yıkama Tekniklerinin, Değişik Son Yıkama Solüsyonlarının Dentin Tübül Penetrasyonuna Etkisinin Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop ile İncelenmesi. Yakın Doğu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Endodonti Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Lefkoşa, 2018.

Bu *in vitro* çalışmanın amacı, farklı kanal yıkama yöntemlerinin çeşitli son yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyonu üzerindeki etkisini değerlendirmek ve karşılaştırmaktır. Yaptığımız bu çalışma için, 90 adet tek kanallı mandibular premolar çekilmiş diş seçildi ve Ni-Ti döner sistemi ile kanallar genişletildi. Daha sonra, farklı kanal yıkama tekniklerinde kullanılan son yıkama solüsyonlarına göre tüm dişler Klorheksidin (CHX), QMix ve Irritrol olmak üzere 3 ana gruba (n:30) ayrılmıştır. Her bir ana grup, Er,Cr:YSGG lazerle aktive edilmiş irrigasyon (LAI), sonik irrigasyon (SI) ve geleneksel irrigasyon (GI) tekniklerine göre tekrar 3 alt gruba ayrılmıştır. CHX + GI, CHX + SI, CHX + LAI, QMix + GI, QMix + SI, QMix + LAI, Irritrol + GI, Irritrol + SI ve Irritrol + LAI olmak üzere toplam 9 alt grup oluşturuldu. Klorheksidin, QMix ve Irritrol son yıkama solüsyonları, lazer taramalı konfokal mikroskop (CLSM) altında görülebilmesi için % 0.01 floresan Rodamin B boyası ile karıştırılmıştır. Farklı kanal yıkama prosedürlerinden sonra, tüm köklerden, apekse göre 2 mm ve 5 mm koronalde olacak şekilde horizontal kesitler alınmış ve CLSM ile incelenmiştir. Tüm veriler Kruskal-Wallis testi ve üç yönlü varyans analizi (ANOVA) ile analiz edildi. Kullanılan kanal yıkama yöntemlerinden bağımsız olarak, apikal bölgede QMix ana grubunun (n:30) penetrasyon yüzde değeri, klorheksidin grubundan anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($P<0.05$). Fakat, Irritrol'den istatistiksel olarak anlamlı farkı yoktu ($P>0.05$). Kanal yıkama yönteminden ve son yıkama solüsyonunun çeşidinden bağımsız olarak yapılan kanal yıkama işleminde, genel gruplar arasında (n:90) orta üçlüde apikale göre daha fazla penetrasyon yüzde ve derinlik değerleri elde edilmiştir ($P<0.05$). Kullanılan kanal yıkama yöntemlerinden bağımsız olarak, orta üçlüde QMix ana grubunun (n:30) ortalama penetrasyon derinlik değeri klorheksidin grubundan anlamlı derecede yüksek saptanmıştır ($P<0.05$). Geleneksel kanal yıkama tekniğinde, orta üçlüde QMix alt grubunun (n:10) ortalama penetrasyon derinlik değeri, Klorheksidin ve

Irritol alt gruplarından anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($P < 0.05$). Kullanılan son yıkama solüsyonunun çeşidinden bağımsız olarak, kanal yıkama yöntemleri arasında penetrasyon yüzdesi ve derinlik değerleri açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır ($P > 0.05$). Orta üçlüde, Irritol ile yapılan kanal yıkama protokolünde, sonik irrigasyon yöntemiyle elde edilen ortalama penetrasyon yüzde değeri, geleneksel yıkama yönteminden önemli derecede daha yüksek bulunmuştur ($P < 0.05$). Bu çalışmadan elde edilen verilere göre, QMix'in farklı kanal yıkama teknikleriyle kullanımı, dentin tübül penetrasyonu açısından avantajlı gibi görünmektedir.

Anahtar kelimeler: Konfokal, Dentin tübül penetrasyonu, Er,Cr:YSGG lazer, QMix, Irritol

Bu doktora tez çalışması, Yakın Doğu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Merkezi tarafından desteklenmiştir (Proje No: SAG-2017-01-044).

ABSTRACT

Küçük, M. The Efficacy of Different Irrigation Methods on Dentinal Tubule Penetration of 2% Chlorhexidine, QMix and Irritrol: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study. Near East University Institute of Health Sciences, Ph.D. Thesis in Endodontics, Lefkosa, 2018

The aim of this *in vitro* study was to assess and compare the effect of different irrigation methods on penetrability of various final irrigation solutions into dentinal tubules. Ninety single canal mandibular premolars was selected and instrumented with Ni-Ti rotary system. All teeth randomly divided into three main groups (n:30) after root canal preparation according to the final irrigation solution used in different irrigation technic: Chlorhexidine (CHX), QMix and Irritrol. Each main group was randomly subdivided into three subgroups according to different irrigation technic: classic needle irrigation, sonic activation and Er,Cr:YSGG laser activated irrigation. CHX, QMix and Irritrol final irrigation solutions were mixed with 0.01% fluorescent Rhodamine B to be visible in dentin tubules under the confocal laser scanning microscope (CLSM.) After different irrigation procedures, all experimental roots with Rhodamine B labeled solution were horizontally sectioned at 2 mm and 5 mm from apex and examined using a CLSM. Data were analyzed by Kruskal-Wallis test and three-way analysis of variance (ANOVA). Regardless of the canal irrigation methods used, the penetration percentage value of the QMix main group (n: 30) is significantly higher than the chlorhexidine group in the apical third ($P<0.05$), although there were no statistically significant different from Irritrol ($P>0.05$). Statistically significant differences were also determined between middle and apical level (middle>apical; $P<0.05$). In the middle third, the mean penetration depth value of the QMix main group (n:30) was significantly higher than the chlorhexidine group ($P<0.05$). At the middle third, the depth of penetration of QMix subgroup (n:10) was significantly higher than Chlorhexidine and Irritrol subgroups used the conventional irrigation technic ($P<0.05$). Regardless of the type of irrigation solution used, no significant difference was found between canal irrigation methods in terms of penetration percentage and depth values in the apical and middle thirds ($P>0.05$). In the irrigation protocol with Irritrol solution, the average penetration percentage value

of the sonic irrigation is significantly higher than the conventional irrigation method at middle third ($P<0.05$). According to the results from this study, use of QMix with different agitation technic seems advantageous in dentinal tubule penetration.

Key words: Confocal, Dentine tubule penetration, Er,Cr:YSGG laser, QMix, Irritrol

This study was approved and supported by Near East University Scientific Research Foundation (Project No: SAG-2017-01-044).

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER VE TABLOLAR DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Kök Kanal Sistemini Yıkamanın Önemi	7
2.2 Endodontide Kullanılan Güncel Yıkama Solüsyonları	8
2.2.1 Sodyum Hipoklorit (NaOCl)	8
2.2.2 Klorheksidin Glukonat	11
2.2.3 Etilendiamin Tetra Asetik Asit (EDTA)	14
2.2.4 QMix	17
2.2.5 Irritrol	18
2.3 Yıkama Solüsyonları Arasındaki Etkileşim	18
2.3.1 NaOCl ile Klorheksidin Arasındaki Etkileşim	18
2.3.2 NaOCl ile EDTA Arasındaki Etkileşim	18
2.3.3 Klorheksidin ile EDTA Arasındaki Etkileşim	19
2.4 Önerilen Kanal Yıkama Protokolü	19
2.5 Kök Kanal Sisteminin Etkili Bir Şekilde Yıkınması İçin Kullanılan Güncel Sistem ve Cihazlar	19
2.5.1. Enjektörle Yapılan Konvansiyonel Yıkama	19
2.5.2 EndoActivator (Sonik Sistem)	23

2.6 Endodontide Lazer	25
2.6.1. Lazerlerin Sınıflandırılması	27
2.6.2. Endodontide Lazerin Kullanım Alanları	28
2.6.3. Kök Kanal Sisteminin Dezenfeksiyonunda Lazer Kullanımı	28
2.6.3.1 Lazerle Aktifleştirilmiş İrrigasyon	29
2.6.4. Er,Cr:YSGG Lazer	30
2.6.4.1 Temizleme Fazı	31
2.6.4.2 Dezenfeksiyon Fazı	32
2.6.5 Lazerin Potansiyel Yan Etkileri	33
2.7. Solüsyonlarının Dentin Tübül Penetrasyonunu İnceleme Yöntemleri	33
2.7.1 Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop (CLSM)	34
3. GEREÇ VE YÖNTEM	36
3.1. Dişlerin Seçimi ve Kök Kanallarının Enstrümentasyonu	36
3.2. Çalışma Gruplarının Belirlenmesi ve Kanalların Son Yıkama Solüsyonuyla Yıkılması	39
3.3. Köklerden Horizontal Kesitlerin Alınarak Örneklerin Hazırlanması	44
3.4. Örneklerin Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop (CLSM)’ta İncelenmesi	46
3.5. İstatistiksel Değerlendirme	50
4. BULGULAR	51
4.1. Son Yıkama Solüsyonlarının Dentin Tübüllerine Penetrasyon Derinliğine İlişkin Bulgular	51
4.2. Son Yıkama Solüsyonlarının Dentin Tübüllerine Penetrasyon Yüzdesinin Hesaplanmasına İlişkin Bulgular	55
5. TARTIŞMA	60
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	74
7. KAYNAKLAR	75

ŞEKİLLER VE TABLOLAR DİZİNİ

ŞEKİLLER

Şekil 3.1: Kanal Enstrümantasyonu Öncesi Standardize Edilmiş Kökler	37
Şekil 3.2: Kanal Şekillendirilmesinde Sırayla Kullanılan ProTaper Eğeleri	38
Şekil 3.3: Kanal Enstrümantasyonunda Kullanılan X-Smart Plus Endo-Motor Cihazı	38
Şekil 3.4: Kanal Enstrümantasyonu Yapılmış ve Apeksleri Kapatılmış Kökler	39
Şekil 3.5: Kanal Yıkama Sırasında Kullanılan Son Yıkama Solüsyonları A: %2'lik Klorheksidin Glukonat B: QMix C: Irritrol	40
Şekil 3.6: Rodamin B Boyası	40
Şekil 3.7: Deney Gruplarının Şematik Olarak Anlatımı	43
Şekil 3.8: Konvansiyonel Yıkama Sırasında Kullanılan 27 Numaralı İğne ve 5 ml'lik Şırınga	43
Şekil 3.9: Sonik Sistemle İrrigasyonda Kullanılan EndoActivator ve LAI Sırasında Kullanılan Er,Cr:YSGG Lazer Cihazı	44
Şekil 3.10: Köklerden IsoMet Cihazıyla Horizontal Kesit Alınması	45
Şekil 3.11: Köklerden Horizontal Kesit Alınmasının Şematik Olarak Gösterimi	45
Şekil 3.12: Köklerin Apikal ve Orta Üçlüsünden Elde Edilen Bazı Horizontal Kesitler	46
Şekil 3.13: CLSM'de alınan Kısmi Görüntülerin Adobe Photoshop 6.0 Programında Birleştirilerek Tek Bir Görüntü Haline Getirilmesi	47
Şekil 3.14: Solüsyonların Dentin Tübül Penetrasyon Derinliğinin Ölçülmesi	48
Şekil 3.15: Görüntülemeye Kullanılan Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop	49
Şekil 3.16: Penetrasyon Yüzdesinin ImageJ Programıyla Hesaplanması	49
Şekil 4.1: Apikal Bölgede, Farklı Kanal Yıkama Yöntemlerine Göre Son Yıkama solüsyonlarının Penetrasyon Derinlik Değerlerini Gösteren Grafik	53

Şekil 4.2: Orta Üçlü Bölgesinde, Farklı Kanal Yıkama Yöntemlerine Göre Son Yıkama solüsyonlarının Penetrasyon Derinlik Değerlerini Gösteren Grafik	53
Şekil 4.3: Apikal Bölgede, Farklı Son Yıkama Solüsyonlarına Göre Kanal Yıkama Yöntemlerinin Penetrasyon Derinlik Değerlerini Gösteren Grafik	54
Şekil 4.4: Orta Üçlü Bölgesinde, Farklı Son Yıkama Solüsyonlarına Göre Kanal Yıkama Yöntemlerinin Penetrasyon Derinlik Değerlerini Gösteren Grafik	54
Şekil 4.5: Apikal Bölgede, Farklı Kanal Yıkama Yöntemlerine Göre Son Yıkama Solüsyonlarının Penetrasyon Yüzde Değerlerini Gösteren Grafik	57
Şekil 4.6: Orta Üçlü Bölgesinde, Farklı Kanal Yıkama Yöntemlerine Göre Son Yıkama solüsyonlarının Penetrasyon Yüzde Değerlerini Gösteren Grafik	58
Şekil 4.7: Apikal Bölgede, Farklı Son Yıkama Solüsyonlarına Göre Kanal Yıkama Yöntemlerinin Penetrasyon Yüzde Değerlerini Gösteren Grafik	58
Şekil 4.8: Orta Üçlü Bölgesinde, Farklı Son Yıkama Solüsyonlarına Göre Kanal Yıkama Yöntemlerinin Penetrasyon Yüzde Değerlerini Gösteren Grafik	59

TABLolar

Tablo 4.1: Tüm Grupların Orta Üçlü Bölgesindeki Penetrasyon Derinlik Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları	51
Tablo 4.2: Tüm Grupların Apikal Üçlü Bölgesindeki Penetrasyon Derinlik Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları	52
Tablo 4.3: Apikal ve Orta Bölgedeki Genel Grupların Penetrasyon Derinlik değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları	55
Tablo 4.4: Tüm Grupların Apikal Bölgedeki Penetrasyon Yüzde Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları	55
Tablo 4.5: Tüm Grupların Orta Üçlü Bölgesindeki Penetrasyon Yüzde Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları	56
Tablo 4.6: Apikal ve Orta Bölgedeki Genel Grupların Penetrasyon Yüzde Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

#	Numara
%	Yüzde
°C	Santigrat Derece
µm	Mikrometre
A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
CHX	Klorheksidin Glukonat
CLSM	Confocal Laser Scanning Microscope
CO ₂	Karbondioksit
cpm	Cycles-per-minute
dk	Dakika
<i>E. feacalis</i>	<i>Enterococcus feacalis</i>
EDTA	Etilendiamin Tetra Asetik Asit
EDTAC	Ethylenediaminetetraacetic Acid Plus Cetavlon
Er,Cr:YSGG	Erbium, Chromium-doped:Yttrium, Scandium, Gallium ve Garnet
Er:YAG	Erbium-doped:Yttrium, Aluminum ve Garnet
G	Gauge
Ga-Al-As	Galyum Alüminyum Arsenik
Ga-As	Galyum Arsenik
GI	Geleneksel İrrigasyon
He-Ne	Helyum-Neon
Hg	Civa
HOCl ⁻	Hipokloröz asit

HV	Vickers Hardness
Hz	Hertz
LAI	Lazer Aktiviteli İrrigasyon
mJ	Milijul
ml	Mililitre
ml/s	Mililitre/saniye
mm	Milimetre
MTAD	Mixture of Doxycycline, Citric acid and a Detergent
NaOCl	Sodyum Hipoklorit
Nd:YAG	Neodymium:Yttrium-Aluminium-Garnet
Nd:YAP	Neodymium: Yttrium-Aluminum-Perovskite
Ni-Ti	Nikel-Titanyum
nm	Nanometre
OCl ⁻	Hipoklorit
PCA	Para-kloroanilin
PUI	Pasif Ultrasonik İrrigasyon
RFT	Radially Firing Tip
rpm	Revolution Per Minute
SEM	Scanning Electron Microscope
SI	Sonik İrrigasyon
W	Watt
cfu/g	Colony Forming Unit/gram
ss	Standart Sapma

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kanal tedavisinin temel amacı, kök kanal sisteminden mikroorganizmalar, mikrobiyal yan ürünler, pulpa, organik ve inorganik doku artıklarının tamamen uzaklaştırılmasıdır. Bu nedenle, kök kanal sisteminin mekanik ve kimyasal yöntemlerle tamamen şekillendirilmesi ve temizlenmesi endodontik tedavinin önemli bir parçasıdır (Ghorbanzadeh ve diğerleri, 2016). Yapılan çalışmalar, pulpal ve periapikal hastalıkların, bakterilerin dentin tübülleri, ana ve lateral kanalları istila etmesi sonucu ortaya çıktığını göstermiştir (Kakehashi ve diğerleri, 1965, Nair ve diğerleri, 2005). Karmaşık kök kanal anatomisi ve uzun süreli pulpa nekrozu olan olgularda, mekanik enstrümantasyonla sadece lateral kanalın girişinden enfekte doku uzaklaştırılmaktadır. Lateral kanalların derinlerine yerleşmiş olan nekrotik doku ve bakterilere mekanik olarak ulaşılamamaktadır (Ricucci ve Siqueira, 2010). Yıkama solüsyonlarının kullanılması, mekanik enstrümantasyonla dokunulamayan yüzeylerden bakteri ve nekrotik doku artıklarının uzaklaştırılması için önemlidir (Vineet ve diğerleri, 2014).

Yıkama solüsyonlarının etkinliği, kök kanal yapısı, kanalı yıkama şekli, solüsyonların yüzey temas potansiyeli, ana ve lateral kanallara penetrasyon derinliği gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Ghorbanzadeh ve diğerleri, 2016). Şırıngalarla yapılan geleneksel yıkama tekniği, iğnenin penetrasyon derinliğinin ve verilen solüsyonun penetrasyon hacminin kontrol edilmesini sağladığı için en yaygın kullanılan tekniktir (Van der Sluis ve diğerleri, 2006). Geleneksel kanal yıkama tekniğinde, yıkama solüsyonunun iğnenin ucundan 1 mm daha ileriye penetre olduğu saptanmıştır (Boutsioukis ve diğerleri, 2009). Bu nedenle, ulaşılamayan kanal düzensizlikleri, geleneksel teknik uygulamasından sonra debris ve bakteri barındırmaya devam etmektedir. Buna bağlı olarak dentin tübüllerinin dezenfeksiyonu da sınırlıdır. Solüsyonların dentin tübülü ve lateral kanallara penetrasyonunu arttırmak için farklı solüsyon aktivasyon teknikleri geliştirilmiştir (Gu ve diğerleri, 2009).

EndoActivator, bir başlık ve üç farklı boyutta kesici olmayan polimer uçlardan oluşan, sonik olarak solüsyonu aktive eden bir irrigasyon cihazıdır. Titreşen uç, aşağı-yukarı kısa vertikal vuruşlarla hareket ettirilerek hidrodinamik fenomen üretir ve sıvının aktivasyonuna neden olur (Ruddle, 2015). EndoActivator

kullanımının, enstrümantasyon sırasında dokunulmayan bölgelerden debrisin uzaklaştırılmasını kolaylaştırdığı saptanmıştır (Kanter ve diğerleri, 2011).

Lazer aktiviteli yıkama (LAI), kök kanal sistemindeki yıkama solüsyonunun aktivasyonunu arttırmanın başka bir yöntemidir. Erbium lazerlerin yaydığı ışının su tarafından güçlü emilimine dayanmaktadır. Lazerler, su bazlı endodontik yıkama solüsyonlarında aktive edildiğinde, solüsyon içerisinde büyük eliptik buhar kabarcıklarının oluşumuyla sonuçlanan akustik kavitasyon meydana gelmektedir. Genişleyen buhar kabarcıkları, patlayarak yoğun akım ve basınç dalgaları oluşturur (Bago Juric ve diğerleri, 2014, Christo ve diğerleri, 2016). Bu durum, kanal içerisindeki solüsyonun hareketine neden olur. Er:YAG (Erbium-doped:Yttrium, Aluminum ve Garnet) ve Er,Cr:YSGG (Erbium, Chromium-doped:Yttrium, Scandium, Gallium ve Garnet) gibi kızılötesi lazerler kullanılarak yapılan LAI, smear tabakasının uzaklaştırılmasında ve daha iyi kanal dezenfeksiyonu yapılmasında etkilidir (De Groot ve diğerleri, 2009).

Kök kanal sisteminde bulunan doku artıklarının temizlenebilmesi amacıyla çeşitli kanal yıkama yöntemleriyle birlikte kimyasal yıkama solüsyonlarının da kullanılması önerilmektedir. Bugüne kadar kullanılan yıkama solüsyonları arasında serum fizyolojik, asitler, şelasyon ajanları, alkali solüsyonlar ve oksitleyici ajanlar gibi kimyasal maddeler bulunmaktadır (Alaçam, T. 2012).. Klorheksidin, düşük toksisitesi, geniş antimikrobiyal etkisi ve uzun süreli aktivitesi nedeniyle sıklıkla son yıkama solüsyonu olarak kullanılmaktadır. Fakat yapılan bazı çalışmalar, kanal içerisinde aktive edilmeyen klorheksidinin dentin tübüllerine çok fazla penetre olmadığını göstermiştir (Vadhana ve diğerleri, 2015). Son yıkama solüsyonlarının, smear tabakası uzaklaştırıldıktan sonra dentin tübüllerine daha iyi nüfuz etmesi, kök kanal sisteminin daha iyi dezenfeksiyonuna ve daha sızdırmaz bir kanal dolgusu yapılmasına olanak sağlamaktadır (Ghorbanzadeh ve diğerleri, 2016). Son zamanlarda, antimikrobiyal aktivite ile smear tabakasının uzaklaştırılması için QMix ve Irritrol endodontik yıkama solüsyonları geliştirilmiştir. Her iki solüsyonda EDTA, klorheksidin, yüzey aktif molekülü ve su içermektedir (Stojicic ve diğerleri, 2012, Agrawal ve diğerleri, 2018). Günümüzde, son yıkama solüsyonu olarak kullanılan QMix ve Irritrol'un, dentin tübüllerine penetrasyon kabiliyetini değerlendiren bir çalışma literatürde yoktur.

Yaptığımız bu *in vitro* çalışmanın amacı, Er,Cr:YSGG lazerle yapılan LAI, sonik sistem (EndoActivator) ve geleneksel yöntemle kök kanallarının yıkanmasının, son yıkama solüsyonlarının dentin tübül penetrasyonuna olan etkisini değerlendirmektir.

2. GENEL BİLGİLER

Endodontik tedavinin amacı mikroorganizmalar ve ürünlerinin kök kanal sistemine sızmasıyla meydana gelen periapikal hastalıkların oluşmasını önlemektir. Bu amaca kök kanal boşluğunun kemomekanik şekillendirilmesi, dezenfeksiyonu ve hermetik bir şekilde doldurulmasıyla ulaşılabilir. Kök kanal tedavisinin sonucunun olumlu olması, en az bir yıllık takip süresinden sonra ilgili dişteki radyolojik lezyonun boyutunun azalması ve klinik semptomların yokluğuyla belirlenir (Ørstavik, 1996). Buna alternatif olarak uygulanan farklı tedavi protokollerinden sonra kök kanal sisteminde kalan mikroorganizma sayısı da tedavinin başarısını belirlemektedir (Peters ve diğerleri, 2002). Günümüzde endodontik tedaviden sonra kök kanal sisteminde kalan ve yeniden kolonize olan mikroorganizmalar tedavinin başarısız olmasının esas nedenidir. Bu nedenle endodontik tedavinin ilk amacı kök kanal sisteminde iyi bir yıkama ve dezenfeksiyon yaparak tekrarlayan inatçı enfeksiyonların oluşmasının önüne geçmektir (Sjögren ve diğerleri, 1997, Molander ve diğerleri, 1998).

Kök kanal sistemindeki enfeksiyonlar sıklıkla dentindeki derin çürüklerin ya da dişin kronunda meydana gelen kırıkların pulpa odasına kadar ulaşması sonucu meydana gelmektedir (Langeland, 1987, Cameron, 1964). Klinisyen, kanal tedavisi yapacağı dişlerde pulpa dokusunun vital ya da devital olduğunu ayırt etmeli ve buna bağlı olarak da ek tedavi kararları alabilmelidir (Zehnder, 2006). Nekrotik pulpa dokusuna sahip dişlerin savunma sisteminin olmaması, özellikle düşük oksijenli ortamda yaşayabilen fırsatçı mikroorganizmaların kök kanal sisteminde toplanmasına neden olmaktadır (Nair, 2004). Bu mikrobiyal topluluklar, organik pulpa dokusunun artıkları ya da periodonsiyumdan gelen eksudayla yaşamlarını sürdürebilirler (Sundqvist, 1994). Nekrotik ya da önceden yapılan kök kanal tedavisinin başarısız olduğu dişlerde mikroorganizmalar, periapikal doku sıvılarının rahatlıkla ulaşabildiği kanalın apikal üçlüsünde daha fazla bulunmaktadır (Nair, 2004). Ayrıca, kök kanal boşluğunda bulunan mikroorganizmalar açık dentin tübülleri aracılığıyla derin dentin bölgelerini istila edebilir (Shovelton, 1964).

Birincil kök kanal enfeksiyonları, zorunlu anaerob mikroorganizmaların hakim olduğu polimikrobiyal bir enfeksiyondur. Kemomekanik enstrümantasyon ve

medikasyon sonucunda zorunlu anaerobik mikroorganizmalar kolaylıkla kök kanal sisteminden uzaklaştırılabilirken, *Streptokok*, *Enterekok* ve *Laktobasil* gibi fakültatif anaerob bakteriler yaşamaya devam edebilmektedir (Sundqvist, 1994). Özellikle başarısız kanal tedavili dişlerden sıklıkla izole edilen *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) endodonti literatüründe dikkatleri üzerine çekmektedir (Radcliffe ve diğerleri, 2004).

Kök kanal enstrümantasyonunun ana amacı kök kanallarının mekanik debridmanını sağlamak ve antimikrobiyal maddelerin uygulanabilmesi için kanallarda yeterli boşluk oluşturmaktır. Ayrıca iyi şekillendirilmiş bir kök kanal sistemi düzgün, sıkı ve sızdırmaz bir kanal dolgusunun yapılmasına olanak sağlayarak mikroorganizmaların kanallarda yeniden kolonize olmasını engeller (Hülsmann ve diğerleri, 2005). Kök kanallarında enstrümantasyon yapımı sırasında birtakım komplikasyonlar meydana gelebilmektedir. Özellikle periapikal radyolüsen siye sahip devital enfekte dişlerde, periodontal ligamente doğru yapılan perforasyonlar, alet kırılması ya da kanalların apikal üçlüsüne mekanik olarak ulaşamama gibi teknik komplikasyonlar tedavinin sonucunu önemli derecede etkilemektedir (Zehnder, 2006).

Kök kanal sisteminin enstrümantasyonu sırasında, kanal duvarlarında mikroorganizma, kan hücresi, artık dentin ya da pulpa dokusu gibi organik ve inorganik materyallerden meydana gelen smear tabakası oluşmaktadır. Smear tabakası, aletin kanal duvarlarına temas ettiği her yerde oluşan, dentin tübüllerinde 40 µm derinliğe kadar penetre olabilen, 1-2 µm kalınlığında düzensiz ve granüler yapıda bir tabakadır. Bakteriler oluşan bu smear tabakasının içine penetre olarak kanal duvarlarına yapışık olan biyofilmin korunmasına katkı sağlayabilirler (Şen ve diğerleri, 1999). Ayrıca smear tabakası, günümüzde kullanılan kanal dolgu patlarının dentin duvarına sıkı bir şekilde adapte olmasını engelleyerek kök kanal dolgusunda sızıntıya neden olabilir. Smear tabakası, kanal içi medikaman ve yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu geciktirmekte, fakat etkilerini önlememektedir (Kokkas ve diğerleri, 2004). Bu nedenlerden dolayı, başarılı bir kök kanal tedavisi yapmak için smear tabakasının uzaklaştırılmasının gerekli olduğu genel olarak kabul görmektedir (Violich ve Chandler, 2010).

Smear tabakasının, mikroorganizmaların, mikrobiyal toksinlerin, nekrotik ya da vital pulpa dokusu artıklarının kök kanal sisteminden uzaklaştırılması endodontik tedavinin başarısını etkileyen esas faktörlerdir (Basmadjian ve diğerleri, 2002). Fakat karmaşık anatomik yapısından dolayı kök kanal sisteminin, enstrümentasyonla tamamen temizlenmesi ve şekillendirilmesi imkansızdır (Solovyeva ve Dummer, 2000). Özellikle günümüzde kullanılan nikel-titanyum (Ni-Ti) döner enstrümanlar kök kanal sistemindeki apikal delta ve isthmus gibi alanlara dokunmadan sadece kanalın merkezinde hareket etmektedir (Gu ve diğerleri, 2009). Ni-Ti enstrümentasyon sistemleri ve geleneksel paslanmaz çelik el eğeleriyle neredeyse kanal duvarlarının yarısına dokunmadan kök kanalları genişletilmektedir (Peters, 2004). Bu nedenle enstrümentasyon sırasında ve sonrasında kök kanallarının kimyasal bir yıkama solüsyonuyla etkin bir şekilde yıkanması, dokunulmayan alanların debridmanı için esastır (Gulabivala ve diğerleri, 2005).

Endodontik tedavinin başarılı olabilmesi için kullanılan ideal kanal yıkama solüsyonları bir takım özelliklere sahip olmalıdır. Bunlar;

1. Biyofilm içerisinde organize olan fakültatif anaerob mikroorganizmalara karşı yüksek etkili ve geniş spektrumlu olmalıdır,
2. Nekrotik pulpa doku artıklarını çözebilmelidir,
3. Endotoksinleri inaktive etmelidir,
4. Kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında smear tabakasının oluşmasını engellemeli ya da oluşan smear tabakasını çözmelidir,
5. Canlı dokulara temas ettiği zaman toksik ve yıkıcı olmamalı, anaflaktik reaksiyona neden olma potansiyeli düşük olmalıdır (Zehnder, 2006).

Günümüzde ıslatma ve antimikrobiyal etkinliğini arttırmak için sürfaktan eklenmesine rağmen, yukarıda belirtilen tüm bu özellikleri taşıyan ideal bir yıkama solüsyonu bulunmamaktadır. Bu nedenle endodonti pratiğinde NaOCl, EDTA ve Klorheksidin gibi yıkama solüsyonları, birbirlerinin eksik özelliklerini tamamlaması için sırayla kombine şekilde kullanılmaktadır (Haapasalo ve diğerleri, 2010). Endodontinin tarihi gelişimi boyunca, kök kanallarında yıkama solüsyonlarının etkili bir şekilde dağıtılması ve aktive edilmesi için çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler manuel ve cihazlarla yapılan irrigasyon aktivasyon sistemleri olmak üzere

iki geniş kategoriye ayrılabilir. Kanallarda solüsyonları daha derinlere ulaştırarak aktive etmek için değişik çapta iğnelere sahip konvansiyonel şırıngalar, manuel fırçalar ve kanallara uyumlu guta perka konlarının kullanımı manuel yöntem olarak adlandırılmaktadır (Gu ve diğerleri, 2009). Son zamanlarda kanalların irrigasyon ve dezenfeksiyonunda kullanılması için geliştirilen cihazlar arasında EndoActivator, Pasif ultrasonik, EndoVac ve RinsEndo bulunmaktadır. Kök kanallarının yıkanması ve dezenfeksiyonunda kullanılan manuel tekniklere ilave olarak lazer sistemlerinin kullanılması da önerilmektedir (Basrani ve Haapasalo, 2012). Daha iyi bir endodontik tedavi yapılabilmesi için çeşitli lazer sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaya devam etmekte ve diş hekimliğinde kullanılan lazerlerin performansı arttırılmaktadır (Peeters ve Suardita, 2011).

2.1 Kök Kanal Sistemini Yıkamanın Önemi

Irrigasyon mikroorganizmalar, sert ve yumuşak doku artıklarının fiziksel ve kimyasal olarak kanaldan uzaklaştırılması işlemidir ve endodontide merkezi bir rolü vardır. Enstrümentasyon sırasında ya da sonrasında kullanılan yıkama solüsyonları, kök kanal sistemi boyunca bulunan mikroorganizmaların, pulpa ve dentin doku artıklarının uzaklaştırılmasını kolaylaştırır. Yıkama solüsyonları ayrıca kanalın apikal kısmında sert ve yumuşak doku artıklarının birikmesini ve enfekte materyalin periapikal alanlara ulaşmasını önleyebilir. Bazı yıkama solüsyonları kanal içerisinde bulunan inorganik ve organik doku artıkları da çözebilmektedir. Buna ilave olarak antimikrobiyal aktiviteye sahip solüsyonlar, bakteri ve maya gibi çeşitli mikroorganizmaları direk temasla öldürebilmektedir (Hülsmann ve Hahn, 2000). Enstrümentasyon sırasında yan kanal, isthmus, apikal delta ve oval çıkıntı gibi düzensiz anatomik yapılara ulaşamamaktadır. Enstrümentasyon ile ulaşamayan bu alanların temizlenebilmesi ve dezenfeksiyonu için enstrümentasyon işlemi kök kanallarının yıkanmasıyla desteklenmelidir (Özlek ve Eroğlu, 2016). Yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyon derinliğinin sınırlı olması, kök sisteminin enstrümentasyonundan ve yıkanmasından sonra da mikroorganizmaların dentin tübülleri içerisinde kalmasına neden olabilir (Ghorbanzadeh ve diğerleri, 2018).

İdeal bir yıkama solüsyonunun sahip olması gereken pozitif karakteristik özelliklerden yukarıda bahsedilmiştir. Günümüzde ideal olarak kabul edilebilecek bir kanal yıkama solüsyonu bulunmamaktadır. Bu nedenle farklı yıkama solüsyonlarının sırasıyla doğru bir şekilde kullanılması, başarılı bir kanal tedavisinin sağlanmasına katkıda bulunabilir (Haapasalo ve diğerleri, 2010).

2.2 Endodontide Kullanılan Güncel Yıkama Solüsyonları

2.2.1 Sodyum Hipoklorit (NaOCl)

Geniş spektrumlu antimikrobiyal, mükemmel doku çözücü ve proteolitik bir ajan olan NaOCl, 1920'li yıllardan itibaren endodontide en yaygın kullanılan yıkama solüsyonu olmuştur. Ayrıca ucuz, kolay bulunabilir ve uzun raf ömrüne sahiptir. Kloramin-T ve sodyum diklorisiyanurat gibi klor açığa çıkaran başka bileşikler de endodontide önerilmiş, fakat sodyum hipokloritten daha az etkili oldukları için genel olarak kabul kazanmamışlardır (Zehnder, 2006). NaOCl solüsyonu hem oksitleyici hem de hidrolize edici bir ajan olmakla beraber, güçlü bir alkalın ve hipertonic yapıya sahiptir (Basrani, 2015).

Klor, vücut sıcaklığında aköz solüsyon içerisinde hipoklorit (OCl^-) ve hipokloröz asit (HOCl) olmak üzere iki farklı formda bulunur. Asidik ve nötral ortamda klor HOCl , $\text{pH} \geq 9$ olduğu zaman ise OCl^- olarak bulunur (McDonnell ve Russell, 1999). Hipokloröz asit, hipokloritten daha fazla antibakteriyel etkiye sahiptir ve organik dokularla temas ettiği zaman çözücü görevi yaparak kloramin açığa çıkarır. Kloramin ise hücre metabolizmasının kesintiye uğrayarak bozulmasına neden olur. Hipokloröz asit ve hipoklorit iyonları, antimikrobiyal etki oluşturarak aminoasitlerin parçalanmasına ve hidrolizise yol açar (Basrani ve Haapasalo, 2012).

NaOCl'in etki mekanizması;

- Sabunlaşma reaksiyonu; yağ asitlerini, yağ asidi (sabun) ve gliserole (alkol) dönüştürerek yağ çözücü işlevi görür.
- Nötrleştirme reaksiyonu; hidroksil iyonları açığa çıkarıp su ve tuz oluşturarak aminoasitleri nötrleştirir.
- Hipokloröz asit oluşumu; suda çözünen klor, organik maddeler ile temas edince hipokloröz asit (HOCl) oluşturur. Bir oksitleyici olarak

işlev gören hipokloröz asit zayıf bir asittir. HOCl^- ve hipoklorit iyonları (OCl^-), aminoasitlerin bozulmasına ve hidrolizisine yol açar.

- Çözücü etki; NaOCl 'den açığa çıkan klor, proteinlerin amino grupları (NH) ile birleşerek kloramine dönüşür ve çözücü olarak işlev görür. Kloroaminler, mikroorganizmaların hücre metabolizmasını kesintiye uğratar. Klor ise güçlü bir oksidandır ve temel bakteriyel enzimleri geri dönüşümsüz bir şekilde okside ederek inhibe eder.
- Yüksek pH; NaOCl güçlü bir bazik yapıya sahiptir ve antimikrobiyal etkinliği yüksek pH'a ($\text{pH} > 11$) sahip olmasına dayanır. Yüksek pH, mikroorganizmaların enzimlerini geri dönüşümsüz olarak inhibe eder, hücre metabolizmasında biyosentetik değişiklik yapar ve fosfolipidleri bozarak sitoplazmik membranın bütünlüğünü kesintiye uğratar (Estrela ve diğerleri, 2002).

Enfekte kök kanal sistemindeki bakterilerin sayısının azaltılmasında, düşük ve yüksek konsantrasyonlu NaOCl 'in eşit derecede etkili olduğu saptanmıştır. Fakat NaOCl 'in doku çözücü etkisi, kullanıldığı konsantrasyon miktarıyla doğrudan ilişkilidir (Basrani, 2011). Kök kanal sisteminin şekillendirilmesi ve dezenfeksiyonu sırasında NaOCl solüsyonu genellikle pH:11'de %0.5 ile 6 arasında değişen konsantrasyon aralığında kullanılmaktadır (Gulabivala ve diğerleri, 2010). Fakat endodontik tedavi sırasında NaOCl solüsyonunun hangi konsantrasyonda kullanılması gerektiği tartışmalı bir konudur. Yüksek konsantrasyonda ($> \% 5.25$) kullanılan NaOCl solüsyonu yanlışlıkla periapikal alanlara taşıdığına ya da rubber-dam'ın kenarından ağız içerisine sızdığına şiddetli irritasyonların meydana geldiği bildirilmiştir (Hülsmann ve Hahn, 2000). Diğer yandan %5 ile %1'lik NaOCl solüsyonları arasında kanaldaki mikroorganizmaları azaltma etkinliği açısından bir farklılık olduğu saptanmamıştır (Siqueira ve diğerleri, 2000). Kök kanal tedavisi boyunca %1'lik NaOCl solüsyonunun kullanılması, bütün pulpa dokusunun çözülerek uzaklaştırılması için yeterli bulunmuştur (Sirtes ve diğerleri, 2005).

Etkili bir dezenfeksiyon için kullanılan NaOCl 'in miktarı konsantrasyondan daha önemlidir. Kanalin fazla miktarda NaOCl solüsyonuyla sık sık yıkanması düşük konsantrasyonda kullanılmasını telafi eder. NaOCl 'in bileşenleri dokularla temas ettiği zaman etkisini çok hızlı yitirdiği için kök kanal sistemi sürekli taze NaOCl

solüsyonuyla yıkanmalıdır (Basrani, 2015). Bundan dolayı kanalların yıkanması sırasında NaOCl'in etkinliğinde, kullanıldığı konsantrasyondan ziyade kanallarda devamlı yenilenmesi belirleyici rol oynayabilir (Gomes ve diğerleri, 2001). Kök kanallarının enstrümentasyonu ve yıkanmasından sonra kalan temizlenemeyen alanlar, kullanılan NaOCl solüsyonunun konsantrasyonuna değil bu bölgelere fiziksel olarak ulaşamamasından kaynaklı olabilir (Zehnder, 2006).

Kanal tedavisi sırasında açılan pulpa odası taze NaOCl solüsyonu için rezervuar kaynağı olarak kullanılmalıdır. Kök kanallarının mekanik enstrümentasyonu tamamlandığında master apikal kon belirlenmeli ve yıkama protokolüne her bir kanal içerisindeki taze NaOCl solüsyonunun aktivasyonu ile devam edilmelidir (Gulabivala ve diğerleri, 2010).

NaOCl'in, bakterileri öldürebilmesi için ne kadar süreye ihtiyaç olduğu literatürde yanlış yorumlanabilir. %0.5'lik NaOCl solüsyonu bakterileri 30 dakika içinde öldürürken, daha yüksek konsantrasyonlarda kullanılan NaOCl'in ise 30 saniye içinde öldürdüğü bildirilmiştir. Fakat uygulandığı ortamda bulunan organik madde, inflamatuvar eksuda, doku artıkları ve mikrobiyal biyokütlenin NaOCl'i tüketerek etkisini zayıflattığı unutulmamalıdır (Basrani, 2015). NaOCl'in çözücü ve antibakteriyel kapasitesinden sorumlu olan klor iyonu stabil değildir ve dokuların çözünmesi sırasında 2 dakika içinde hızlı bir şekilde ortamda tükenmektedir (Mohammadi, 2009). Şu bir gerçektir ki Ni-Ti döner aletlerle yapılan kök kanal enstrümentasyonu, kanalların şekillendirilmesi için gerekli olan süreyi kısaltmıştır. Fakat belli bir konsantrasyondaki NaOCl solüsyonunun kanal içerisinde ne kadar kalması gerektiği henüz yanıtlanamayan bir konudur (Zehnder, 2006).

Dentinin ağırlığının % 22'sini organik maddeler oluşturmaktadır. Bu organik maddelerin çoğunu, dentinin mekanik özelliklerine katkı sağlayan tip 1 kollajen oluşturmaktadır. NaOCl solüsyonu, dentinin organik yapıdaki bileşiklerini çözerek mekanik özelliklerinde değişikliğe neden olabilir (Basrani, 2015). %5.25'lik konsantrasyondaki NaOCl solüsyonu %0.5'lik konsantrasyona kıyasla dentinin elastisite modülünü ve eğilme dayanımını önemli derecede azaltmaktadır. Bu durum muhtemelen yüksek konsantrasyondaki NaOCl solüsyonunun dentinin kollajen

yapısı üzerinde proteolitik etki yapmasından kaynaklanmaktadır (Sim ve diğ erleri, 2001).

NaOCl'in dentin tübüllerine penetrasyon derinliği 77 ile 300  m arasında değişmekle beraber bu değerler NaOCl'in konsatrasyonuna, sıcaklığına ve uygulama süresine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Zou ve diğ erleri, 2010). NaOCl solüsyonu geniş antimikrobiyal aktivite gibi pek çok olumlu özelliklere sahip olmasına rağmen, smear tabakasının uzaklaştırılamaması, yüzey geriliminin düşük, koroziv ve toksik olması gibi bazı olumsuz özelliklere de sahiptir (Basrani, 2015).

NaOCl'in etkinliğini arttırmanın diğ er bir yolu da pH'ını düşürmek olabilir. Ayrıca, tamponlanmış NaOCl solüsyonunun vital dokulara karşı toksisitesi de daha azdır. Fakat, bikarbonatla tamponlanmış olan NaOCl solüsyonunun antimikrobiyal etkinliğinin tamponlanmamış solüsyona kıyasla çok az yüksek ya da aynı olduğu bildirilmiştir (Cotter ve diğ erleri, 1985). Bu nedenle NaOCl solüsyonu, endodontide sıklıkla tamponsuz olarak pH:11' de kullanılmakta ve kostik potansiyeli pH tarafından değil, içerdiği klor miktarı tarafından belirlenmektedir (Zhender, 2002). Düşük konsantrasyonlu NaOCl solüsyonunun sıcaklığı yükseltilerek de etkinliğini arttırılabilir. Düşük konsantrasyonlu ısıtılmış sodyum hipoklorit solüsyonunun doku çözücü ve antimikrobiyal özelliği, ısıtılmamış yüksek konsantrasyonlu sodyum hipoklorit solüsyonuna göre hem daha fazla hem de daha az toksiktir (Abou-Rass ve Oglesby, 1981). 45 C %1'lik ile 20 C %5.25'lik NaOCl solüsyonunun insan pulpa dokusunu çözme kapasitesinin aynı olduğu saptanmıştır (Sirtes ve diğ erleri, 2005).

2.2.2 Klorheksidin Glukonat

Klorheksidin, iki simetrik 4-klorofenil ve iki biguanid grubun santralde heksametilen zincir ile bağlanması sonucu meydana gelen sentetik katyonik bisguanid türevi bir moleküldür (pH:5.5-7). Klorheksidin diğlukonat, suda kolaylıkla çözünebilir oldukça stabil bir moleküldür (Greenstein ve diğ erleri, 1986). Mayalara, fakültatif anaeroblara, gram negatif ve pozitif bakterilere karşı oldukça etkili geniş spektrumlu bir antimikrobiyal ajan olan klorheksidin, kullanıldığı konsantrasyona bağlı olarak bakteristatik ve bakterisidal etkiye sahip olabilir (Vineet ve diğ erleri, 2014). Ağız boşluğunda plak kontrolü için %0.2'lik, endodontik tedavi sırasında ise

%2'lik konsantrasyonda yıkama solüsyonu olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Addy ve Moran, 1997, Zamany ve diğerleri, 2003).

Yüksek konsantrasyonlarda kullanıldığı zaman pozitif yüklü bir klorheksidin molekülü, mikrobiyal hücre membranı üzerinde bulunan negatif yüklü fosfat grupları ile etkileşime girerek hücre zarına zarar verir. Sonuç olarak hücre duvarının geçirgenliğinde artış meydana gelir ve klorheksidin bakteri içine penetre olur. Hücrenin ozmotik dengesinde değişime ve sitoplazmanın çökmesine neden olarak bakterisidal etki gösterir. Düşük konsantrasyonlu solüsyonlarda ise klorheksidin, potasyum ya da fosfor gibi düşük molekül ağırlıklı maddelerin hücrede kalıcı hasar oluşturmada hücre membranından dışarı sızmasına neden olur ve bakteriostatik etki gösterir (Basrani, 2015). Yıkama solüsyonu olarak kullanılan klorheksidinin antibakteriyel etkinliği, kullanıldığı konsantrasyona bağlıdır. %2'lik klorheksidin solüsyonunun antibakteriyel etkinliğinin %0.12'liğe göre daha iyi olduğu bildirilmiştir (Basrani ve diğerleri, 2003, Mohammadi ve Abbott, 2009).

Klorheksidin molekülü katyonik yapısı nedeniyle oral mukoza ve diş dokusu gibi anyonik substratlar tarafından hızlıca absorbe edilebilir. Klorheksidin molekülünün diş yapılarına reversibl olarak bağlanması ve tekrar salınması antimikrobiyal aktivitesini yitirmemesine neden olur (Gomes ve diğerleri, 2013). Antimikrobiyal etkinin kalıcılığı dentin yüzeyi ile etkileşime geçen klorheksidin moleküllerinin sayısına yani konsantrasyona ve uygulama süresine bağlıdır. %0.005 ile 0.1 arasında değişen konsantrasyonlarda kullanıldığı zaman, klorheksidin molekülleri diş yüzeyine sadece tek tabaka halinde, daha yüksek konsantrasyonlarda ise çok katlı tabaka halinde absorbe olur. Çok katlı tabaka halinde bulunan klorheksidin molekülleri, rezervuar kaynağı görevi görerek çevredeki ortama devamlı salınım halinde olurlar (Basrani, 2012). Kanal içerisine 5 dakika uygulanan %4'lük klorheksidin solüsyonunun antibakteriyel etkinliğini, %0.2'liğe kıyasla daha uzun süre devam ettirdiği bildirilmiştir. Fakat, klorheksidin solüsyonunun rezidüel antibakteriyel etkinliğini uzun süre devam ettirebilmesi için kanalda ne kadar süre bekletilmesi gerektiği henüz saptanmamıştır (Mohammadi ve Abbott, 2009).

%2'lik klorheksidin gel formunun likit formundan daha iyi bir performansa sahip olduğu bulunmuştur (Ferraz ve diğerleri, 2001). Organik dokuları çözücü

özelliğini değerlendirmek amacıyla yapılan bir çalışma sonucunda, ne sıvı ne de jel formunun nekrotik pulpa dokusunu çözemediği saptanmıştır (Okino ve diğerleri, 2004). Klorheksidin organik doku artıklarını çözmemesi, smear tabakası üzerinde etkili olmaması, biyofilmi parçalayamaması ve gram negatif bakterilere gram pozitif bakterilerden daha az etkili olmasından dolayı NaOCl'in kanal tedavisi sırasında birincil yıkama solüsyonu olarak kullanılması önerilmektedir. Enfekte kök kanallarına 30 dakika uygulanan %2.5'lik NaOCl solüsyonunun, %0.2'lik klorheksidin solüsyonuna göre negatif kültür elde etmede daha fazla antibakteriyel etki gösterdiği saptanmıştır (Kuruvilla ve diğerleri, 1998). NaOCl solüsyonu kullanılarak enstrümente edilen kanallarda, son yıkama solüsyonu olarak %2'lik klorheksidin kullanıldığı zaman ortamdaki pozitif kültürlerin sayısı azalmakta ve periapikal patolojili dişlerde üstün bir iyileşme görülmektedir. Klorheksidin NaOCl gibi dentin dokusunda erozyona neden olmamasından dolayı, EDTA solüsyonunu takiben antibakteriyel etkiyi maksimuma çıkarmak için son yıkama solüsyonu olarak kullanılması önerilmektedir (Zamany ve diğerleri, 2003).

Geniş bir matriks metalloproteinaz inhibitörü olan klorheksidin, hibrid tabakanın sağlamlığını önemli derecede arttırdığı gözlemlenmiştir. Klorheksidin dentin tarafından absorpsiyonu, rezinin dentin tübülü içine infiltrasyonunu artırarak rezin-dentin bağlanma kuvvetini güçlendirmiştir (Hebling ve diğerleri, 2005).

Klorheksidin cilt irritasyonu, toksisitesi ve hipersentivite insidansı çok düşük olan biyouyumlu bir maddedir. Yıkama solüsyonu ya da kanal içi medikaman olarak kullanıldığı zaman oluşan herhangi bir yan etki şu ana kadar bildirilmemiştir (Vineet ve diğerleri, 2014). NaOCl gibi düşük konsantrasyondaki klorheksidin ısıtılması, toksisitesini düşük tutarak kök kanal sistemindeki lokal etkinliğini arttırmaktadır (Evanov ve diğerleri, 2004).

Endodontik tedavi sırasında klorheksidin solüsyonu kullanılmasının önerildiği klinik durumlar;

- ✓ NaOCl'in taşma riskinin olduğu kök ucu açık ya da perforasyonlu dişlerde birincil yıkama solüsyonu olarak,

- ✓ Antimikrobiyal etkinliği maksimum düzeye çıkarmak için EDTA'dan sonra son yıkama solüsyonu olarak kullanılması önerilmektedir (Haapasalo, 2011).

Klorheksidin ile medikasyon ya da irrigasyon, apikalden kök kanal sistemine sıvı penetrasyonu ve kanal dolgusunun apikal sızdırmazlığı üzerinde olumsuz bir etki yaratmamaktadır (Vineet ve diğerleri, 2014).

2.2.3 Etilendiamin Tetra Asetik Asit (EDTA)

EDTA suda çözünebilen, renksiz, katı yapıda bir poliamino karboksilik asittir. Ca^{+2} ve Fe^{+3} gibi di ve trikatyonik metal iyonlarını substrattan ayırabilme kabiliyeti olduğundan dolayı şelasyon ajanı olarak çok sık kullanılmaktadır. EDTA ilk olarak 1935 yılında, Ferdinand Munz tarafından etilendiamin ve kloroasetik asitten hazırlanarak bulunmuştur. Günümüzde ise EDTA esasen etilendiamin, formaldehit ve sodyum siyanürden sentezlenir (Mohammadi ve diğerleri, 2013). Endodontide ise ilk defa 1957 yılında Nygaard-Østby tarafından %15'lik EDTA'nın (pH:7.3), dar ve kalsifiye kanalların kolayca genişletilmesi amacıyla kullanılması önerilmiştir (Hülsmann ve diğerleri, 2003).

Şelasyon ajanları başlarda likit olarak kullanılmasına karşın, daha sonra pat tipi şelasyon ajanları (RC-Prep) da tanıtılmıştır. Son zamanlarda nikel-titanyum alet üreticileri pat tipi şelatörlerin, Ni-Ti eğeler ile yapılan kanal enstrümantasyonunu kolaylaştırmak ve kanalda alet kırılmasını önlemek için kayganlaştırıcı olarak kullanılmasını önermişlerdir (Hülsmann ve diğerleri, 2003).

EDTA molekülleri, ortamdaki Ca^{+2} iyonlarına bağlanarak kararlı karmaşık yapıda bir bileşik olan kalsiyum disodyum tuzları üretir ve solüsyon içerisinde zamanla azalan bir aktivite sergiler (Cohen ve diğerleri, 2011). Metalik anyonik iyonlar, ortamdaki tüm EDTA bileşiklerine bağlandığı zaman bir denge oluşur ve çözünme reaksiyonu durur. Bundan dolayı, EDTA'nın demineralize edici etkisi kendini sınırlayıcıdır (Hülsmann ve diğerleri, 2003). Kök kanallarının genişliğine ve ortamdaki mevcut olan aktif miktarına bağlı olarak EDTA, dar, eğimli, kalsifiye olmuş kanalları açabilir. Çünkü demineralizasyon işlemi, ortamdaki tüm şelasyon

molekülleri kalsiyum ile karmaşık bir yapı oluşturuncaya kadar devam eder (Zhender ve diğerleri, 2005).

EDTA, smear tabakasının mineralize olmuş kısımlarını şelasyon yaparak uzaklaştırabilmesi nedeniyle endodontide yıkama solüsyonu olarak kullanılmaktadır (Basrani, 2015). EDTA, normalde tek başına smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırılmaz. Smear tabakasının organik yapıdaki bileşiklerini uzaklaştırmak için NaOCl gibi proteolitik bir bileşikle birlikte kullanılmalıdır. EDTA kullanarak smear tabakasının uzaklaştırılması ile dentin tübülleri açığa çıkacak, kanal patının dentin tübüllerine penetrasyonu çok daha iyi olacak ve bunun sonucunda kanal duvarlarına daha sıkı adapte olmuş bir kanal dolgusu yapmak mümkün olacaktır (Mancini ve diğerleri, 2009). %17'lik EDTA, son yıkama solüsyonu olarak kullanıldığı zaman smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırarak epoksi rezin esaslı kanal dolgu patının (AH Plus) dentine bağlanma kuvvetini arttırmaktadır (Aranda-Garcia ve diğerleri, 2013).

Uzun süreli temas halinde EDTA, bakteri hücre zarındaki metal iyonlarıyla birleşerek yüzey proteinlerini çıkarır ve bakterilerin ölümüne neden olur (Cohen ve diğerleri, 2011). Fakat EDTA'nın antibakteriyel etkinliği de sınırlıdır (Mohammadi ve diğerleri, 2013). %10'luk EDTA kullanımı bakteri çoğalmasını inhibe ederken daha düşük konsantrasyonlardaki EDTA solüsyonu (%0.03-1) bakteri üzerinde daha az bir etki yapmakta ya da hiç yapmamaktadır. Bu durumdan EDTA'nın antibakteriyel etkisinin konsantrasyona bağlı olduğu düşünülebilir (Russell, 2003).

EDTA, dentin içerisindeki kalsiyum iyonlarıyla da reaksiyona girerek çözünebilir kalsiyum şelatları oluşturur. EDTA, uygulandığı dentin yüzeyini 5 dakika içerisinde 20-30 µm derinliğe kadar dekalsifiye edebilmektedir (Mohammadi ve diğerleri, 2013). Dentin üzerinde 50 µm derinliğe kadar dekalsifiye edici kabiliyete sahip olduğundan, çok ince ve tıkanmış dentin tübüllerini kolaylıkla açabilir. Karşılıklı iki kanal duvarından elde edilen 100 µm dentin kalınlığı, #10 numaralı kanal aletinin uç kalınlığına eşdeğerdir (Cohen ve diğerleri, 2011). EDTA, smear tabakasını uzaklaştırma kabiliyetine ilave olarak kanal duvarlarına yapışık olan biyofilmi de kanal duvarlarından ayırabilir (Ghorbanzadeh ve diğerleri, 2018). Bu durum, antiseptik kapasitesi oldukça düşük olan EDTA'nın, kanal içerisinde bulunan

mikroorganizma sayısının azaltılmasında serum fizyolojikten oldukça üstün olmasının nedeni olarak gösterilebilir. Hiçbir randomize klinik çalışmada gösterilmemesine rağmen, NaOCl ve EDTA'nın birlikte kullanılmasının, NaOCl'in tek başına kullanılmasına göre kanal içerisindeki mikroorganizma sayısının azaltılmasında daha etkili olabileceği savunulmaktadır (Cohen ve diğerleri, 2011). EDTA'nın antimikrobiyal kapasitesini arttırmak için içerisinde kuarterner amonyum bileşikler (EDTAC) ya da tetrasiklin gibi antibiyotikler (MTAD) de eklenmektedir (Goldberg ve Abramovich, 1977, Srikumar ve diğerleri, 2013). Fakat bu solüsyonların EDTA'ya göre klinik etkinliğinin üstün olup olmadığı tartışmalıdır. EDTAC'ın smear tabakasını uzaklaştırma etkinliği EDTA ile benzer olmasına rağmen daha kostiktir (Cohen ve diğerleri, 2011).

Günümüzde şelasyon ajanları için gerekli olan ideal çalışma süresi kesin olarak bilinmemekle birlikte EDTA'nın kök kanal sistemini etkin bir şekilde temizleyebilmesi için 1 ile 5 dk arasında bir çalışma süresi önerilmektedir (Hülsmann ve diğerleri, 2003, Scelza ve diğerleri, 2003). Fakat, kök dentininin sertlik değerindeki değişiklikler, mineral kaybı ve kanal duvarlarının temizlenmesi çalışma zamanına bağlıdır. EDTA'nın 10 dakikadan daha fazla bir süre dentinle temas etmesi, dentinde erozyona neden olmaktadır (Calt ve Serper, 2002). Özellikle %5.25'lik NaOCl yıkama solüsyonunu takiben EDTA kullanıldığı zaman, peritübüler ve intertübüler dentinde önemli derecede erozyon meydana gelmektedir (Niu ve diğerleri, 2002).

Etkilenmemiş dentinin sertlik değeri ortalama 40 ile 70 kg/mm² arasında değişmektedir. Şelatörlerin, kök dentininin sertliğini 20 HV değiştirdiği bildirilmiştir. Fakat, şelatörler demineralize edici etkilerini kanalın dar olan kısımlarında göstermemektedir. Bunun nedeni olarak şelasyon ajanının kanalın dar olan kısımlarına ulaşma yetersizliği ve dar kısımlarında yenilenme zorluğu olduğu düşünülmektedir (Hülsmann ve diğerleri, 2003).

Kök kanal tedavisi sırasında apikal foramenden taşan EDTA'nın, periapikal dokularda enflamasyona neden olup olmadığı ya da ne dereceye kadar olduğu ise tartışmalıdır (Hülsmann ve diğerleri, 2003).

2.2.4 QMix

QMix, kök kanallarının yıkanması için tanıtılan yeni kombine bir son yıkama solüsyonudur. Kök kanallarının enstrümantasyonundan sonra NaOCl solüsyonu ile yapılan yıkamayı takiben kullanılması önerilmektedir. Berrak bir solüsyon olan QMix, antimikrobiyal aktivite sergilemek, kanal duvarlarından smear tabakası ve debris uzaklaştırmak için geliştirilmiştir. Antibakteriyel aktivite göstermesi için klorheksidin, yüzey gerilimini azaltmak için sürfaktan (triklosan) ve dekalsifiye edici ajan olarak da EDTA içermektedir. Normalde EDTA ve klorheksidin karıştırıldığı zaman beyaz bir çökelti meydana gelmektedir. Fakat, QMix'in kimyasal yapısından dolayı bu çökelti oluşmamaktadır. Klorheksidin ve NaOCl karıştırıldığı zaman ise karsinogenik bir çökelti olan parakloroanilin oluşmaktadır ve bu kaygı verici bir durumdur. QMix klorheksidin içermesine karşın, NaOCl ile karıştırıldığı zaman herhangi bir çökelti oluşmamaktadır (Kolosowski ve diğerleri, 2014).

Biyofilme gömülü *E. faecalis* bakterilerine karşı QMix ve %2'lik klorheksidinin antimikrobiyal aktivitesi benzer olmasına karşın %17'lik EDTA'dan daha fazladır (Zhang ve diğerleri, 2015). Son yıkama solüsyonu olarak kullanıldığında, *Candida albicans*'a karşı %2'lik klorheksidin ile benzer, %17'lik EDTA'dan daha fazla antifungal etki göstermektedir (Kalyoncuoğlu ve diğerleri, 2016). %5.25'lik NaOCl yıkama solüsyonunu takiben kullanıldığında, %17'lik EDTA kadar etkin bir şekilde smear tabakasını uzaklaştırmaktadır (Dai ve diğerleri, 2011). Lazer ya da pasif ultrasonik cihazı ile aktive edilen QMix, smear tabakasını daha etkili bir şekilde uzaklaştırıldığı saptanmıştır (Koçak ve diğerleri, 2017, Montero-Miralles ve diğerleri, 2018).

%5.25'lik NaOCl kadar olmasa da bir miktar artık pulpa dokusunu çözebilme kabiliyeti olduğu gösterilmiştir (Arslan ve diğerleri, 2015). Son yıkama sonrasında QMix, %17'lik EDTA'ya kıyasla dentinin mikro sertlik değerinde daha fazla azalmaya yol açmasına karşın, dentin yüzeyinde daha az erozyona neden olmaktadır (Baldasso ve diğerleri, 2017). Periodontal ve periapikal dokular üzerinde QMix'in, %17'lik EDTA'dan daha az, %2'lik klorheksidin ve %5.25'lik NaOCl solüsyonundan daha fazla toksik etkiye sahip olduğu bulunmuştur (Karkehabadi ve diğerleri, 2018).

2.2.5 Irritrol

NaOCl ile kanalların yıkanmasını takiben kullanılan, klorheksidin, EDTA ve deterjandan oluşan, yeşil renkli yeni bir son yıkama solüsyonudur. İçerisinde bulunan deterjan yüzey gerilimini azaltarak dentin tübüllerine daha kolay akmasını sağlamaktadır. Diğer şelasyon ajanlarına kıyasla, dentin üzerinde daha az demineralizasyon yaparak smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırdığı üretici firma tarafından iddia edilmektedir. Irritrol ile yapılan son yıkamayı takiben uygulanan kanal dolgusunda, %7'lik maleik aside kıyasla daha fazla apikal sızdırmazlık saptanmıştır (Agrawal ve diğerleri, 2018).

2.3 Yıkama Solüsyonları Arasındaki Etkileşim

2.3.1 NaOCl ile Klorheksidin Arasındaki Etkileşim

NaOCl ve klorheksidin birleştiği zaman karsinojenik bir çökelti olan para-kloroanilin (PCA) meydana gelmektedir ve bu çökeltinin periapikal ve periodontal dokulara sızma ihtimali kaygı verici bir durumdur. Ayrıca PCA, dentin tübüleri içine penetre olarak kanal dolgu patının dentine adezyonunu engeller (Vineet ve diğerleri, 2014). PCA'nın insanlarda toksik olduğu ve methemoglobin formasyonunun bir belirtisi olan siyanoza neden olduğu gösterilmiştir. NaOCl'den sonra ve klorheksidinden önce EDTA veya diğer solüsyonlar kullanılarak etkileşimden kaçınılmalı veya alternatif olarak, kanallar, son yıkamadan önce kağıt konilerle kurutulmalıdır (Zehnder ve diğerleri, 2005).

2.3.2 NaOCl ile EDTA Arasındaki Etkileşim

NaOCl ve EDTA karıştırıldığı zaman EDTA'nın dekalsifiye edici özelliğinde bir değişiklik meydana gelmezken, NaOCl'in klor miktarında bir azalma olmaktadır. Sonuç olarak da NaOCl doku çözücü özelliğini kaybetmektedir. Bu nedenle bu iki solüsyonun ayrı olarak kullanılması önerilmektedir (Haapasalo ve diğerleri, 2010).

2.3.3 Klorheksidin ile EDTA Arasındaki Etkileşim

EDTA ve klorheksidin karıştırıldığı zaman tuz formunda toksik olmayan beyaz sisli bir çökelti oluşmaktadır (Basrani, 2015).

2.4 Önerilen Kanal Yıkama Protokolü

Modern endodonti literatüründe kök kanallarının yıkanması için birçok protokol önerilmesine rağmen, aşağıdaki uygulama en yaygın olanıdır;

- ✓ Her bir kanal, son şekil elde edilinceye kadar (yeterli boyut ve koniklik), her eğeleme sonrasında %2.5-5.25 arasında değişen konsantrasyonlarda NaOCl solüsyonu ile yıkanmalıdır,
- ✓ Her bir kanal içerisine yerleştirilen taze NaOCl solüsyonu 30 saniye aktive edilebilir (ultrasonik, sonik veya lazer ile),
- ✓ Daha sonra her bir kanal % 5-17'lik EDTA solüsyonuyla 1 dakika yıkanarak smear tabakası uzaklaştırılmalıdır (aktivasyon yapılabilir),
- ✓ Ardından kök kanal sistemi serum fizyolojik solüsyonuyla yıkanır,
- ✓ NaOCl, klorheksidin glukonat ya da QMix gibi bir antiseptik ajanla da son yıkama yapılmalıdır (Basrani, 2015).

Kanal yıkama süresiyle ilgili kesin bir öneri bulunmamakla birlikte, genel olarak her bir kanalın en az 1 dk boyunca miktarı 5 ile 10 ml arasında değişen solüsyonla yıkanması tavsiye edilmektedir (Çalt ve Serper, 2002, Hülsmann ve diğerleri, 2003).

2.5 Kök Kanal Sisteminin Etkili Bir Şekilde Yıkanması İçin Kullanılan Güncel Sistem ve Cihazlar

2.5.1. Enjektörle Yapılan Konvansiyonel Yıkama

Yüzyılı aşkın bir süredir kök kanallarının yıkanmasında, bir enjektör ve ince bir iğne yardımıyla yapılan konvansiyonel teknik kullanılmaktadır (Sedgley, 2004).

Günümüzde daha yeni irrigasyon sistemleri geliştirilmesine karşın, kanalların yıkanması sırasında klinisyenler konvansiyonel tekniği daha çok kullanmaktadır (Peters, 2004). Fakat, zamanla konvansiyonel teknikle ilgili çeşitli parametreleri araştırmaya ve optimize etmeye yönelik ilgi azalmıştır. Günümüzde yapılan çalışmaların bir çoğu, yeni irrigasyon tekniklerini değerlendirmeyi amaçlamakta ve konvansiyonel teknik çok etkili olmayan bir teknikmiş gibi kontrol grubu olarak kullanılmaktadır. Buna rağmen, yakın zamanda yeni irrigasyon tekniklerinin konvansiyonel tekniğin yerini alması ve daha sık kullanılması düşük bir ihtimal gibi görünmektedir (Basrani, 2005).

Kök kanallarının yıkanması sırasında 1 ile 20 ml arasında değişen hacim kapasitesine sahip şırıngaların kullanılması önerilmektedir (Haapasalo ve diğerleri, 2010). Kanalların irrigasyonu sırasında kullanılan şırınganın boyutu, solüsyonun belli bir akış hızında akması için gerekli olan pistonu dokunma kuvvetini etkilemektedir (Boutsioukis ve diğerleri, 2007). Temel sıvı dinamikleri bu etkiye açıklık getirebilir. Kanalların yıkanması sırasında klinisyen, şırınganın pistonuna bir kuvvet uygular ve uygulanan bu kuvvet şırınganın içerisindeki yıkama solüsyonuna basınç şeklinde iletilir. Farklı boyutlarda şırınga kullanıldığı zaman klinisyen, pistonu farklı derecelerde kuvvet uygulamakta ve zorluk seviyesi hissetmektedir. Büyük şırıngaların pistonuna baskı uygulamak ve şırıngayı kontrol etmek daha zordur. Pistonun üzerine basıldığında, şırınga haznesinin içinde oluşan basınç iğne ucunun çevresindeki basınçtan (yaklaşık olarak atmosfer basıncı) daha yüksek olur. Bu yüksek basınç farkı, solüsyonun iğne aracılığıyla kanala iletilmesini ve şırıngayla yapılan yıkamanın pozitif basınç tekniği olarak kategorize edilmesini sağlar (Brunson ve diğerleri, 2010). Fakat solüsyonun akış hızı, yüksek basınç farkından ziyade kullanılan iğnenin boyutundan daha çok etkilenmektedir. Aynı basınç farkı için küçük çaplı bir iğnenin içindeki solüsyonun akış hızı, daha büyük çaplı iğne içindeki solüsyonun akış hızından daha düşüktür. Yani küçük çaplı iğnenin içindeki solüsyonun akış hızının, büyük çaplı iğne içindeki solüsyonun akış hızıyla aynı olması için daha büyük bir basınç farkı gerekmektedir (Boutsioukis ve diğerleri, 2007).

Klinisyenler arasında ve yapılan çalışmalarda sıklıkla karşılaşılan hata, solüsyonun kanala yüksek akış hızında verilmesinin basınç altında verilmesi olarak

ifade edilmesidir. Küçük çaplı iğne ile büyük boyutlu şırınganın birlikte kombine kullanılması, pistonu daha fazla kuvvet uygulanmasını gerektirmesine rağmen iğne içerisindeki solüsyonun akış hızı değişmeyecektir. Bu durum, kanallara gönderilen solüsyonun basıncının, şırınganın içindeki yüksek basınçtan çok daha düşük olduğunu göstermektedir (Boutsioukis ve diğerleri, 2009).

Kanalların yıkanması sırasında, kullanım kolaylığı açısından genellikle 5 ml'lik şırıngaların kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu şırıngalar, ince çaplı iğnelerle kombine bir şekilde kullanıldığında solüsyonun akış hızı 0.20-0.25 ml/s'ye kadar ulaşabilir. Oldukça yüksek bir değer olan 0.25 ml/s akış hızı, kanal irrigasyonunun mekanik ve kimyasal etkilerini arttırmaktadır. Kanallara solüsyon vermek için kullanılan iğneler açık ya da kapalı uçlu, bir ya da çok delikli olarak farklı şekillerde dizayn edilmekte ve boyutları 'Gauge' sistemiyle sınıflandırılmaktadır (Boutsioukis ve diğerleri, 2007). Kanal içerisinde çalışma boyuna kadar ulaşılabilmesi için ince çaplı iğnelerin (28G, 30G, 31G) kullanılması önerilmektedir (Boutsioukis ve diğerleri, 2010).

Kök kanal sistemi içerisindeki yıkama solüsyonunun yeterli bir kimyasal etki yaratabilmesi için devamlı değiştirilmesi gerekmektedir (Bronnec ve diğerleri, 2010). Yandan delikli iğnelerde solüsyon iğnenin ucunun proksimalinden çıkarak direk kanal duvarına yönelir (Boutsioukis ve diğerleri, 2010). Kanalin apikal bölgesindeki solüsyonun yenilenmesi için iğnenin tipi ve boyutu önemli bir etkiye sahiptir. Kanalin apikal bölgesindeki solüsyonun yenilenmesinde uç kısmı delikli iğneler, yandan delikli iğnelere göre daha etkilidir (Vinothkumar ve diğerleri, 2007).

İrrigasyon sırasında, debrisin koronale hareketini kolaylaştırmak ve solüsyonun periapikal dokulara taşmasını önlemek için iğnenin kanal içerisinde gevşek bir şekilde tutulması önerilmektedir. Enjektörle yapılan irrigasyon, iğneyi kanal içerisinde ileri geri hareket ettirerek, iğnenin derinliğini ve verilen solüsyonun hacmini kontrol edebilmemize imkan sağlar (Gu ve diğerleri, 2009).

Bakterilerin ve debrisin etkili bir şekilde uzaklaştırılması için gerekli olan başarılı bir irrigasyonu etkileyen faktörler arasında, iğnenin apekse yakınlığı, iç ve dış çapı, kök kanallarının yeterli genişletilmesi, verilen solüsyonun hacmi, basıncı ve viskozitesi sıralanabilir (Basrani, 2011). Literatürdeki genel eğilim, iğnenin kanalda

çalışma boyuna yakın yerleştirilmesiyle daha etkili bir irrigasyon yapılacağı yönündedir. Kanalların enstrümantasyon boyutu ve açısındaki artış da iğnenin çalışma boyuna yakın yerleştirilmesine olanak sağlayarak kanal içerisindeki solüsyonun yenilenmesini garanti eder (Bronnec ve diğerleri, 2010). Ayrıca kanalın genişliğine ve uzunluğuna uygun bir iğne seçilmesi başarılı bir irrigasyon için önemli bir faktördür. Büyük ölçülü iğnelerin çapı daha geniş olduğundan dolayı kanalın apikal ve dar kısımlarının temizlenmesinde yetersiz kalmaktadır (Cohen ve diğerleri, 2011). Aşırı eğimli kanallarda iğnenin çalışma boyuna yakın yerleştirilebilmesi için küçük boyutlu esnek iğneler (30G, 31G) piyasada bulunmaktadır (Basrani, 2015).

İğnenin ucu dar kanallarda koronal üçlüde, geniş kanallarda ise orta üçlüde konumlandığı için bu istenmeyen bir durumdur (Bronnec ve diğerleri, 2010). Bundan dolayı irrigasyon solüsyonunun penetrasyon derinliği ile kanalın apikal üçlüsünün ve dentin tübüllerinin dezenfeksiyonu sınırlıdır (Cheung ve Stock, 1993). Solüsyonun çalışma boyuna kadar penetre olabilmesi için kanal en az 30 ya da 35 numaralı eğeye kadar, açısı en az 0.06 olacak şekilde genişletilmelidir (Boutsoukis ve diğerleri, 2010).

Yandan delikli iğne ile yapılan irrigasyonda solüsyon, kanal içerisinde iğnenin ucundan 1 mm, ucu delikli iğne ile yapılan irrigasyonda ise 2-3 mm derine gidebilmektedir. Bu nedenle ucu kapalı yandan delikli iğneler çalışma boyundan en fazla 1 mm, ucu delikli iğneler ise çalışma boyundan en az 2-3 mm kısa olacak şekilde kanala yerleştirilmelidir (Basrani, 2015). Fakat iğnenin ucunun apikale yakın olmasından dolayı solüsyonun apikalden taşma riskini azaltmak için enjeksiyon yavaş bir şekilde yapılmalıdır. Özellikle apeksi kapanmamış genç daimi dişlere yapılan kanal tedavisi esnasında, dar çaplı iğnelerin kanalda sıkıştırılmasından ve aşırı basınçtan kaçınılmalıdır (Hülsmann ve Hahn, 2000).

Yukarıda sayılan tüm bu durumlara rağmen iğne ile yapılan irrigasyonda, sıvı akışının standardizasyonu ve kontrol edilmesi oldukça güçtür. Bu sebeple, irrigasyon solüsyonlarının apikal foramenden taşarak periapikal dokularda yaratacağı sitotoksik etkileri minimize etmek ve genişletilmiş kök kanallarının etkili bir şekilde debridmanını sağlamak için yeni aplikasyon sistemleri geliştirilmiştir (Bradford ve diğerleri, 2002).

2.5.2 EndoActivator (Sonik Sistem)

EndoActivator sistemi, pille çalışan bir başlık ve başlığa takılabilen çeşitli boyutlarda polimer uçlardan oluşmaktadır. Bu sonik sistem, çeşitli irrigasyon solüsyonlarını kanal içerisinde aktive etmek ve şiddetli hidrofemen etki üretmek için tasarlanmıştır. EndoActivator sistemi kanalların içerisine solüsyon vermez. Sadece solüsyonun kanallara dağılımını ve penetrasyonunu kolaylaştırır. Sonik sistem, kanalların dezenfeksiyonunu geliştirmek için etkili bir yöntem olarak gösterilmektedir (Jensen ve diğerleri, 1999). Bu sistemle yapılan irrigasyon yöntemi, mevcut diğer aktivasyon yöntemlerine kıyasla kök kanal sistemini dezenfekte etmek için daha iyi, güvenli ve hızlı bir yöntemdir. EndoActivator sistemi ile yapılan kanal dezenfeksiyonunda, molar dişlerin eğimli kanallarında lateral kanalların temizlendiği, smear tabakası ve biyofilmin uzaklaştırıldığı bildirilmiştir (Caron, 2007). İyi şekillendirilmiş kök kanallarında, EndoActivator'ün etkinliği daha iyi anlaşılmaktadır. EndoActivator ucunun kanallarda titreşimi sırasında, solüsyonla dolu pulpa odasının içerisinde debrislerden oluşan bir bulanıklık görülmektedir (Guerisoli ve diğerleri, 2002).

EndoActivator'ün temel fonksiyonu, akustik akım ve kavitasyon yoluyla kanal içerisindeki solüsyonu güçlü bir şekilde çalkalayarak hidrodinamik etki yaratmaktır. Bu hidrodinamik aktivasyon, kök kanal sistemi içerisinde mekanik olarak ulaşılamayan yerlere solüsyonun ulaşmasını, sirkülasyonunu ve penetrasyonunu arttırmaktadır. Bu durum, kök kanal sisteminin iyi bir şekilde temizlenerek üç boyutlu sıkı bir kanal dolgusunun yapılmasına ve uzun vadede başarılı bir tedavi elde edilmesine olanak sağlar (Guerisoli ve diğerleri, 2002). Genişletilmiş kök kanallarının içerisindeki solüsyonun çalkalanması, kalsiyum hidroksitin de etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar (Van der Sluis ve diğerleri, 2007). EndoActivator, esnek polimer uçları sayesinde iyi şekillendirilmiş kanallara kolay bir şekilde adapte olabilen güvenli ve etkili bir sistemdir. EndoActivator sisteminin, retreatment tedavisi sırasında önceden yerleştirilen dolum materyalinin artıklarını parçaladığı ve yerinden çıkardığı da bildirilmiştir (Ruddle, 2015).

EndoActivator başlığı kablolu, eğimli ve ergonomik bir yapıya sahiptir. Açma/kapama düğmesine hafif bir şekilde basılmasıyla çalışmaktadır ve güçlü esnek

polimer uçları aktive olmaktadır. Başlık çalıştığı zaman dakikada yaklaşık 10,000 devir hızla titreşerek smear tabakası ve biyofilmin debridmanını en üst düzeye çıkarmaktadır (Caron, 2007). Bu başlık, enerji kaynağı olarak tek bir lityum pil ile çalışmaktadır. Enfeksiyon kontrolü için başlığın üzerinden kolaylıkla geçebilen özel koruyucu kılıflar da dizayn edilmiştir. Başlığın otoklavlanmaması ya da dezenfeksiyon solüsyonlarına daldırılmaması gerekmektedir. Deterjanla hafif bir şekilde silinmelidir (Ruddle, 2015).

EndoActivator uçları sırayla küçük, orta ve büyük boyutlara karşılık gelen sarı, kırmızı ve mavi renkte dizayn edilmiştir. Ege terminolojisine uyumlu olacak şekilde sarı, kırmızı ve mavi renk kodları sırayla 20/02, 25/04 ve 30/06 numaralara karşılık gelmektedir. Güçlü, esnek ve plastik yapıda olan kolay kırılmayan uçlar 22 mm uzunluğundadır. Polimer uçlar dentini kesmez, kanalda basamak, perforasyon ya da apikal transportasyon yapmaz. Her bir EndoActivator ucu, 18, 19 ve 20 mm’de işaretlenmiş derinlik ölçme halkalarına sahiptir. EndoActivator uçları tek kullanımlıktır, otoklavlanmamalıdır (Ruddle, 2015). Bu sistemin tek dezavantajı, plastik uçların radyolüsent yapıda olması nedeniyle kanal içerisinde kırıldığı zaman radyografide teşhis edilememesidir (Gu ve diğerleri, 2009).

Genişletilmesi bitmiş kanallar için, çalışma boyundan 2 mm kısa ve kanala gevşek bir şekilde uyumlu bir uç seçilmelidir. Uç kanalın içinde gevşek bir şekilde özgürce hareket ederek yıkama dinamiğini arttırmalıdır (Pasricha ve diğerleri, 2015). Kanal enstrümentasyonu yetersiz yapılırsa ya da kanala göre çok büyük bir uç seçilirse, ucun kanal içerisindeki solüsyonu çalkalama hareketi kısıtlanacaktır. Geniş açılı kanallarda, polimer ucun 2-3 mm’lik dikey darbelerle aşağı-yukarı hareket ettirilmesi şaşırtıcı bir hidrodinamik etki üretmektedir (Boutsioukis ve diğerleri, 2010, Pasricha ve diğerleri, 2015). Seçilen uç kanal içerisinde çalışma boyuna kadar gidiyorsa, seçilen ucun şekli genişletilen kanalın şekline yakından benziyordur. Bu durum, solüsyonun kanal içerisinde önce laterale daha sonra da koronale doğru güvenli bir şekilde geri akmasına izin verir (Ruddle, 2015).

Titreşen uç, aşağı-yukarı dikey darbelerle hareket ettirildiğinde sinerjik olarak güçlü bir hidrodinamik fenomen üretir. Genel olarak 10,000 cpm titreşim hızı, smear

tabakasının ve biyofilmin dağılmasını, kanalların debridmanını optimize etmektedir (Caron, 2007).

İyi şekillendirilmiş açılı kanallar, irrigasyon solüsyonu için etkili bir rezervuar kaynağıdır. Bu kanalların içerisindeki solüsyon, aktive edildiği zaman kök kanal sisteminin her yerinde rahatça dolaşabilecek, penetre olabilecek ve debrisı uzaklaştırabilecektir. Ayrıca, klinik olarak pulpa odasının içerisinde de şiddetli bir sıvı akışı gözlemlenebilecektir. Pulpa odasındaki solüsyon, berrak olduğu görülene kadar devamlı değiştirilerek 60 saniye çalkalanmalıdır (Ahmad ve diğerleri, 1987).

Hidrodinamik fenomen, titreşen ucun kanal içerisindeki solüsyonu aktive etmesi ve dalgalanma olması ile meydana gelmektedir. Titreşim enerjisi, iyi şekillendirilmiş ve solüsyonla dolu kanal içerisinde dalgaların oluşmasını tetikler. Çalkalanan solüsyon içerisinde oluşan dalgalar, kabarcıklar meydana getirir. Oluşan bu kabarcıklar stabil değildir. Devamlı genişleme ve içeriye doğru patlama eğilimindedir. Oluşan her patlama, bir kaç saniye içerisinde 25,000-30,000 kez dağılan şok dalgaları yaymaktadır (Gutarts ve diğerleri, 2005). Bu şok dalgaları, solüsyonun kanal içerisinde güçlü bir şekilde penetre olmasına, bakteri kaplı biyofilmin parçalanmasına ve kanal yüzeylerinin temizlenmesine katkı sağlar. Patlayan hava kabarcıkları, kanal içerisindeki solüsyonun üzerinde bir basınç oluşturmakta ve solüsyonun sıcaklığını da arttırmaktadır. Solüsyonun üzerindeki basıncın artması, küçük mikroskobik alanların temizlenmesini teşvik eder. Kök kanal sistemini ve yüzeylerini temizlemenin tek mekanizması sıvı hidrodinamiğidir (Bergmans ve diğerleri, 2007, Pasricha ve diğerleri, 2015). Kanal içerisinde oluşan hidrodinamik etki kanalın şekline, seçilen ucun boyutuna, aktivasyon zamanına, solüsyonun miktarına ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir (Ruddle, 2015).

2.6 Endodontide Lazer

Lazer, radyasyonun uyarılmış emisyonu ile ışığın amplifikasyonu anlamına gelen ‘Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation’ın baş harflerinden oluşan kısaltmadır (Prause, 2000). Lazer teknolojisinin hızla gelişmesi, lazer uygulamaları için esnek fiber uçların üretilmesi ve lazerle biyolojik dokuların etkileşiminin daha iyi anlaşılması endodontide lazer uygulamalarını mümkün hale getirmiştir.

Lazer ışınının üretildiği gerçek fiziksel süreç lazer cihazının içinde meydana gelmektedir. Bir ışın hüzmesi, foton olarak bilinen enerji paketlerinden oluşmaktadır. Doğal haldeki bir atomda tüm elektronlar çekirdek etrafında hareket etmektedir. Bir atom dış enerji kaynağı tarafından uyarıldığında, temel enerji seviyesindeki elektron daha yüksek enerji düzeyine doğru hareket etmektedir. Yüksek enerji seviyesine gelen elektronlar stabil değildir ve temel enerji seviyesine dönme eğilimindedirler. Bundan dolayı yüksek enerji seviyesindeki elektronlar foton şeklinde enerji yayarak temel enerji seviyesine dönerler. Herhangi bir ek müdahale olmadan meydana gelen bu süreç spontan emisyon olarak adlandırılmaktadır (Hunter, 1993). Spontan emisyonunda her bir atoma özgü geniş spektrumlu (polikromatik) ve tutarlı (koherent) olmayan ışın üretilmektedir (Harris ve diğerleri, 1995).

Atomların uyarılarak fotonların yayılması ile lazer süreci başlamaktadır. Bir atom tarafından gerçekleştirilen foton salınımı, bir sonraki foton salınımını uyarmaktadır. Uyarılmış bir atomun foton zorlamasıyla ışıma yapmasına uyarılmış emisyon denir. Lazer ışını, uyarılmış emisyonla meydana gelmektedir (Hunter, 1993). Uyarılmış emisyonla doğada başka yerde bulunmayan zaman ve yön bakımından tutarlı (koherent), aynı renkte (monokromatik) ve birbirine paralel ışınlar üretilmektedir (Harris ve diğerleri, 1995). Uyarılmış emisyonla lazer ışınının üretilmesi için atom ve moleküllerin toplandığı aktif bir ortam içeren bir lazer kaynağı gerekmektedir. Cam veya seramik bir tüpün içerisinde, gaz, likit ya da solid materyallerden oluşan aktif ortam foton yayılımı için uyarılabilir olmalıdır. Elektrik akımı formundaki enerji aktif ortama verildiğinde çok sayıdaki atom uyarılmakta ve foton üretim süreci başlamaktadır. Lazer tüpünün bir ucunda yansıtıcı, diğer ucunda da kısmi geçirgen ayna bulunmaktadır. Uyarılmış durumdaki atomlar lazer tüpü içerisinde iki ayna arasında ileri-geri sıçrayan foton yaymakta ve daha fazla uyarılmış emisyonu neden olmaktadır. Aynı frekans ve dalga boyundaki enerji fotonları, kısmi geçirgen aynadan dışarıya çıkmakta ve lazer ışını formunu almaktadırlar (Nelson ve Berns, 1988).

Lazerler ışık enerjisine konsantre olmakta ve doğal ışıktan çok daha düşük enerji seviyesinde dokuları hedefleyerek etki uyandırmaktadır. Salınan fotonlar spesifik bir dalga boyuna sahiptir ve salınan fotonların dalga boyları, atomlardaki

elektronların enerji seviyelerine bağlıdır. Aynı elektron derecesine sahip atomlar aynı dalga boyunda foton salınımına neden olmaktadır. Bir lazer ışınının karakteristik özelliği sahip olduğu dalga boyuna bağlıdır (Clayman ve Kuo, 1997).

Lazer ışını bir dokuya ulaştığı zaman, doku tarafından emilebilir (absorbsiyon), çevre dokulara iletilebilir, yansiyabilir veya dağılabilir. Biyolojik dokuda absorbsiyon, esas olarak serbest su moleküllerinin, proteinlerin, pigmentlerin ve diğer makromoleküllerin varlığından kaynaklanmaktadır. Absorbsiyon katsayısı, gelen lazer ışınının dalga boyuna bağlıdır. Termal etkileşimlerde, su molekülleri tarafından absorbsiyon önemli bir rol oynamaktadır (Rossmann ve Cobb, 1995).

2.6.1. Lazerlerin Sınıflandırılması

- A.** Lazer aktif maddesine göre;
 1. Katı madde içeren lazerler (Granit, Ruby, Nd:YAG)
 2. Gaz lazerler (Argon, CO₂)
 3. Yarı iletken lazerler (Galyum arsenit)
 4. Kimyasallar
- B.** Lazer ışını hareketlerine göre;
 1. Devamlı ışın verenler
 2. Atımlı ışın verenler
- C.** Dalga boyuna göre;
 1. Morötesi ışınlar
 2. Kızılötesi ışınlar
 3. Görünür ışık spektrumundaki ışınlar
- D.** Işınlardan enerjisine göre;
 1. Düşük enerjili soft lazerler (He-Ne lazer, Ga-As lazer, Ga-AlAs lazer)
 2. Orta enerjili mid lazerler (Diyot lazer)
 3. Yüksek enerjili hard lazerler (Argon lazer, CO₂ lazer, Excimer lazer, Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG) (Kanaparthi ve Kanaparty, 2012).

2.6.2. Endodontide Lazerin Kullanım Alanları

Endodontide lazerler genellikle,

- ✓ Pulpanın vitalitesinin saptanmasında,
- ✓ Dentin hipersensitivite tedavisinde,
- ✓ Pulpa amputasyonu, direk ve indirek kuafaj tedavisinde,
- ✓ Kök kanallarının şekillendirilmesinde,
- ✓ Kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunda,
- ✓ Kök kanal sisteminin doldurulmasında,
- ✓ Kök kanal tedavisinin yenilenmesinde,
- ✓ Periradiküler cerrahide,
- ✓ Vital ve devital beyazlatmada kullanılırlar (Mohammadi, 2009).

2.6.3. Kök Kanal Sisteminin Dezenfeksiyonunda Lazer Kullanımı

Pulpal ve periapikal hastalıkların gelişmesinde önemli bir role sahip olan mikroorganizmaların kök kanal sisteminden uzaklaştırılması karmaşık bir işlemdir. Bu sebeple kök kanal sistemindeki mikroorganizmaların sayısının azaltılması için çeşitli enstrümantasyon teknikleri, irrigasyon rejimleri ve kanal içi medikamanlar uygulanmaktadır. Kimyasal yolla dezenfeksiyon elde edilebilmesi, kullanılan kimyasal maddelerin kök kanal sistemine yayılmasına bağlıdır (Jones ve diğerleri, 1991). Bakteriler dentinal tübüllerde 1000 µm derinliğe kadar kolonize olabilirken, geleneksel yıkama solüsyonları yüzey gerilimlerine bağlı olarak yaklaşık 100-130 µm derinliğe kadar penetre olabilmektedirler. Özellikle *E. faecalis* gibi inatçı bakteriler, dentin tübüllerinde 160-1000 µm derinliğe kadar penetre olabilmektedir. Sodyum hipoklorit dentin tübüllerine 130 µm derinliğe kadar penetre olabilmesine rağmen, daha derin tabakalara etki edememektedir. Bundan dolayı endodontide kullanılan pek çok kimyasal dezenfektana direnç gösterebilmektedir. Diod lazerin penetrasyon derinliği ise 810 µm, Nd:YAG lazerin 1064 µm'dir (Berutti, 1997, Estrela ve diğerleri, 2007).

Son yıllarda lazer cihazlarının geliştirilmesi ile kök kanalının sterilizasyonunda lazer kullanımı gündeme gelmiştir. Lazer ışınının karakteristik

özelliklerinden (koherent, monokromatik ve paralel) dolayı, hedef dokuyla fiber ucun direk temasını gerektirmeden derin dentin alanları dezenfekte edilebilmektedir. Lazer ışınının, geleneksel yöntemlerle ulaşılamayan dentin tübülleri, lateral kanal ve isthmus gibi bölgelere ulaşabildiği düşünülmektedir (Bergmans ve diğerleri, 2006).

Nd:YAG ve Diod lazer gibi kızılötesi lazerlerle bakterilerin yok edilmesi ile ilgili olarak iki muhtemel mekanizma üzerinde durulmaktadır. Birinci mekanizmada, lazer ışınının bakterinin bağlandığı substrat (dentin vs.) tarafından absorbe olduğu ve substratta ortaya çıkan ısının da mikroorganizmanın ölümüne yol açacak yükseklikte lokal ısı artışına neden olduğu düşünülmektedir. İkinci mekanizma ise lazer ışınının bakteri tarafından absorbe edildiği ve bakteri hücrelerinde direk hasar meydana getirdiği şeklindedir (Pirnat ve diğerleri, 2011).

2.6.3.1 Lazerle Aktifleştirilmiş İrrigasyon

Kanal yıkama solüsyonlarının lazer kullanımı ile aktivasyonu ya da çalkalanması endodontide oldukça yeni bir kavramdır. Endodontide lazerle ilgili yapılan önceki çalışmaların çoğu, kök kanallarının temizlenmesi, şekillendirilmesi, dezenfeksiyonu ve smear tabakasının uzaklaştırılmasına yöneliktir. Fakat, kanal duvarındaki dentinde potansiyel hasar meydana gelmesi, eğimli kanallara girebilme güçlüğü, periodonsiyumun ve kökün aşırı ısınması gibi bir takım sorunlar ortaya çıkmıştır (Basrani, 2015).

Lazer enerjisi, kanal içerisindeki yıkama solüsyonuna verildiği zaman, solüsyonda hemen bir hareketlenme ve kavitasyon (gaz kabarcığı oluşumu ve büzülerek patlaması) meydana gelmektedir. Lazer ucunun hemen önünde bir buharlaşma oluşur ve buharlaşan sıvı gaz kabarcığı oluşturarak genişler. Işınlama devam ederken gaz kabarcığının iç yüzeyindeki suyun daha fazla ısınmasıyla kabarcığın boyutu büyür. Lazer atışı kesildiğinde, çevredeki sıvının basıncı kabarcığın büzülmesine neden olarak bir akustik dalgalanma meydana getirir. Bu akustik dalgalar, kanal duvarlarından debrisin uzaklaştırılarak kök kanal sisteminin temizlenmesine yol açar. Bu nedenle lazerle yapılan temizleme etkisi ‘lazerle aktifleştirilmiş irrigasyon’ olarak sınıflandırılmaktadır (Matsumoto ve diğerleri,

2011). Bu benzer işlem için literatürde görülen diğer bir terim de ‘Foton-indüklü fotoakustik dalgalanma tekniği (PIPS)’ olarak adlandırılmaktadır. PIPS tekniğinde, lazerle aktifleştirilmiş irrigasyondan farklı olarak lazer ucu kök kanalının içine değil sadece kanal ağzına yerleştirilir (DiVito ve diğerleri, 2012). Lazerle aktifleştirilmiş irrigasyon, EDTA, NaOCl ve klorheksidin gibi yıkama solüsyonlarının etkilerini arttırarak bakteri yüklü biyofilmin ve debrisin kanaldan uzaklaştırılmasına katkı sağlar (Zhu ve diğerleri, 2013, Sahar-Helft ve diğerleri, 2013).

2.6.4. Er,Cr:YSGG Lazer

Er,Cr:YSGG lazer, su molekülleri tarafından oldukça yüksek derecede absorbe edilebilen 2780 nm dalga boyunda ışın yaymaktadır. Bir lazer ışınının su molekülleri veya doku tarafından absorpsiyonu ne kadar yüksekse, lazerin dokuyu kesme veya ablasyon kabiliyeti o kadar yüksektir. Lazer ışınının, hidroksiapatit içerisindeki su molekülleri tarafından absorbe edilerek anında buharlaşmasıyla fotoablasyon meydana gelir. 1000 µm derinliğine kadar dentin tübüllerinin içerisindeki su moleküllerinin ekspansiyonu görülebilir. Bu durum tübül içerisindeki bakterileri öldüren yeterince kuvvetli fotoakustik dalgalar üretmektedir (Gordon ve diğerleri, 2007). Bakteriler dentin tübülleri içerisinde 1000 µm, *E. faecalis* ise 800 µm derinliğe kadar penetre olabildiğinden bu fotoakustik dalgaların oluşması önemlidir (Haapasalo ve Ørstavik, 1987). NaOCl gibi solüsyonlar ise 100 µm derinliğe kadar penetre olabildiğinden bakteriler üzerinde sınırlı bir etkiye sahiptir (Berutti ve diğerleri, 1997). Çekilmiş dişlerde, radyal uçla kullanılan Er,Cr:YSGG lazerin umut verici sayıda bakterileri öldürdüğü tespit edilmiştir. Er,Cr:YSGG lazerin kök kanal dentininde 200 µm derinlikte %99.7, 1000 µm derinlikte ise %94.1 oranında dezenfeksiyon sağladığı bildirilmiştir. Radyal lazer ucunun şeklinin geliştirilmesi, kanal içerisinde lazer enerjisinin koni şeklinde daha geniş bir alana yayılmasını sağlamaktadır. Böylece lazer enerjisi, kanallardaki dentin tübüllerine penetre olarak tübül içerisindeki bakterilere daha kolay bir şekilde ulaşabilir (Schoop ve diğerleri, 2007, Gordon ve diğerleri, 2007).

Er,Gr:YSGG lazer, kök kanallarının kemomekanik enstrümantasyonunun son aşamasında kullanılmaktadır. 275 µm çapında RFT2 ve 415 µm çapında RFT3 olmak üzere iki farklı boyutta lazer ucu bulunmaktadır. RFT2 ucunun çalışma boyundan 1 mm kısa yerleştirilmesi için kanalların en az 30 numaralı eğeye kadar, RFT3 ucu ise kanalın apikal ve orta üçlüsünün birleşim yerine kadar yerleştirilmesi için en az 45 numaralı eğeye kadar genişletilmesi gerekmektedir. Kanal içi lazer terapisi, smear tabakası ve debrisin uzaklaştırıldığı temizleme fazı ile doku ablasyonu ve bakteri eliminasyonunun olduğu dezenfeksiyon fazı olmak üzere iki aşamada gerçekleşir (Kolnick, 2011).

2.6.4.1 Temizleme Fazı

Bu aşamada kök kanallarına kimyasal irrigasyon solüsyonları yerine serum fizyolojik solüsyonu yerleştirilip ışınlanarak smear tabakası ve debris uzaklaştırılır. Bu işlem, kanal içerisindeki serum fizyolojik solüsyonunda güçlü bir mikro ajitasyon etkisi yaratmaktadır ve her bir kanala 2-3 dakika uygulanmalıdır (Kolnick, 2011).

Kök kanallarının çalışma boyuna kadar kemomekanik enstrümantasyonunun tamamlanmasından sonra yapılan temizleme fazının klinik aşamaları;

- ✓ Kanalların apikal üçlüsünü temizlemek için RFT2 ucu kullanılır,
- ✓ Islak modda kullanılması önerilen lazer ayarları seçilir (1.25 W güç, 50 Hz, %24 hava ve %30 su),
- ✓ Kanallar steril serum fizyolojik solüsyonuyla doldurulur,
- ✓ RFT2 ucu çalışma boyundan 1 mm kısa kalacak şekilde kanal içerisine yerleştirilir,
- ✓ Lazer ucu kanal duvarlarına temas ettirilerek yaklaşık 1mm geriye doğru çekilir,
- ✓ Bu işlem kanalın apikal bölgesinin tamamen temizlendiğinden emin olmak için 4-5 kez tekrarlanır,
- ✓ Kanalın orta ve koronal üçlüsünü temizlemek için de RFT3 ucu kullanılır,
- ✓ Kanal steril serum fizyolojik solüsyonuyla doldurulur,
- ✓ RFT3 ucu, kanalın apikal ve orta üçlüsünün birleşim yerine yerleştirilerek aktive edilir,

- ✓ Kanalın apikal bölgesine uygulanan aynı işlem 5-6 kez tekrarlanır (Kolnick, 2011).

2.6.4.2 Dezenfeksiyon Fazı

Er,Cr:YSGG lazerden çıkan lazer enerjisi, doku ve mikroorganizmalardaki su molekülleri tarafından absorbe edilmekte ve anında fotoablasyon meydana gelmektedir. Ayrıca dentin tübülleri içerisindeki su moleküllerinin mikro ekspansiyonu ve büzülerek patlaması sonucunda bakterileri öldüren kuvvetli fotoakustik dalgalar oluşmaktadır. Lazer, kuru modda kullanıldığı zaman ortaya daha etkili bir sonuç çıkmaktadır (Gordon ve diğerleri, 2007). Dezenfeksiyon fazının uygulama tekniği, temizleme fazıyla aynı olmakla beraber tek farkı kuru modda kullanılmasıdır (0.75 W, 20 Hz, %10 hava, %0 su). Dezenfeksiyon fazının uygulanması, tüm endodontik tedaviler için önerilmesine karşın aşağıdaki klinik durumlarda kullanılması daha önemlidir (Kolnick, 2011);

- ✓ Kökün periapikali, laterali veya furkasında radyolüsensin olduğu enfekte dişlerde,
- ✓ Periapikal periodontitisli dişlerde yapılan retreatment tedavisinde,
- ✓ Özellikle çatlak diş sendromu tanısı konulmuş akut derecede iltihaplı olgularda,
- ✓ İnternal ve eksternal rezeksiyon olan dişlerde,
- ✓ Konvansiyonel endodontik tedaviye yanıt vermeyen inatçı enfeksiyonlarda,
- ✓ Açıklanamayan uzun süreli postoperatif rahatsızlıklarda (Kolnick, 2011).

Er,Cr:YSGG lazerle kanal içerisindeki solüsyon ısımlandığında yaklaşık 4.5 mm çapında hava kabarcığı meydana gelmektedir. Bu nedenle fiber uç apekse 4.5 mm'den daha yakın tutulursa, kanaldaki solüsyon aktive edildiğinde içerisinde oluşan basınç dalgaları nedeniyle periapikal dokulara taşabilir (Blanken ve diğerleri, 2009).

2.6.5 Lazerin Potansiyel Yan Etkileri

Diş kökü, periodontal membran ve ligament aracılığı ile alveolar kemikle bağlantı halindedir. Lazer, kanal içerisinde kullanıldığında periodontal dokularda termal yaralanmalar meydana gelebilir. Endodontik işlemlerde lazer uygulamaları, periodontal dokularda termal hasar meydana getirebileceğinden uygun güç, süre ve enerji yoğunluklarının seçilmesine özen gösterilmelidir. 7°C'lik kritik ısı eşik seviyesi, periodontal dokulara zararlardan kaçınmak adına biyolojik olarak dikkate alınan en yüksek ısı limit seviyesi olarak kabul edilmiştir (Mohammadi, 2009).

Kanal içerisinde farklı güç yoğunluklarında (1W ve 2W) kullanılan Er,Cr:YSGG lazer, güç yoğunluğundaki artışa paralel olarak kök çevresindeki ısıda da artış meydana getirmekte (1W için 3,84°C ve 2W için 5,01°C), fakat bu ısı artışı çevre dokularda geri dönüşümsüz hasara yol açmamaktadır (Abad-Gallegos ve diğerleri, 2009).

2.7 Solüsyonların Dentin Tübül Penetrasyonunu İnceleme Yöntemleri

Yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu değerlendirmek için ışık mikroskobu, stereomikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve lazer taramalı konfokal mikroskop (CLSM) kullanılmaktadır (Jardine ve diğerleri, 2016). CLSM, yıkama solüsyonlarının kanal duvarlarının çevresi boyunca dentin tübüllerine penetrasyonu ve dağılımı hakkında detaylı bilgi sağlayarak diğer tekniklere göre belirli avantajlar sunar. Işık mikroskobunun temel dezavantajı penetre olan yıkama solüsyonunun kök dentininden ayırt edilememesidir (Chandra ve diğerleri, 2012). SEM ile incelenecek sert diş dokusu örneklerinin ise, önce dehidrete edilmesi ve sonra yüzeyinin altınla kaplanması gibi özel bir takım işlemlerden geçmesi gerekmektedir (Kok ve diğerleri, 2012). Ayrıca SEM vakum altında çalıştığı için görüntüleme prosedürü zaman alıcıdır. CLSM ile incelenecek örneklerin ise özel olarak işlenmesi gerekmez ve görüntüde artefakta neden olma potansiyeli azdır (Hammad ve diğerleri, 2008). Ayrıca kalın örneklerin bile farklı optik bölümlerinden görüntü alınmasına ve son görüntüyü elde etmek için yeniden yapılandırılmasına izin

verir. Fakat SEM sadece örnekteki tek bir düzlemin görüntülenmesine izin vermektedir (Jardine ve diğerleri, 2016).

2.7.1 Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop (CLSM)

Lazer taramalı konfokal mikroskop, ışık kaynağı olarak bir lazer ışını ve görüntülerin işlenmesine yardımcı olan elektronik bir sistemden oluşmaktadır. Numunenin kalınlığı boyunca farklı optik alanlardan gelen ışığın neden olduğu bulanıklığı gidererek ve tek bir düzleme odaklanarak hem yüksek çözünürlüklü hem de çok ince optik görüntülerin elde edilmesini sağlamaktadır (Garcia-Herraiz ve diğerleri, 2012).

Normal optik mikroskop görüntüsündeki, odak düzleminin dışında bulunan bölgelerdeki bulanık perdeyi kaldırır. Numunenin üzerine gelen ışık, mikroskoptaki pinhole denilen küçük bir delikten geçerek ve objektifin görüntü düzlemine odaklanarak noktasal ışıklandırma yapar. Objektifin odak düzlemindeki noktaya gelen ışık, yansyarak pinhole denilen delikten tekrar geçer ve mikroskoba iletilir. Böylece, görüntü düzleminin dışından gelen yansıyan ışık elimine edilir ve odak düzlemi üzerindeki noktanın yüksek çözünürlüklü görüntüsü elde edilir. Hem mikroskoptan gelen aydınlatıcı hem de numuneden tekrar yansıyan ışığın ortak bir odak noktası olduğu için bu mikroskop konfokal mikroskop olarak adlandırılır. Bu prosedürle, numunedeki küçük bir noktanın görüntüsü elde edilmektedir.

Analiz edilen alanın tamamen taranması için aydınlatılan nokta (numune) ya da ışık noktası hareket ettirilerek ve herbir noktadan elde edilen görüntüler birleştirilerek tek bir görüntü resmi elde edilmesi ise daha karmaşık prosedürdür. Bu prosedür için kullanılan mikroskoplar, lazer taramalı konfokal mikroskop olarak adlandırılır. CLSM ile elde edilen görüntüler, konvansiyonel optik mikroskopla elde edilmesi mümkün olmayan hacim ve doku detayları içermektedir. İletilen ışığı yansıtan numunelerin incelenmesine izin verdiği için dolaylı kalınlığı ya da yapısı nedeniyle saydam olmayan numuneler CLSM ile analiz edilebilmektedir. CLSM'nin başlıca avantajları şunlardır (Garcia-Herraiz ve diğerleri, 2012);

- ✓ Daha fazla kontrast ve yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmesi,

- ✓ Noktasal optik görüntüler elde edilmesi,
- ✓ Farklı odak düzlemlerinden elde edilen görüntülerin birleştirilerek üç boyutlu yapılandırma yapılması,
- ✓ Görüntünün dijital hale getirilerek üzerinde morfometrik ölçümler ve analiz yapılması (Garcia-Herraiz ve diğerleri, 2012).

CLSM, endodontide dentin tübüleri içerisindeki bakterileri belirlemek, kanal dolgularının duvarlara adaptasyonunu, kanal dolgu patının ve yıkama solüsyonlarının dentin tübülerine penetrasyonunu tespit etmek için kullanılmaktadır (Llena ve diğerleri, 2015). Rodamin B boyası, floresan hale gelmesini sağlayarak dentin tübüleri içinde görülebilmesi için kanal dolgu patlarına ya da yıkama solüsyonlarına karıştırılır. Kullanılan rodamin B boyası çok küçük miktarda (%0.01) olduğu için kanal dolgu patlarının ya da yıkama solüsyonlarının fiziksel özelliklerini etkilememektedir (Jardine ve diğerleri, 2016).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Yaptığımız bu *in vitro* çalışmanın deney aşamaları Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nda ve İstanbul Üniversitesi Aziz Sancar Deneyisel Tıp Araştırma Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayı gerçekleştirmek için, Yakın Doğu Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Değerlendirme Etik Kurulu'ndan, 24.02.2017 tarihli 44 sayılı toplantıda etik kurul onayı alınmıştır.

3.1. Dişlerin seçimi ve Kök Kanallarının Enstrümentasyonu

Yapılan bu *in vitro* çalışmada, kök gelişimini tamamlamış 90 adet çürüksüz mandibular premolar dişler kullanılmıştır. Üç farklı açıdan periapikal röntgen alınarak dişlerin tek köklü ve düz kanal morfolojisine sahip olduğu doğrulanmıştır. Tüm dişler dental operasyon mikroskobu altında incelenmiş ve çürük, çatlak ya da kırık olduğu tespit edilenler çalışmaya dahil edilmemiştir. Dişler üzerindeki kemik, diş taşı ve yumuşak doku artıkları kretuar yardımıyla köklere zarar vermeden temizlenmiş ve önce % 5.25'lik NaOCl solüsyonunda iki saat, daha sonra ise serum fizyolojik solüsyonunda kanal şekillendirilmesi yapılana kadar bekletilmiştir. Standardizasyonu sağlamak için su soğutması altında, elmas separe yardımıyla köklerin uzunluğu apeksten koronale doğru 14 ± 1 mm olacak şekilde koronal kısımları uzaklaştırılmıştır. #10 K-file eğesi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) majör apikal foramende görülene kadar kanala yerleştirilmiş, ardından apeksten 1 mm koronalde olacak şekilde çalışma boyu belirlenmiştir. Çalışma boyunun tespit edilmesinden sonra kanal enstrümentasyonu, ProTaper Ni-Ti döner eğeleri (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ile üretici firmanın talimatı doğrultusunda uygun tork ve hız (250 rpm) değerinde F4'e kadar yapılmıştır. Enstrümentasyon işlemi sırasında hız ve tork ayarı yapılabilen X-Smart Plus (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) endo motor cihazı kullanılmıştır.

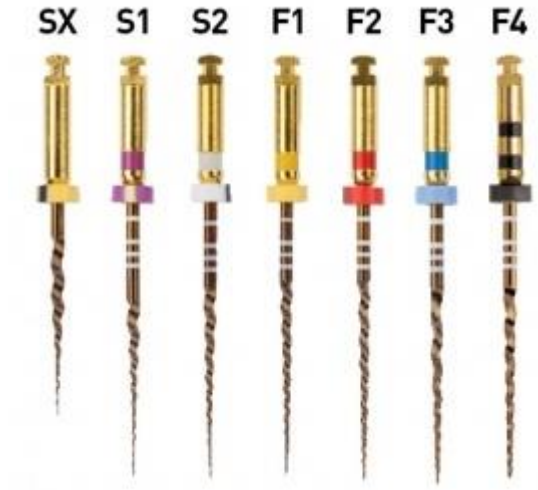


Şekil 3.1: Kanal Enstrümantasyonu Öncesi Standardize Edilmiş Kökler

Protaper Ni-Ti döner eğe sistemiyle kanalların şekillendirilmesi;

İlk olarak tüm kök kanalları, #20 numaralı K-file eğe kanal içerisinde gevşek olana kadar çalışma boyunda manuel yöntemle genişletilmiştir. Daha sonra kanalların 3-4 mm'lik koronal kısımları Sx başlangıç ProTaper eğesi ile şekillendirilmiştir. Sx eğesi kullanımını takiben kanalların koronal 2/3'lük kısmını genişletmek için önce S1, sonra S2 eğesi kullanılmıştır. S1 ve S2 eğeleri, kanallara çalışma boyuna kadar basınçsız bir şekilde fırçalama hareketiyle uygulanmıştır. Her eğeleme sonrasında kök kanalları 27 numaralı yandan delikli iğne ve 5 ml'lik enjektör yardımıyla 2 ml %5.25'lik NaOCl (Cerkamed, Polonya) solüsyonu ile yıkanmıştır. Her bir ProTaper şekillendirici eğe kullanımını ve kanal yıkamasını takiben, #10 numaralı K-file eğe ile çalışma boyunu kaybetmemek için rekapitülasyon yapılmıştır. Kanalların apikal ve koronal üçlüsü genişletildikten sonra ProTaper bitirme eğeleri yardımıyla apikal üçlüsü şekillendirilmiştir. Sırasıyla F1, F2, F3 ve F4 eğelerinin pasif bir şekilde hareket ederek çalışma boyuna kadar ulaşmasına ve kanalın apikal bölgesini genişletmesine izin verildi. Bütün kök

kanallarının apikal genişliği #40 numaralı K-file eğeye denk şekilde enstrümantasyon tamamlandı ve kanallar 5 ml serum fizyolojik solüsyonuyla yıkandı. Köklerin dış yüzeyine iki kat tırnak cilası uygulandı ve modelaj mumu kullanılarak apeksleri kapatıldı.



Şekil 3.2: Kanal Şekillendirilmesinde Sırayla Kullanılan ProTaper Eğeleri



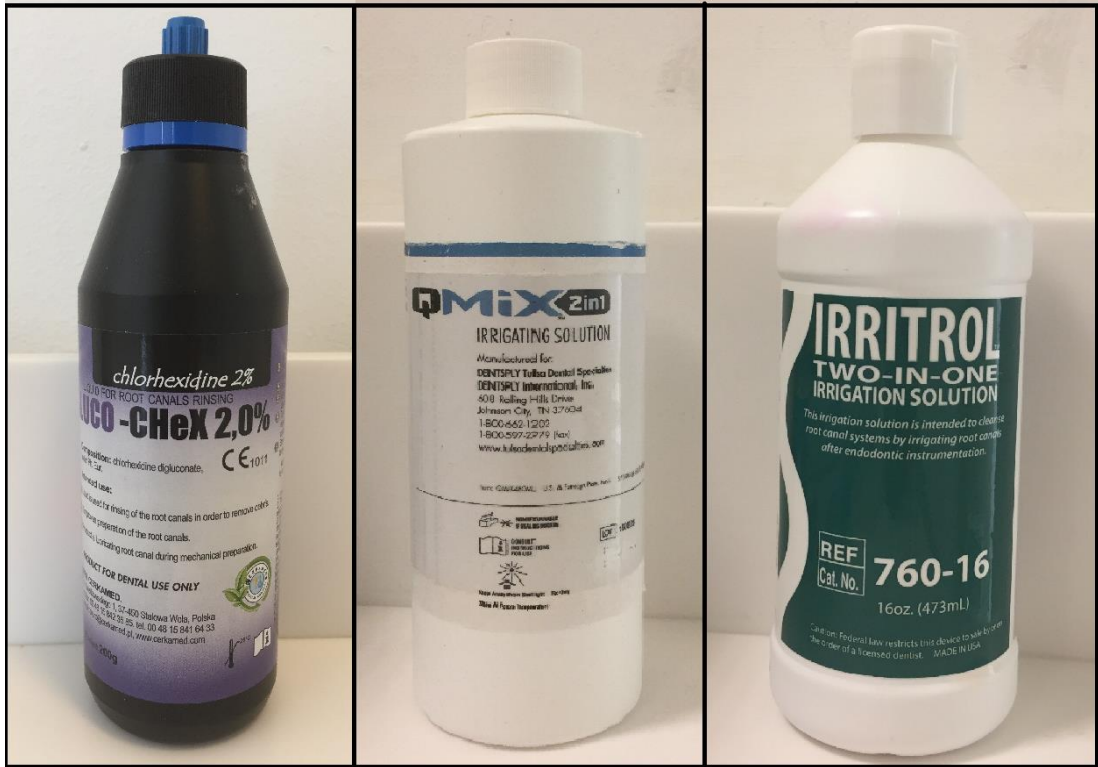
Şekil 3.3: Kanal Enstrümantasyonunda Kullanılan X-Smart Plus Endo-Motor Cihazı



Şekil 3.4: Kanal Enstrümantasyonu Yapılmış ve Apeksleri Kapatılmış Kökler

3.2. Çalışma Gruplarının Belirlenmesi ve Kanalların Son Yıkama Solüsyonuyla Yıkınması

Uygulanacak son yıkama solüsyonlarına göre kökler Klorheksidin (CHX), QMix ve Irritrol grubu olmak üzere rastgele 3 ana gruba ayrılmıştır (n:30). Klorheksidin grubunda kök kanalları, smear tabakasını uzaklaştırmak için kanal enstrümantasyonunu takiben 5 ml %17'lik EDTA (Cerkamed, Polonya), ardından serum fizyolojik solüsyonu ile yıkanmıştır. %2'lik Klorheksidin Glukonat (Cerkamed, Polonya), QMix (Dentsply, Maillefer, İsviçre) ve Irritrol (Essential Dental Systems, A.B.D.) son yıkama solüsyonları, CLSM altında dentin tübülleri içerisinde görülebilmesi için % 0.01 floresan Rodamin B (Merck, Darmstadt, Almanya) tozu ile karıştırılmıştır.



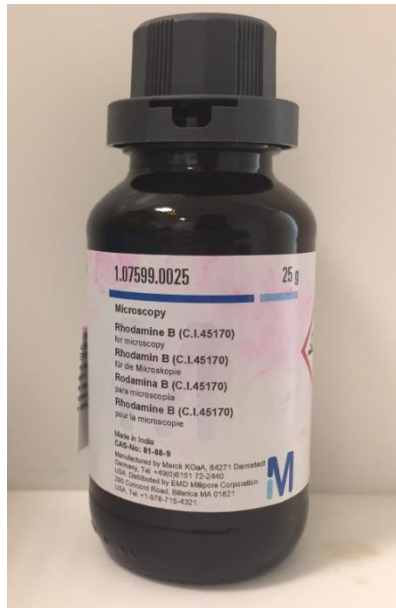
A

B

C

Şekil 3.5: Kanal Yıkama Sırasında Kullanılan Son Yıkama Solüsyonları

A: %2'lik Klorheksidin Glukonat **B:** QMix **C:** Irritrol



Şekil 3.6: Rodamin B Boyası

Her ana grup tekrar rastgele 3 alt gruba (n:10) ayrıldı ve son yıkama prosedürü aşağıda belirtildiği gibi uygulandı.

Grup 1: CHX+Geleneksel İrrigasyon (GI); yandan delikli iğne çalışma boyundan 2 mm koronalde olacak şekilde kanala yerleştirildi ve kök kanalları 5 ml %2'lik Klorheksidin Glukonat solüsyonuyla 1 dakika boyunca yıkandı.

Grup 2: CHX+Sonik İrrigasyon (SI); kök kanallarına %2'lik Klorheksidin Glukonat solüsyonu yerleştirilmesini takiben EndoActivator ucu, çalışma uzunluğundan 1 mm koronalde olacak şekilde kanala yerleştirildi ve 2–3 mm yukarı-aşağı hareket ettirilerek 1 dakika süreyle aktive edildi.

Grup 3: CHX+LAI; Er,Cr:YSGG lazer (Waterlase, Biolase, San Clemente, A.B.D.), kök kanallarına %2'lik Klorheksidin Glukonat solüsyonunun yerleştirilmesini takiben RFT2 uç (Endolase, Biolase) kullanılarak 15 saniye boyunca aktive edildi. Bu işlem, hava veya su olmaksızın 2780 µm dalga boyu, 25 mJ enerji, 1.25 W güç ve 20 Hz frekansla dört kez tekrarlandı. Lazer ucu ışınlama boyunca apeksin 5 mm koronaline yerleştirildi. İşlem sonunda kullanılan solüsyonun toplam hacmi 5 ml, toplam aktivasyon süresi 1 dakika idi.

Grup 4: QMix+GI; yandan delikli iğne çalışma boyundan 2 mm koronalde olacak şekilde kanala yerleştirildi ve kök kanalları 5 ml QMix solüsyonuyla 1 dakika boyunca yıkandı.

Grup 5; QMix+SI; kök kanallarına QMix solüsyonu yerleştirilmesini takiben EndoActivator ucu, çalışma uzunluğunun 1 mm koronalinde olacak şekilde kanala yerleştirildi ve 2–3 mm yukarı-aşağı hareket ettirilerek 1 dakika süreyle aktive edildi.

Grup 6: QMix+LAI; kök kanallarına QMix solüsyonu yerleştirildi ve RFT2 uç kullanılarak Er,Cr:YSGG lazerle 15 saniye boyunca aktive edildi. Bu işlem, hava

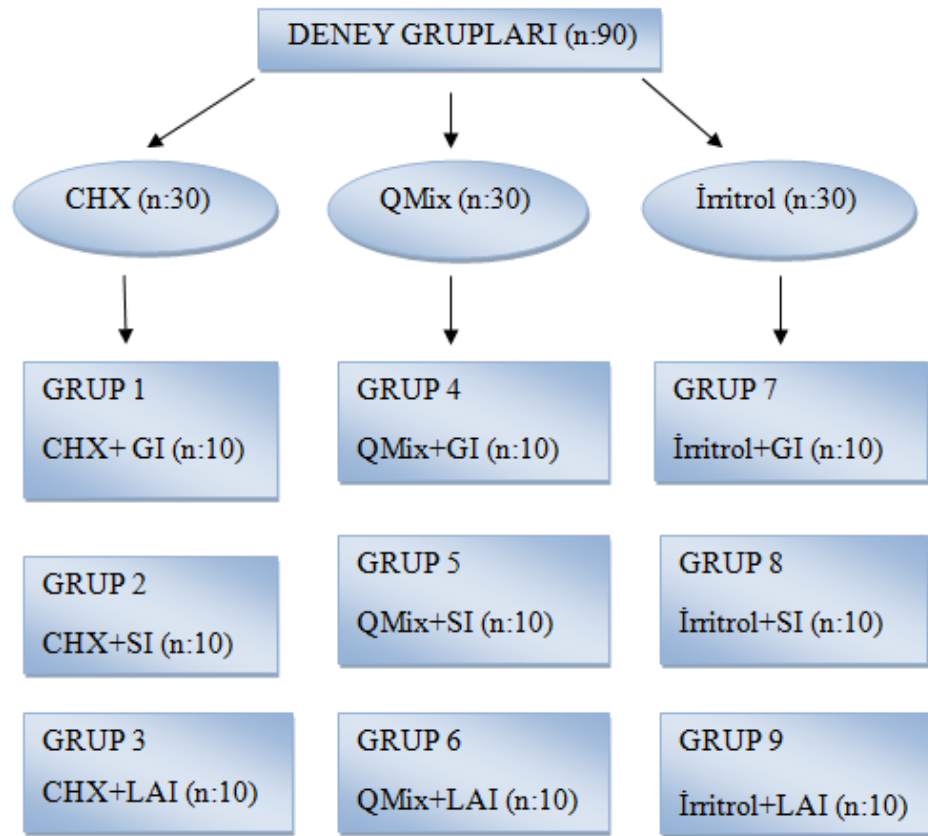
veya su olmaksızın 2780 µm dalga boyu, 25 mJ enerji, 1.25 W güç ve 20 Hz frekansla dört kez tekrarlandı. Lazer ucu ışınlama boyunca apeksin 5 mm koronaline yerleştirildi. İşlem sonunda kullanılan solüsyonun toplam hacmi 5 ml, toplam aktivasyon süresi 1 dakika idi.

Grup 7: Irritrol+GI (Konvansiyonel yıkama); yandan delikli iğne çalışma boyundan 2 mm koronalde olacak şekilde kanala yerleştirildi ve kök kanalları 5 ml Irritrol solüsyonuyla 1 dakika boyunca yıkandı.

Grup 8: Irritrol+SI (Sonik aktiviteli yıkama); kök kanallarına Irritrol solüsyonu yerleştirilmesini takiben EndoActivator ucu çalışma uzunluğundan 1 mm koronalde olacak şekilde kanala yerleştirildi ve 2–3 mm yukarı-aşağı hareket ettirilerek 1 dakika süreyle aktive edildi.

Grup 9: Irritrol+LAI (Lazerle aktifleştirilmiş yıkama); kök kanallarına Irritrol solüsyonunun yerleştirildi ve RFT2 uç kullanılarak Er,Cr:YSGG lazerle 15 saniye boyunca aktive edildi. Bu işlem, hava veya su olmaksızın 2780 µm dalga boyu, 25 mJ enerji, 1.25 W güç ve 20 Hz frekansla dört kez tekrarlandı. Lazer ucu ışınlama boyunca apeksin 5 mm koronaline yerleştirildi. İşlem sonunda kullanılan solüsyonun toplam hacmi 5 ml, toplam aktivasyon süresi 1 dakika idi.

Uygulanan son yıkama prosedürlerinden sonra tüm kanallar F4 ProTaper kağıt konilerle (Dentsply, İsviçre) kurulanmıştır.



Şekil 3.7: Deney Gruplarının Şematik Olarak Anlatımı



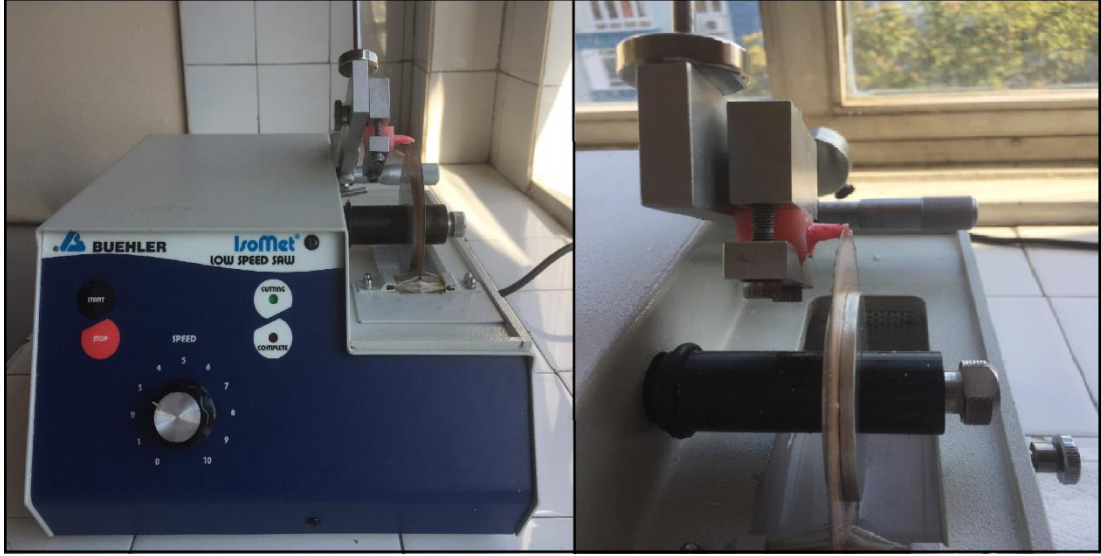
Şekil 3.8: Konvansiyonel Yıkama Sırasında Kullanılan 27 Numaralı İğne ve 5 ml'lik Şırınga



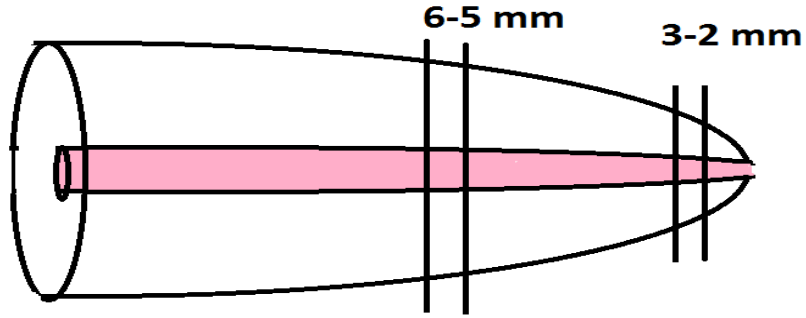
Şekil 3.9: Sonik Sistemle İrrigasyonda Kullanılan EndoActivator ve LAI Sırasında Kullanılan Er,Cr:YSGG Lazer Cihazı

3.3. Köklerden Horizontal Kesitlerin Alınarak Örneklerin Hazırlanması

Küçük kare şeklinde akrilik bloklar hazırlanmış ve tüm kökler bloklara dik olacak şekilde sirkolant mumu ile sabitlenmiştir. Köklerin sabitlendiği akrilik bloklar düşük devirde su soğutması altında çalışan IsoMet cihazına (Buehler, IL, A.B.D.) yerleştirilmiştir. Ardından 0.3 mm kalınlığında elmas disk (Buehler, IL, A.B.D.) ile kök ucundan 2 mm (apikal üçlü) ve 5 mm (orta üçlü) koronalde olacak şekilde diskin kalınlığı da dikkate alınarak 1 mm kalınlığında horizontal kesitler alınmıştır.



Şekil 3.10: Köklerden IsoMet Cihazıyla Horizontal Kesit Alınması



Şekil 3.11: Köklerden Horizontal Kesit Alınmasının Şematik Olarak Gösterimi

Kesim işlemleri sırasında oluşan dentinal debrisleri gidermek için horizontal kesitlerin koronal yüzeyleri aşındırıcı silikon karbid zımpara ile parlatılmıştır. Daha sonra her kesitin apikal yüzeyi, numaralandırılmış ve tanımlanmış olan cam lamlara çift taraflı yapışkan bant ile sabitlenmiştir.

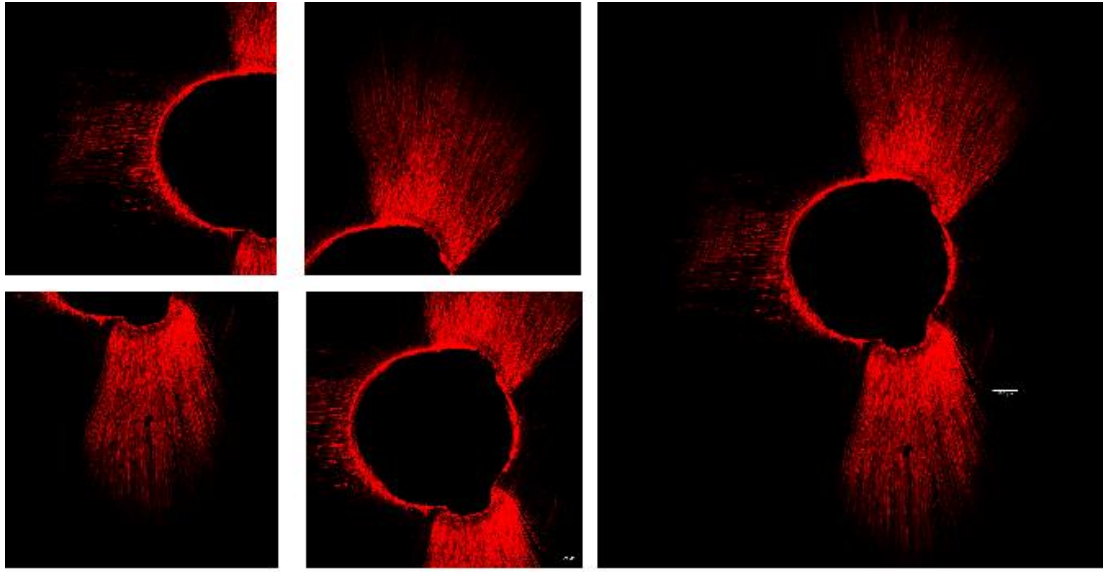


Şekil 3.12: Köklerin Apikal ve Orta Üçlüsünden Elde Edilen Bazı Horizontal Kesitler

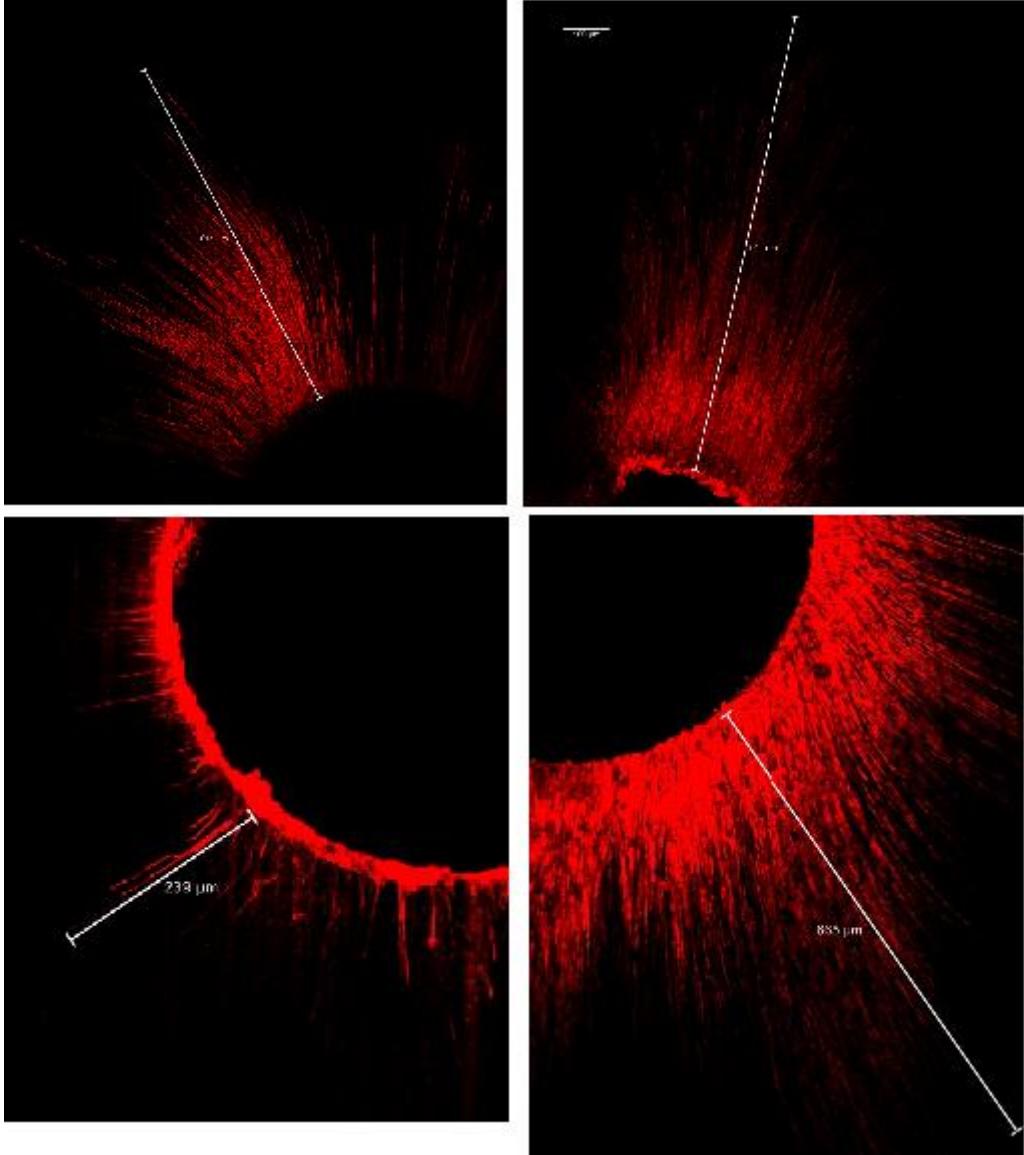
3.4. Örneklerin Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop (CLSM)'ta İncelenmesi

Kesitler, lazer taramalı konfokal mikroskop altında argon/helyum-neon lazer ile 560-600 nm dalga boyunda $\times 10$ 'luk büyütme ile görüntülendi. Tüm görüntüler, kök kanal merkeziyle beraber 512×512 piksel çözünürlükte standardize edildi ve floresan modda kaydedildi. Kanal çevresinin tek bir görüntüde görülemediği durumunda, farklı bölgelerden seri halinde kısmi görüntüler alındı ve Adobe Photoshop 6.0 (Adobe systems, San Jose, A.B.D.) programına aktarılıp birleştirilerek tek bir görüntü haline getirildi. Yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyon derinliğini ve yüzdesini ölçerek analiz etmek için tüm görüntüler ImageJ programına aktarıldı. Tutarlılığı sağlamak için ölçümler iki farklı gözlemci tarafından yapıldı. Görüntüler kanal merkezinden itibaren dört eşit bölgeye ayrıldı ve ImageJ programının ölçüm cetveliyle solüsyonların penetrasyon derinliği her bölgede mikrometre düzeyinde (μm) hesaplandı. Solüsyonun maksimum penetrasyon derinliği kanal duvarındaki tübül merkezinden dentin tübülü boyunca en derin penetrasyon noktasına olan mesafe olarak ölçüldü. Penetrasyon yüzdesini

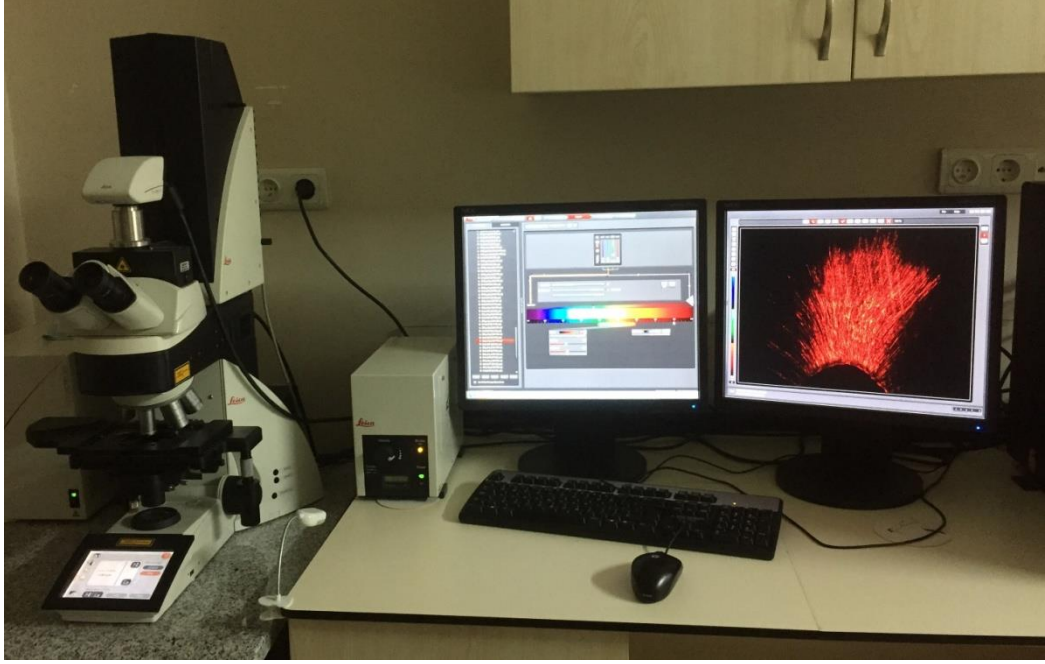
hesaplamak için Gharib ve arkadaşlarının kullandığı yöntem kullanılmıştır (Gharib ve diğerleri, 2007). Her bir kesitin görüntüsünde, kanal duvarının tüm çevresi ve solüsyonun penetre olduğu kanal duvarlarının çevre uzunluğu ImageJ programında çizilerek ölçüldü. Daha sonra elde edilen bu iki değer birbirine bölünerek son yıkama solüsyonlarının penetrasyon yüzdesi hesaplandı.



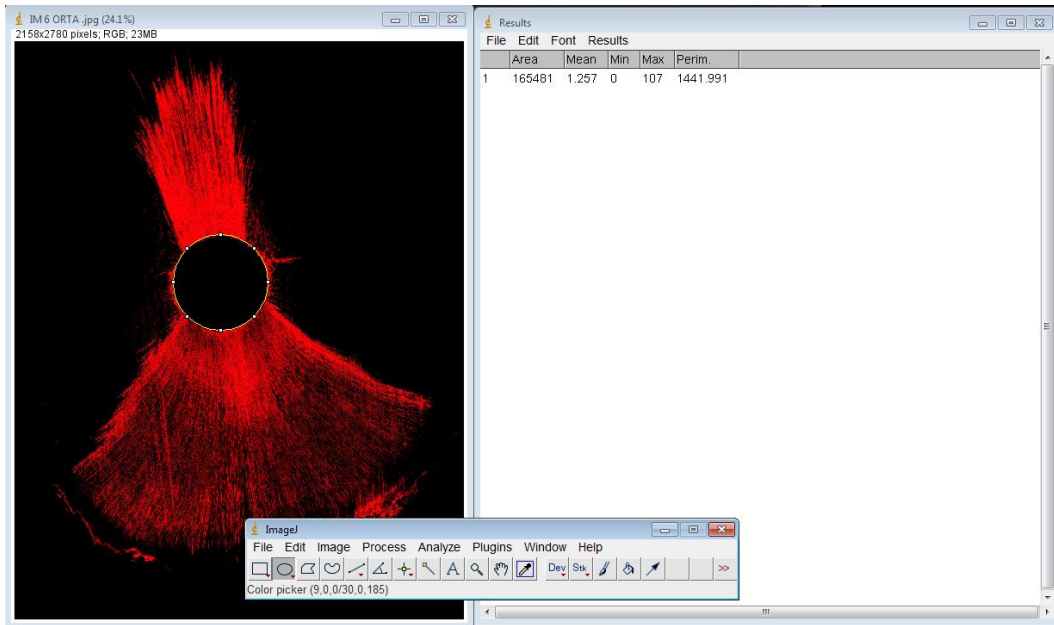
Şekil 3.13: CLSM’de alınan Kısmi Görüntülerin Adobe Photoshop 6.0 Programında Birleştirilerek Tek Bir Görüntü Haline Getirilmesi



Şekil 3.14: Solüsyonların Dentin Tübül Penetrasyon Derinliğinin Ölçülmesi



Şekil 3.15: Görüntülemeye Kullanılan Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop



Şekil 3.16: Penetrasyon Yüzdesinin ImageJ Programıyla Hesaplanması

3.5. İstatistiksel Değerlendirme

Yapılan bu *in vitro* çalışmada elde edilen verileri analiz etmek için SPSS 22 (PASW Statistics 20; SPSS Inc., Chicago, IL, A.B.D.) yazılım programı kullanılmıştır. Apikal ve orta üçlünden elde edilen veriler ayrı ayrı analiz edilerek karşılaştırıldı. Verilerin normallik dağılımına göre, yıkama solüsyonlarının penetrasyon derinliği ve yüzdesi bakımından apikal ie orta üçlü arasında yapılan iki gruplu karşılaştırmada T testi uygulanmıştır. Ana gruplar arasında ve içinde yapılan üç gruplu karşılaştırmada ise iki yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Kruskal-Wallis testi tercih edilmiştir. Her bölgede, gruplar arasında ve içinde son yıkama solüsyonlarının penetrasyon derinliği ve yüzdesi arasındaki farklılığın önemi tespit edildi. Tüm testler %95 güven seviyesinde tamamlandı ve anlamlılık seviyesi olarak 0.05 değeri kullanıldı. Elde edilen değerlerde $p < 0.05$ olması durumunda gruplar arasında ya da içinde anlamlı bir farklılığın olduğu, $p > 0.05$ olması durumunda ise anlamlı farklılığın olmadığı saptanmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Son Yıkama Solüsyonlarının Dentin Tübüllerine Penetrasyon Derinliğine İlişkin Bulgular

Yapılan çalışmada, yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyon derinlik değerinin belirlenmesinde, apikal ve orta üçlünden elde edilen her bir görüntü dört eşit bölgeye ayrılarak ölçümler yapılmıştır. Solüsyonun maksimum penetrasyon derinliği, kanal duvarındaki dentin tübül ağzından dentin tübülü boyunca en derin penetrasyon noktasına kadar olan uzunluk olarak ölçüldü. Apikal ve orta üçlünden elde edilen her bir kesitten ayrı ayrı toplam 8 adet veri edilmiştir. Her bir kesite ait 4 verinin ortalaması alınarak gruplar içi ve arası istatistiksel analiz yapılmıştır. Köklerin, apikal ve orta üçlü bölgelerinden elde edilen penetrasyon derinliği değerlerinin ortalamaları ve standart sapmaları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.1: Tüm Grupların Apikal Üçlü Bölgesindeki Penetrasyon Derinlik Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları

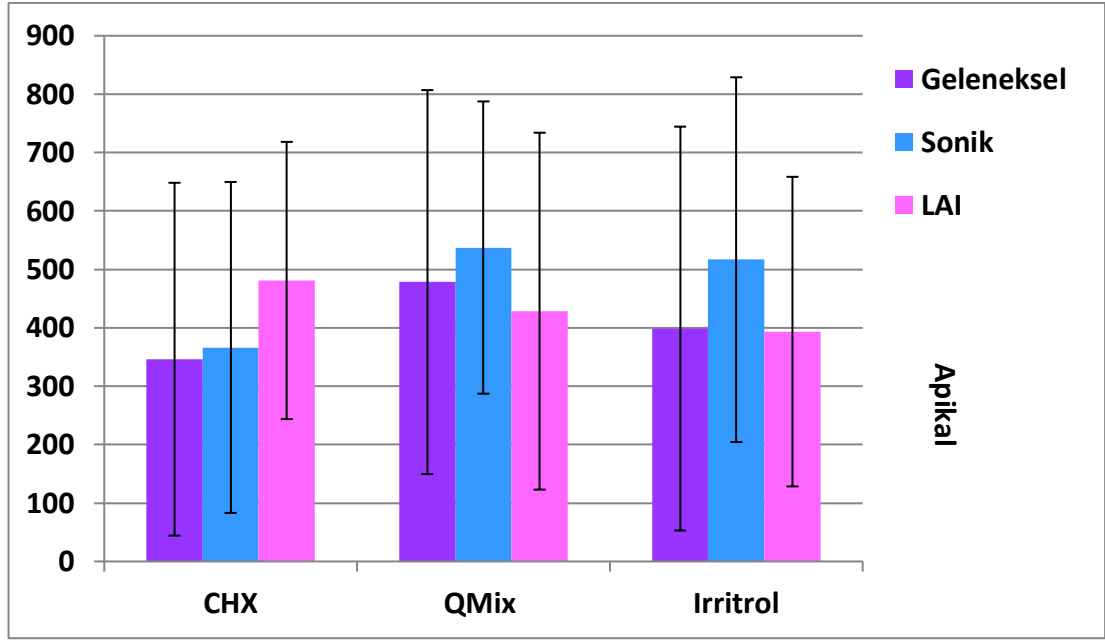
	GRUPLAR	n	Ortalama	Medyan	Standart Sapma
%2'lik Klorheksidin	CHX + GI	10	346,3	365,0	302,0
	CHX + SI	10	366,4	314,5	283,3
	CHX + LAI	10	481,0	434,0	237,3
	Toplam	30	397,9	344,0	272,7
QMix	QMix + GI	10	478,3	571,5	328,7
	QMix + SI	10	537,4	523,0	250,2
	QMix + LAI	10	428,5	460,5	305,5
	Toplam	30	481,4	517,0	289,8
Irritrol	Irritrol + GI	10	398,7	386,5	345,7
	Irritrol + SI	10	516,7	576,5	312,2
	Irritrol + LAI	10	393,5	394,0	265,0
	Toplam	30	436,3	454,5	304,1

Tablo 4.2: Tüm Grupların Orta Üçlü Bölgesindeki Penetrasyon Derinlik Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları

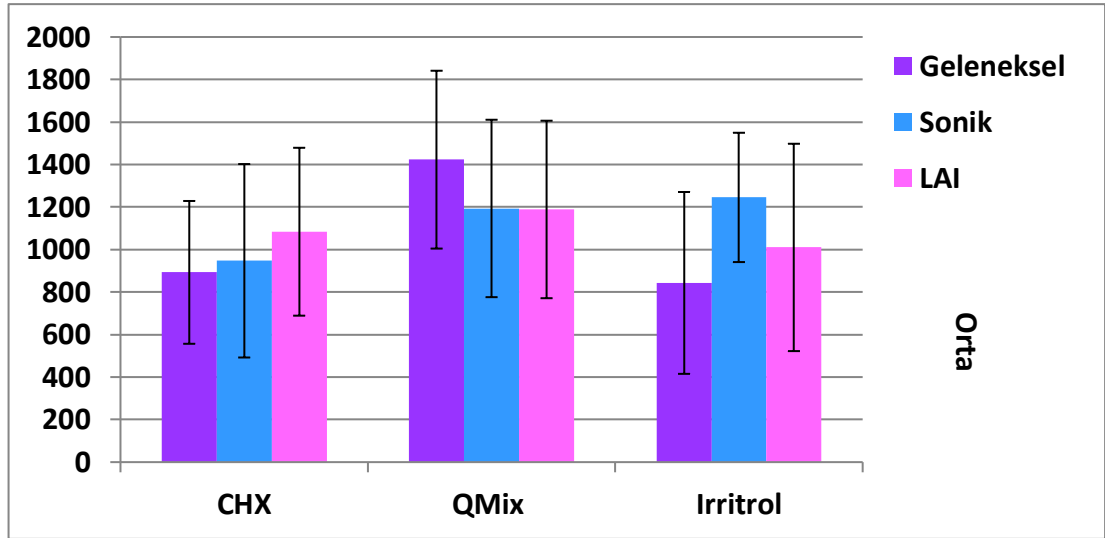
	GRUPLAR	n	Ortalama	Medyan	Standart Sapma
%2'lik Klorheksidin	CHX + GI	10	892,7	926,5	335,9
	CHX + SI	10	947,2	964,5	455,0
	CHX + LAI	10	1083,9	1147,0	394,9
	Toplam	30	974,6	1055,0	392,9
QMix	QMix + GI	10	1423,0	1604,5	418,3
	QMix + SI	10	1193,4	1226,0	417,3
	QMix + LAI	10	1188,7	1283,5	417,5
	Toplam	30	1268,4	1394,5	418,1
Irritrol	Irritrol + GI	10	843,1	929,5	427,8
	Irritrol + SI	10	1245,3	1227,5	304,2
	Irritrol + LAI	10	1010,1	1132,0	487,7
	Toplam	30	1032,8	1076,5	433,0

Kullanılan kanal yıkama yöntemlerine bakılmaksızın, son yıkama solüsyonlarının penetrasyon derinlik değerleri açısından apikal bölgede ana gruplar arasında (n:30) anlamlı bir farklılık görülmemektedir ($p>0.05$). Orta üçlü bölgesinde ise QMix ana grubunun (n:30) ortalama penetrasyon derinlik değeri klorheksidin grubuna göre anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Konvansiyonel yöntemle yapılan kanal yıkama işleminde, orta üçlüde QMix alt grubunun (n:10) ortalama penetrasyon derinlik değeri Klorheksidin ve Irritrol grubuna göre anlamlı derecede yüksektir ($p<0.05$).

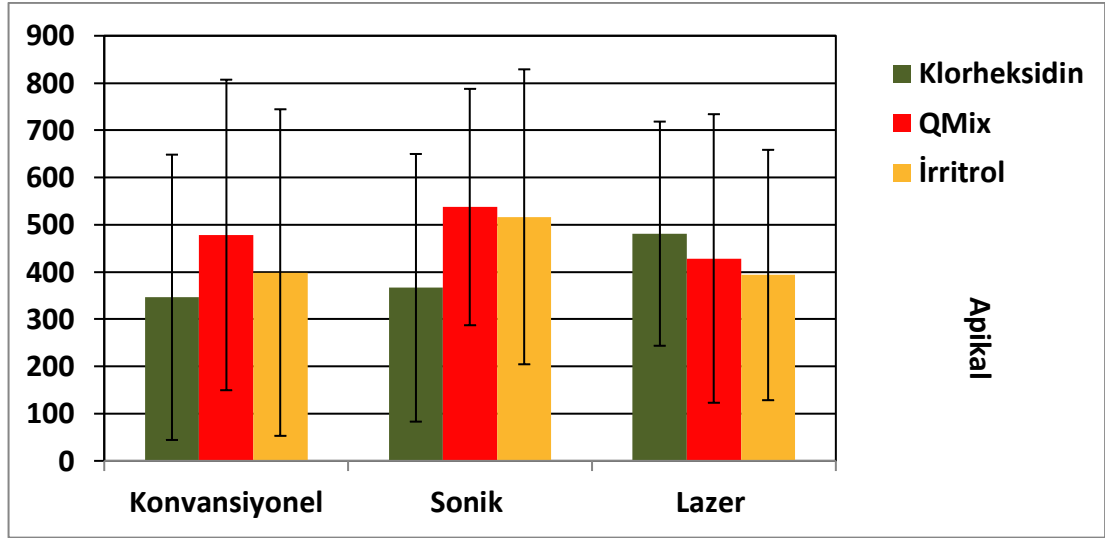
Kullanılan yıkama solüsyonunun çeşidine bakılmaksızın yapılan kanal yıkama işleminde, apikal ve orta bölgede penetrasyon derinlik değerleri açısından kanal yıkama yöntemleri arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($p<0.05$).



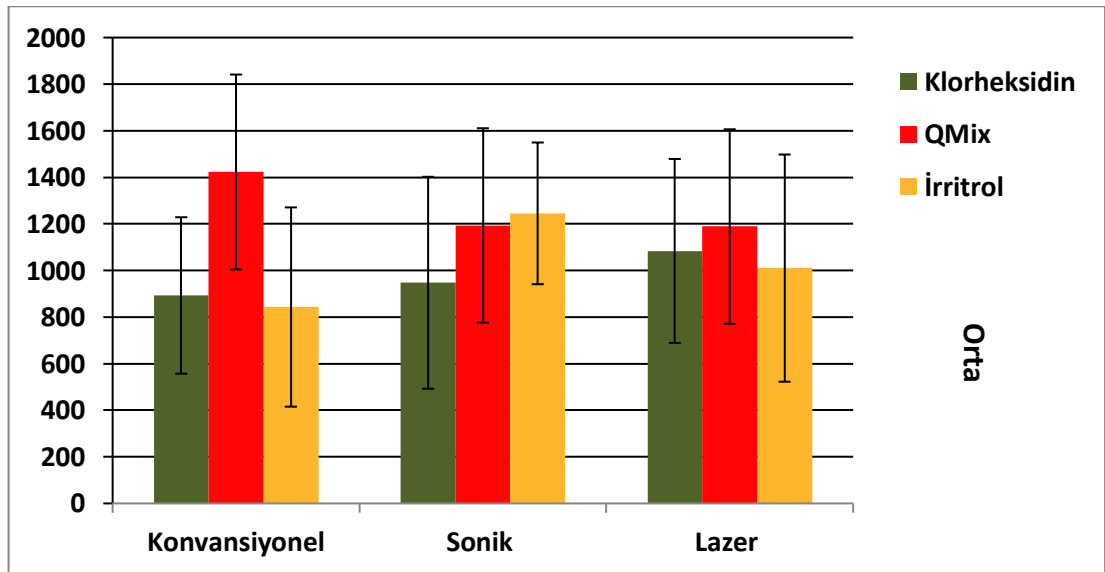
Şekil 4.1: Apikal Bölgede, Farklı Kanal Yıkama Yöntemlerine Göre Son Yıkama solüsyonlarının Penetrasyon Derinlik Değerlerini Gösteren Grafik



Şekil 4.2: Orta Üçlü Bölgesinde, Farklı Kanal Yıkama Yöntemlerine Göre Son Yıkama solüsyonlarının Penetrasyon Derinlik Değerlerini Gösteren Grafik



Şekil 4.3: Apikal Bölgede, Farklı Son Yıkama Solüsyonlarına Göre Kanal Yıkama Yöntemlerinin Penetrasyon Derinlik Değerlerini Gösteren Grafik



Şekil 4.4: Orta Üçlü Bölgesinde, Farklı Son Yıkama Solüsyonlarına Göre Kanal Yıkama Yöntemlerinin Penetrasyon Derinlik Değerlerini Gösteren Grafik

Tablo 4.3: Apikal ve Orta Bölgedeki Genel Grupların Penetrasyon Derinlik Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları

		GENEL GRUPLAR				t testi	
		n	Mean	Median	ss	t	p
PENETRASYON DERİNLİĞİ (µm)	Orta	90	1091,9	1112,5	429,7	11,98	0,0001
	Apikal	90	438,5	454,5	287,9		

Kanal yıkama yöntemine ve son yıkama solüsyonunun çeşidine bakılmaksızın genel gruplar (n:90) arasında yapılan kanal yıkama işleminde, orta üçlüdeki genel grubun penetrasyon derinlik değerleri apikal bölgeye göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur ($p>0.05$).

4.2. Son Yıkama Solüsyonlarının Dentin Tübüllerine Penetrasyon Yüzdesinin Hesaplanmasına İlişkin Bulgular

Yapılan çalışmada, yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyon yüzdesi, apikal ve orta üçlünden elde edilen her bir görüntü üzerinde ayrı ayrı ölçümler yapılarak saptanmıştır. Köklerin, apikal ve orta üçlü bölgelerinden elde edilen penetrasyon yüzde değerlerinin ortalamaları ve standart sapmaları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.4: Tüm Grupların Apikal Bölgedeki Penetrasyon Yüzde Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları

	GRUPLAR	n	Ortalama	Medyan	Standart Sapma
%2'lik Klorheksidin	CHX + GI	10	19.4	10.0	17.1
	CHX + SI	10	38.1	43.0	23.9
	CHX + LAI	10	39.8	39.5	22.9
	Toplam	30	32.4	30.5	26.3
QMix	QMix + GI	10	57.3	65.0	33.0
	QMix + SI	10	58.7	62.5	28.9
	QMix + LAI	10	47.6	36.0	42.0
	Toplam	30	54.5	62.5	34.2
Irritrol	Irritrol + GI	10	34.4	33.5	30.5
	Irritrol + SI	10	43.3	38.0	31.4
	Irritrol + LAI	10	32.5	32.5	24.6
	Toplam	30	36.7	36.0	28.4

Tablo 4.5: Tüm Grupların Orta Üçlü Bölgesindeki Penetrasyon Yüzde Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları

	GRUPLAR	n	Ortalama	Medyan	Standart Sapma
%2'lik klorheksidin	CHX + GI	10	58.4	62.5	34.5
	CHX + SI	10	58.6	60.5	33.9
	CHX + LAI	10	61.5	63.5	17.1
	Toplam	30	59.5	63.5	28.6
QMix	QMix + GI	10	77.6	84.5	23.6
	QMix + SI	10	65.8	65.5	24.2
	QMix + LAI	10	76.3	80.0	15.5
	Toplam	30	73.2	77.0	21.4
Irritrol	Irritrol + GI	10	48.1	46.5	33.4
	Irritrol + SI	10	83.4	84.0	14.8
	Irritrol +LAI	10	74.2	69.5	13.4
	Toplam	30	68.6	69.5	26.5

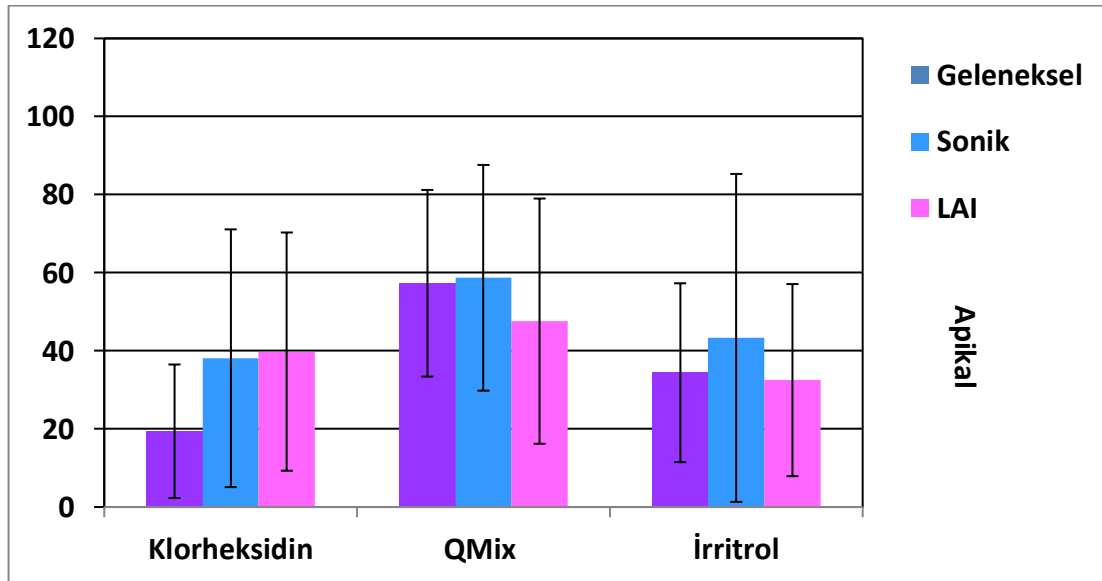
Kullanılan kanal yıkama yöntemlerine bakılmaksızın, apikal bölgede QMix ana grubunun (n:30) penetrasyon yüzde değeri Klorheksidin grubuna göre anlamlı derecede yüksek görülmektedir ($p<0.05$). Orta üçlü bölgesinde ise solüsyonlarının penetrasyon yüzde değerleri açısından ana gruplar arasında (n:30) anlamlı bir farklılık görülmemektedir ($p>0.05$). Irritrol ve sonik sistemle yapılan kanal yıkama işleminde, orta üçlüde ortalama penetrasyon yüzde değeri konvansiyonel yöntemle yapılan yıkamaya göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur ($p<0.05$).

Kullanılan yıkama solüsyonunun çeşidine bakılmaksızın yapılan kanal yıkama işleminde, apikal ve orta bölgede penetrasyon yüzde değerleri açısından kanal yıkama yöntemleri arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($p<0.05$).

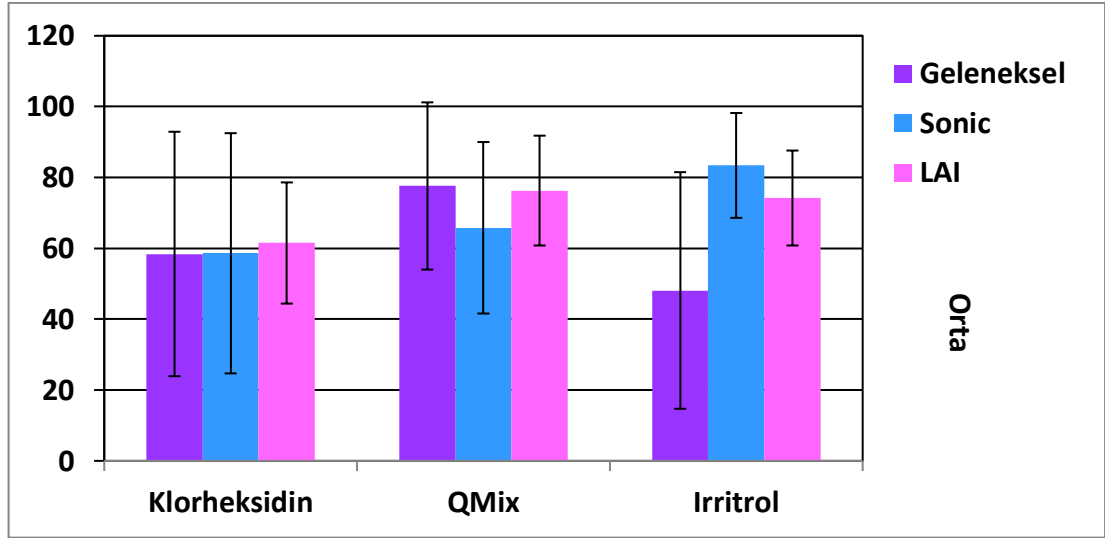
Tablo 4.6: Apikal ve Orta Bölgedeki Genel Grupların Penetrasyon Yüzde Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapmaları

		GENEL GRUP				t testi	
		n	Mean	Median	ss	t	p
PENETRASYON YÜZDESİ (%)	Orta	90	67,1	72,5	26,0	6,06	0,0001
	Apikal	90	41,2	38,5	31,0		

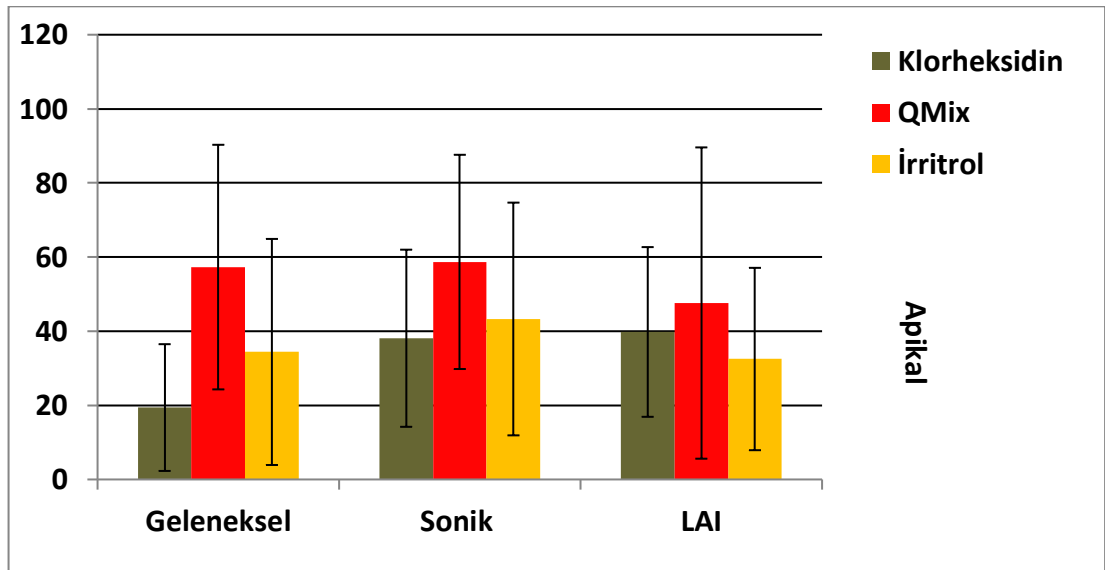
Kanal yıkama yöntemine ve son yıkama solüsyonunun çeşidine bakılmaksızın yapılan kanal yıkama işleminde, orta üçlüdeki genel grubun (n:90) penetrasyon yüzde değerleri apikal bölgeye göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur ($p>0.05$).



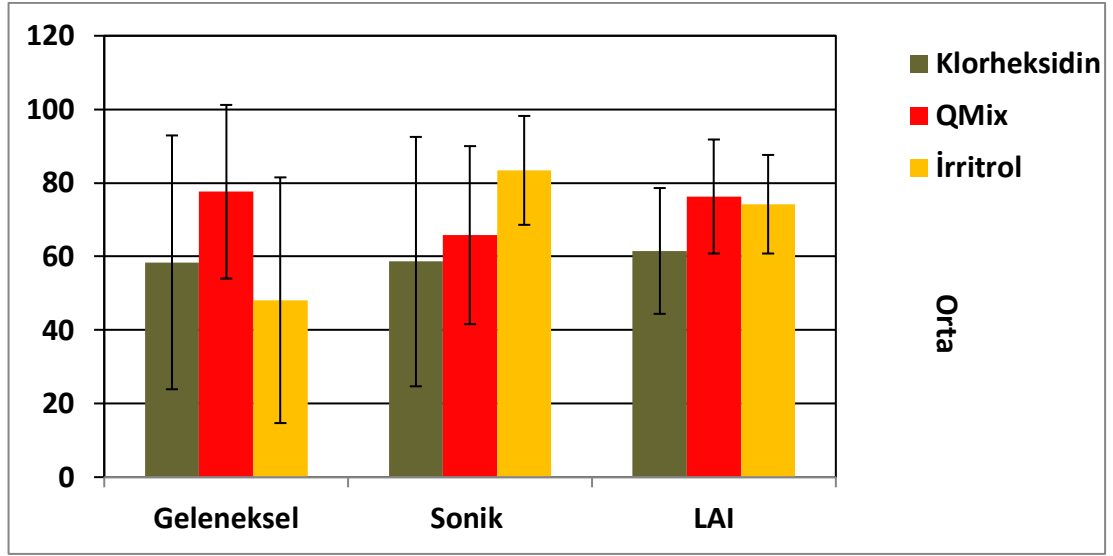
Şekil 4.5: Apikal Bölgede, Farklı Kanal Yıkama Yöntemlerine Göre Son Yıkama Solüsyonlarının Penetrasyon Yüzde Değerlerini Gösteren Grafik



Şekil 4.6: Orta Üçlü Bölgesinde, Farklı Kanal Yıkama Yöntemlerine Göre Son Yıkama solüsyonlarının Penetrasyon Yüzde Değerlerini Gösteren Grafik



Şekil 4.7: Apikal Bölgede, Farklı Son Yıkama Solüsyonlarına Göre Kanal Yıkama Yöntemlerinin Penetrasyon Yüzde Değerlerini Gösteren Grafik



Şekil 4.8: Orta Üçlü Bölgesinde, Farklı Son Yıkama Solüsyonlarına Göre Kanal Yıkama Yöntemlerinin Penetrasyon Yüzde Değerlerini Gösteren Grafik

5. TARTIŞMA

Endodontik tedavinin başarısı, kök kanal sisteminin yeterli mekanik enstrümentasyonu, yıkanması, debridmanı ve dezenfeksiyonu dahil olmak üzere bir dizi faktörlere bağlıdır (Hülsmann ve diğerleri, 2005). Mekanik enstrümentasyon kanallardaki bakteri sayısını %50 oranında azaltmasına rağmen, aletlerin erişemediği yerlerdeki bakterileri yok etmek için dezenfekte edici yıkama solüsyonlarının kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır (Dalton ve diğerleri, 1998, Zehnder ve diğerleri, 2005). Ancak, dezenfekte edici solüsyon ve şırıngayla yapılan geleneksel kanal yıkama yöntemi, apikal bölgeden smear tabakası ve debrisin uzaklaştırılması için yetersizdir (Caron ve diğerleri, 2010). Ayrıca, mikroorganizmaların dentin tübülleri içerisinde derin bölgelere nüfuz edebildiği ve inatçı enfeksiyonlara yol açabildiği de iyi bilinen bir gerçektir (Haapasalo ve Ørstavik, 1987). Bu nedenle irrigasyonun etkinliğini arttırmak için yıkama solüsyonlarının aktivasyonu gereklidir. Solüsyonların aktivasyonu için önerilen tekniklerden bazıları, PUI, sonik sistemle aktivasyon ya da gutta perka ile yapılan manuel-dinamik aktivasyonu içermektedir (Gu ve diğerleri, 2009).

Bazı araştırmacılar, dentin tübülleri içerisindeki bakteri varlığını ve bu bakterilerin penetrasyon derinliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda, şiddetli enfeksiyonlu dişlerin kanallarında bakterilerin derin dentin tübülü bölgelerinde bulunabildiği, enstrümentasyonu takiben kanal duvarı üzerinde oluşan smear tabakasının nekrotik doku kalıntıları ve bakteri içerdiği saptanmıştır (Williams ve Goldman, 1985, Siqueira ve diğerleri, 2002). Peters ve diğerleri, olguların %62'sinde bakterilerin kökün semental yüzeyine kadar penetre olduğunu ve %24'ünde sement yüzeyinde 50000 cfu/g üzerinde bakteri varlığını saptamıştır (Peters ve diğerleri, 2001). Siqueira ve diğerleri, kök dentin duvarındaki dentin tübülleri içerisinde 300 µm derinliğe kadar bakteri olduğunu gözlemlediler (Siqueira ve diğerleri, 2002). Dentin bloklarında yapılan *in vitro* bir çalışmada, *E. faecalis*'in dentin tübüllerine hızlıca saldırdığı ve üç haftalık inkübasyondan sonra dentin tübülleri içerisinde 1000 µm derinliğe kadar penetre olabildiği gösterilmiştir. Dentin tübülleri içerisine derinlere invaze olan bakteriler, özellikle doldurulan kök kanallarında inatçı enfeksiyonların gelişimi için kritik öneme sahiptir (Haapasalo ve

Ørstavik, 1987). Bu nedenle, smear tabakası uzaklaştırıldıktan sonra son yıkama solüsyonları, derin dentin tübülü bölgelerinde bulunan mikroorganizmaların uzaklaştırılması için kullanılmaktadır (Wang ve diğerleri, 2013). Antibakteriyel aktivite gösterebilmesi ve tekrarlayan enfeksiyonların önlenmesi için son yıkama solüsyonlarının dentin tübülü içerisindeki penetrasyon derinliği önemlidir (Ghorbanzadeh ve diğerleri, 2016).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, son yıkama rejiminden sonra, son yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyon etkinliğini değerlendirmek için kök kanalları gutta perka ve pat ile doldurulmuştur (Bolles ve diğerleri, 2013, Moon ve diğerleri, 2012). Kanal dolgu patları, gutta perka ile kanal dolgusu arasını doldurarak sızdırmaz bir kanal dolgusu elde etmek için kullanılır (Swaty Jhamb ve Singh, 2009). Klinik olarak dentin tübüllerine içerisine penetre olan pat, dentin tübüllerine içerisinden mikroorganizmaları öldürebilir ve tedavinin başarısını olumlu yönde etkileyebilir. Antimikrobiyal maddeler içeren kanal dolgu patları, dentin tübüllerine içine nüfuz ederek izole mikroorganizmalarla yakın temas edebilmektedir (Nikhil ve Singh, 2013). Dentin tübüllerine sızan patın penetrasyon derinliği, smear tabakasının uzaklaştırılması, dentinal permeabilite (tübül sayısı ve çapı), dentin tübüllerinin nemli olması, kanalın genişliği, izolasyon, patın fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi faktörlere bağlıdır (Deus ve diğerleri, 2004, Ørstavik, 2005). Patın akışkanlığı, patın kök kanal sistemindeki dentin tübüllerine, lateral kanallara ve düzensiz alanlara penetre olabilme kabiliyeti olarak tanımlanır (Bernardes ve diğerleri, 2010). Akışkanlık, patın dentin tübüllerine penetrasyonunu etkileyen temel fiziksel özelliktir. Patın partikül boyutu, yoğunluğu ve sıcaklığı akışkanlığını belirlemektedir (Cohen ve diğerleri, 1991). Yapılan bir çalışma, patın, spiral lentülo, ultrasonik ve sonik sistemle kanala yerleştirilmesinden sonra dentin duvarlarını tamamen kapatmayacağını göstermiştir. Ayrıca, patın dentin tübüllerine penetrasyon derinliği ve yüzdesinin, kanala yerleştirme tekniğinden etkilendiği saptanmıştır (Nikhil ve Singh, 2013). Kanal dolgusu yapımı sırasında uygulanan sıkıştırıcı kuvvetler, kanal duvarı ile gutta perka arasında patın dağılmasına ve düzensiz bir şekilde penetre olmasına neden olabilir (Ordinola-Zapata ve diğerleri, 2009). Yukarıda sayılan sebeplerden dolayı patın tüm dentin tübüllerine ve tübül içerisinde tam derinliğe penetre olması beklenemez.

Farklı son yıkama solüsyonları ve kanal yıkama tekniklerinin patın dentin tübüllerine penetrasyonu üzerindeki etkisini değerlendirmek için bazı çalışmalar yapılmıştır (Tuncer, 2015, Aksel ve diğerleri, 2017). Kanal dolgu patının dentin tübüllerine penetrasyonu, smear tabakasının uzaklaştırılmasında bir indikatör olarak kullanılabilir. Eğer smear tabakası dentin tübüllerini kapatmış ise, pat derinlere nüfuz edemez (Jardine ve diğerleri, 2016). De-Deus ve diğerleri, smear tabakası ile tamamen kaplanmış olan kanal duvarlarında dentin tübüllerine patın penetre olmadığını göstermiştir (De-Deus ve diğerleri, 2012). Smear tabakası varlığının, kök dentin tübülleri içerisine penetrasyonu %29-49 arasında azalttığı bildirilmiştir (Fogel ve Pashley, 1990). Fakat, kanalın apikal bölgesine yıkama solüsyonların ulaşması ve smear tabakasını uzaklaştırılması yetersiz olabilmektedir. Ayrıca yıkama sonrasında, kağıt konilerle kurulama yapılsa bile kapiller etki nedeniyle kanalın en dar kısmı olan apikal bölgede bir miktar nem kalabilir. Bu nedenlerden dolayı, kanal dolgu patının kanalın apikal bölgesinde dentin tübüllerine akışı sınırlanabilir (Wilcox ve Wiemann, 1995). Yapılan bir çalışmada, kanal dolgu patının, kanal yıkama protokolünden bağımsız olarak dentin tübüllerinde 1500 µm derinliğe kadar penetre olabildiği gösterilmiştir (Bolles ve diğerleri, 2013). Bu nedenle, tüm kanal çevresine göre patın penetrasyon derinliğinin ve yüzdesinin hesaplanması, kanal yıkama protokolünün etkinliğini tam olarak yansıtmayabilir (Aksel ve diğerleri, 2017).

Yaptığımız bu çalışmada kök kanalı, dolum yapılmadan Rodamin B’li son yıkama solüsyonlarıyla ve farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleriyle yıkanmıştır. Daha sonra köklerden horizontal kesitler alınarak CLSM ile incelenmiştir. Buna ilave olarak, her kök kanalında standardizasyonu sağlamak için toplam irrigasyon aktivasyon süresi, kullanılan solüsyon hacmi ve floresan Rodamin B miktarı eşit tutulmuştur. Yapılan bu çalışmada, yıkama solüsyonlarının penetrasyon derinliğinin ve yüzdesinin kanalın orta üçlüsünde apikale göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Tüm deney gruplarında, apikal 2 mm'deki kesitlerde 5 mm'deki kesitlere göre daha düşük solüsyon penetrasyon derinliği ve yüzdesi gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla uyumludur. Yapılan diğer araştırmalarda da kanal içerisinde korondan apikale doğru penetrasyon değerlerinin azaldığı bildirilmiştir (Aksel ve diğerleri, 2017, Bolles ve diğerleri, 2013). Bu durum kanalın orta üçlüsündeki smear tabakasının apikal bölgeye göre daha iyi uzaklaştırılmasına,

solüsyonun apikal bölgeye yeterince ulaşamamasına ve tübüler skleroza bağlı olabilir (Ferreira ve diğerleri, 2008, Teixeira ve diğerleri, 2005). Ayrıca, apikal bölgedeki kök dentininin doğal yapısı koronal 2/3'lük kısımdan daha farklıdır. Orta üçlüde apikal bölgeye kıyasla daha fazla sayıda ve daha büyük çapta dentin tübülü olduğu unutulmamalıdır (Al-Jadaa ve diğerleri, 2009). Paque ve diğerleri, solüsyonların dentin tübüllerine penetrasyonunun smear tabakasının yokluğundan çok, dentinde tübüler skleroz varlığına bağlı olduğunu göstermiştir (Paque ve diğerleri, 2006). Bu çalışmada, eğimli kanalların solüsyonun penetrasyonunu sınırlamaması için düz kanallar kullanılmıştır. Fakat, solüsyonun penetrasyonunu etkileyen sklerotik ve düzensiz sekonder dentin miktarını ve dağılımını standardize etmek zordur. Dikkatli yapılan diş seçimi bile örnekler arasında homojen dentin yapısı elde edilmesini garanti edemez (Jardine ve diğerleri, 2016).

Viskozite ile yüzey gerilimi de solüsyonların akışkanlığını ve penetrasyon derinliğini etkileyen iki temel faktördür (Giardino ve diğerleri, 2006, Bukiet ve diğerleri, 2013). Yıkama solüsyonlarının dentin yüzeyini ıslatabilirliği viskozitesi ve yüzey gerilimiyle ilgilidir. Yüzey gerilimi, bir sıvının uygulandığı yüzey alanında bir eğim oluşturmaya neden olan moleküller arasındaki çekim kuvveti olarak tanımlanır (Taşman ve diğerleri, 2000). Bu kuvvet sıvının dentin tübüllerine nüfuz etme yeteneğini sınırlama eğilimindedir. Solüsyonun ıslatabilirliği dentin tübüllerine, ana ve lateral kanallara nüfuz etme yeteneğini etkiler (Ma ve diğerleri, 2011, Bukiet ve diğerleri, 2013). Yapılan önceki çalışmalar, NaOCl solüsyonunun viskozite ve yüzey geriliminin azaltılmasının penetrasyonunda artışa neden olduğunu göstermiştir (Giardino ve diğerleri, 2006). Bu çalışmada, kullanılan Rodamin B boyası çok az miktarda (% 0.01) olduğu için karıştırılan irrigasyon solüsyonlarının viskozitesi ve yüzey gerilimi, saf haline benzerlik göstermiştir. Ayrıca Rodamin B boyası, küçük moleküler yapısı nedeniyle kolay bir şekilde dentine penetre olabilmekte ve solüsyonun dentine penetrasyon kabiliyetini olumsuz yönde etkileyecek kimyasal reaksiyonlar üretmemektedir (Vadhana ve diğerleri, 2015).

Bakteri, bakteri yan ürünleri ve nekrotik doku artıkları içeren smear tabakasının etkili bir şekilde uzaklaştırılması, yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine daha iyi penetrasyonunu sağlayan önemli kriterlerden biridir (Wang ve

diğerleri, 2013). Bu çalışmada %17'lik EDTA, QMix ve Irritrol kullanılarak solüsyonun daha derinlere nüfuz etmesine yardımcı olmak için smear tabakası uzaklaştırılmıştır. Smear tabakası varlığında, NaOCl ve klorheksidin solüsyonları daha zayıf antibakteriyel etki göstermektedir ve bu zayıf etki iki farklı mekanizmadan kaynaklanabilir. Smear tabakası, etkili konsantrasyonlardaki yıkama solüsyonlarının dentin tübülü boyunca penetre olması için bariyer görevi görebilir. Bir diğer muhtemel mekanizma, solüsyonların smear tabakası boyunca penetre olurken kısmen inaktif hale gelmesidir. CLSM kullanılarak yapılan bir araştırmada, elde edilen görüntülerde, kanal duvarının daha yüzeysel alanlarında bakterilerin öldürülmesi bu olasılıkları desteklemektedir (Wang ve diğerleri, 2013). Kök kanal sisteminin temizlenmesi, smear tabakasının uzaklaştırılması ve mikroorganizmaların öldürülmesi için sırasıyla farklı yıkama solüsyonlarının kullanılması önerilmektedir. Yıkama solüsyonlarının kombine kullanılmasıyla yapılan çalışmalardan elde edilen mevcut sonuçlar da, smear tabakasının bazı solüsyonlara karşı potansiyel bariyer rolü oynadığını desteklemektedir. Ne NaOCl ne de klorheksidin solüsyonu tek başına smear tabakasını çözememektedir. Aksine NaOCl'i takiben EDTA+CHX ve QMix kullanıldığında dentin tübülü içerisinde ölen bakteri sayısının arttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle apikal periodontitisli dişlerde, dentin tübülü içerisindeki bakterilere karşı dezenfektan solüsyonlarının etkisini en üst düzeye çıkarmak için smear tabakası uzaklaştırılmalıdır (Wang ve diğerleri, 2013). Yaptığımız bu çalışmanın dahilinde %5.25 NaOCl'i takiben QMix, Irritrol ve EDTA+CHX kullanılması dentinde daha iyi bir dezenfeksiyon ile sonuçlanabilir.

Klorheksidin dentin tübülü içerisinde derinlere penetre olursa, dentin dokusuna bağlanarak antimikrobiyal etkisini uzun süre devam ettirebilir (Vadhana ve diğerleri, 2015). Yapılan bir çalışmada, %0.2 gibi düşük konsantrasyondaki klorheksidinin bile 30 saniyede *E. faecalis*'i yok ettiği gösterilmiştir (Gomes ve diğerleri, 2001, Vianna ve diğerleri, 2004). Bundan dolayı klorheksidinin dentin tübüllerine penetrasyon derinliği ve yüzdesi dikkate alınması gereken önemli bir faktördür (Vadhana ve diğerleri, 2015). Klorheksidinin yüzey gerilimini azaltmak için sürfaktanla birlikte kombine kullanılmasının *E. faecalis*'e karşı daha iyi antimikrobiyal etkinlik gösterdiği bildirilmiştir (Portenier ve diğerleri, 2006, Arias-Moliz ve diğerleri, 2010). Ayrıca EDTA da bakteri hücre duvarından yapısal

proteinleri ve diğer molekülleri de uzaklaştırarak bir miktar antimikrobiyal etki gösterebilir (Vacca-Smith ve diğerleri, 1994). Bu nedenle EDTA, klorheksidin ve sürfaktanın birbirine sinerjik etki katarak daha iyi antimikrobiyal etki göstermesi muhtemeldir (Ma ve diğerleri, 2011). Bu nedenle, antimikrobiyal bileşenlerin sinerjik etkisiyle smear tabakasının uzaklaştırılması için QMix ve Irritrol son yıkama solüsyonları geliştirilmiştir (Dai ve diğerleri, 2011). QMix ve Irritrol son yıkama solüsyonları, dentin tübül girişlerini açarak kök kanal sisteminin eksiksiz dezenfeksiyonunu sağlamaktadır. Bu iki solüsyon, bir şelasyon ajanı olan EDTA, klorheksidin ve yüzey gerilimini azaltıcı deterjandan oluşmaktadır (Stojicic ve diğerleri, 2012). Yapılan bir çalışma, QMix'in, %6'lık NaOCl ve %2'lik klorheksidinden daha güçlü antimikrobiyal etkiye sahip olduğunu doğrulamıştır (Ma ve diğerleri, 2011). %17'lik EDTA gibi QMix, NaOCl solüsyonu ile kombine kullanıldığında smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırabilmektedir (Wang ve diğerleri, 2013). Ayrıca Tuncer, EDTA+CHX ve QMix ile yapılan irrigasyonlar arasında, smear tabakasının çıkarılması etkinliğinde anlamlı bir fark olmadığını saptamıştır (Tuncer, 2015). Stojicic ve diğerleri, QMix ile smear tabakasının çıkarılmasından sonra açılan dentin tübüllerinin sayısının % 88 olduğunu göstermiştir (Stojicic ve diğerleri, 2012). QMix, kanalın genişletilmesi ve şekillendirilmesi sırasında kanal duvarlarında oluşan smear tabakasını uzaklaştırmakla beraber, dentin tübüllerinin içerisindeki bakterileri de öldürmektedir (Jardine ve diğerleri, 2016). Fakat, QMix, Irritrol ve yaygın olarak kullanılan klorheksidinin, dentin tübüllerine penetrasyon derinliği ve yüzdesi ile ilgili literatürde yeterli veri bulunmamaktadır. Yaptığımız bu çalışmanın sonuçlarına göre, kanal yıkama yöntemlerine bakılmaksızın QMix, kanalın apikal bölgesinde klorheksidine kıyasla anlamlı olarak daha yüksek penetrasyon yüzdesi sergilemiştir. Kanalın orta üçlüsünde ise penetrasyon derinlik değerleri, QMix grubunda Irritrol ve CHX'e göre anlamlı derecede daha yüksek görülmektedir. Penetrasyon yüzdesi bakımından Irritrol, QMix ve CHX ile benzer bir yetenek göstermiştir. Kanalın orta ve apikal bölgesinde, en yüksek penetrasyon derinlik ve yüzde değerleri sırayla QMix, Irritrol ve klorheksidin gruplarında görülmüştür. Elde edilen veriler, QMix'in smear tabakasını, Irritrol ve EDTA+CHX'e kıyasla daha etkili uzaklaştırdığının göstergesi olabilir. QMix'in şelasyon etkisi, dentin tübüllerinin açılmasında ve

solüsyonun penetrasyonunda etkili gibi görünmektedir. Daha önce yapılan bir çalışma, smear tabakasını uzaklaştırmada, QMix solüsyonunun %17'lik EDTA'ya göre daha üstün olduğunu saptamıştır (Eliot ve diğerleri, 2014). Bu çalışmaların sonuçları, yaptığımız çalışmadan elde edilen verilerle uyumludur. Yeni bir son yıkama solüsyonu olan Irritrol'un antimikrobiyal aktivitesi ve smear tabakasının çıkarılması etkinliği üzerine yapılmış bir çalışma literatürde bulunamamıştır. Bundan dolayı, yaygın kullanımını tavsiye etmeden önce, Irritrol'un klinik etkinliğini test etmek için daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç vardır.

Genel olarak, EDTA ve NaOCI kombinasyonu ile smear tabakasının çıkarılmasından sonra klorheksidinin son irrigasyon olarak kullanılması önerilmektedir (Ballal ve diğerleri, 2011). Fakat, NaOCI ve klorheksidin birbirleriyle reaksiyona girerek hayvanlarda kanserojen olduğu bilinen parachloroaniline (PCA) içeren bir çökelti üretebilir (Bui ve diğerleri, 2008, Ballal ve diğerleri, 2011). PCA, kök dentin yüzeyini kaplayan ve dentin geçirgenliğini engelleyen kimyasal bir smear tabakası olarak işlev görmektedir. QMix ve NaOCl birleştirildiğinde ise hiçbir çökelti oluşumu meydana gelmemektedir (Akisue ve diğerleri, 2010).

Daha önce yapılan çalışmalarda, solüsyonların dentin tübüllerine penetrasyonu SEM, CLSM, ve stereomikroskop gibi mikroskopi teknikleriyle değerlendirilmiştir (Akçay ve diğerleri, 2017, Ghorbanzadeh ve diğerleri, 2016). NaOCl'in dentin tübüllerine penetrasyon derinliği boyanın ağartılması yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Fakat, klorheksidinin ağartma özelliği yoktur (Zou ve diğerleri, 2010). Stereomikroskop, dentin tübülleri boyunca penetre olan solüsyonların tespit edilmesinde hassas değildir (Nikhil ve Singh, 2013). SEM kanal dolgu patlarının ve yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu değerlendirmek için kullanılabilir (Rouhani ve diğerleri, 2013). SEM görüntüleri dentin tübüllerinin ayrıntılı bir şekilde görüntülenmesini sağlamasına rağmen sistemik analizi zordur. SEM'in diğer sınırlaması analiz için örneklerin görüntülenmesi sırasında artefakt üretme potansiyelinin olmasıdır (Akçay ve diğerleri, 2017). Görüntüleme prosedürü, altın kaplama ve vakum aşamaları nedeniyle zaman alıcıdır (Mamootil ve Messer, 2007). CLSM, son zamanlarda yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu değerlendiren bazı

çalışmalarda kullanılmıştır (Akçay ve diğlerleri, 2017, Vadhana ve diğlerleri, 2015). CLSM, görüntülenecek alanın derinliğini kontrol eder ve odak noktasının uzağındaki arka plan bilgisini uzaklaştırarak daha az artefakta neden olur (Gharib ve diğlerleri, 2007, Chandra ve diğlerleri, 2012). Ayrıca örnek yüzeyinin 10 µm kadar altının görüntülenmesine yardımcı olur (Ma ve diğlerleri, 2011). Fakat bu teknik, özellikle koronal ve orta bölgelerden elde edilen yüzeyi geniş bir kök kesitini tek bir görüntüde inceleme imkanı sunmaz. Bu kesitlerden kısmi görüntüler çekilip birleştirilerek tek bir görüntü elde edilir. Rodamin B’li solüsyonların kullanımıyla CLSM, göreceli olarak düşük büyütmede, kanal duvarlarının çevresi boyunca dentin tübülleri içerisindeki solüsyonun varlığı ve dağılımı hakkında ayrıntılı bilgi sağlar (Akçay ve diğlerleri, 2017). Bu nedenle yaptığımız bu çalışmada $\times 10$ ’luk büyütmede CLSM kullanılarak son yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyon derinliği ve yüzdesi hesaplanmıştır.

Kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunu arttırmak için farklı yıkama solüsyonlarının ve irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir (Pedulla ve diğlerleri, 2012). Bu nedenle yapılan bu *in vitro* çalışmanın amacı, lazerle aktive edilmiş irrigasyon dahil olmak üzere, farklı kanal yıkama tekniklerinin son yıkama solüsyonlarının dentin tübül penetrasyonuna etkisini CLSM ile değerlendirmektir. Bazı araştırmacılar, lazerle aktive edilen irrigasyonun dentin tübül penetrasyonu üzerinde olumlu etkisi olduğunu saptamıştır. Yapılan bazı çalışmaların sonuçları, Er:YAG ve Nd:YAP lazerle yapılan LAI’nı, geleneksel yöntem, PUI ve sonik sistemle yapılan irrigasyona kıyasla NaOCl’in dentin tübüllerine daha fazla penetrasyonuna yol açtığını göstermiştir (Akçay ve diğlerleri, 2017, Gu ve diğlerleri, 2017). 2002 yılında Er,Cr:YSGG lazerin endodontik tedavide kullanılması Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi tarafından onaylanmıştır (Chaudhry ve diğlerleri, 2017). Bildiğimiz kadarıyla literatürde, Er,Cr:YSGG lazer kullanılarak yapılan irrigasyon aktivasyonunun son yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyon etkisini karşılaştıran herhangi bir çalışma yoktur. Fakat literatürde lazer kullanımıyla ilgili çelişkili görüşler vardır. Lazer kullanımının, karbonizasyon ve parsiyel erimeyi de içeren termal yaralanma gibi yan etkilere neden olduğu bildirilmiştir (Ali ve diğlerleri, 2005, Altundaşar ve diğlerleri, 2006). Bu durum, su püskürtme olmadan lazerin güç ayarlarında yapılan değişiklikler nedeniyle olabilir (Yamazaki ve

diğerleri, 2001). Bu nedenle herhangi bir lazer çeşidi kullanılmadan önce mekanizmasının çok iyi anlaşılması ve kullanımı için gerekli olan parametreler hakkında doğru bilgiye sahip olunması çok önemlidir. Daha az çıkış gücüyle daha uzun ışınlama süresi, önemli ölçüde daha az sıcaklık artışına neden olarak doku hasarı riskini azaltır. Diğer taraftan, lazer ışınından kaynaklanan ısının etkilerini azaltmak için kanallar yıkama solüsyonuyla doldurulmalıdır (Ghorbanzadeh ve diğerleri, 2016).

Yapılan bir çalışmada, Er,Cr:YSGG lazerle yapılan LAI'un, PUI ve geleneksel yıkama yöntemine kıyasla kanalın apikal bölgesinden daha fazla smear tabakası ve debrisini etkili bir şekilde uzaklaştırdığı saptanmıştır. Bu nedenle Er,Cr:YSGG lazerle yapılan LAI'un kanaldan smear tabakası ve debrisin uzaklaştırılmasında umut verici bir yöntem olduğu düşünülebilir (Peeters ve Suardita, 2011). Bu durum, lazerle yapılan irrigasyonun kavitasyon yaratma kabiliyetine bağlanabilir. Kavitasyon, bir sıvının içinde kabarcıklar içeren buhar boşluğu oluşumu olarak tanımlanır (Levy ve diğerleri, 1996). Suda, ablatif ayarlarda lazer kullanımı, büyük eliptik kabarcıkların oluşmasına neden olabilir. Bu buhar kabarcıkları, suyun orjinal hacminin 1600 katı kadar bir büyüklükte bir hacmin oluşmasına neden olabilir (Mir ve diğerleri, 2009). Bu durum, solüsyonların kanalın apikal bölgesine daha kolay ulaşmasına ve karmaşık yapıdaki kök kanal sisteminin temizlenmesine yardımcı olabilir. Buna ek olarak, kavitasyon kabarcıkları genişler, kararsız hale gelir ve büzülerek patlar (Gutarts ve diğerleri, 2005). Bu patlama, makaslama kuvvetinin oluşmasına ve materyallerin kök kanal yüzeyinden uzaklaştırılmasına neden olur (Tomita ve Shima, 1986). Ebeling ve Lauterborn, lazer ışınlamasıyla solüsyon içerisinde patlayan kabarcıklardan yayılan şok dalgalarını gözlemlemiştir (Ebeling ve Lauterborn, 1977). Bu lazer kaynaklı basınç dalgaları, yüksek hızda hareket ederek smear tabakasının çıkarılması açısından endodontik solüsyonların etkisini artırır (George ve diğerleri, 2008). Bu etki, dentin tübüllerini tıkayan smear tabakası ve debrisini uzaklaştırarak kanal dolgu patının ve yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu arttırabilir. Yapılan bazı çalışmalar, Er,Cr:YSGG ve Er:YAG lazerle yapılan irrigasyonun, apikal bölgeye kadar yıkama solüsyonlarının ulaşmasını sağlayarak kanal dolgu patının dentin

tübüllerine penetrasyonunu arttırdığını saptamıştır (Chaudhry ve diğerleri, 2017, Akçay ve diğerleri, 2016).

Serum fizyolojik solüsyonu etkili bir antimikrobiyal ajan olmadığı için rutinde kullanılan güncel kanal yıkama solüsyonu değildir (Shuping ve diğerleri, 2000). Artık dokuları çözme ve smear tabakasını uzaklaştırma kabiliyetine sahip değildir (Trepagnier ve diğerleri, 1977, Baumgartner ve diğerleri, 1984). Buna rağmen serum fizyolojikle yapılan lazer aktiviteli yıkamanın, geleneksel yıkamaya kıyasla daha fazla smear tabakasını uzaklaştırdığı ve antibakteriyel etki yarattığı saptanmıştır (DiVito ve diğerleri, 2012, Pedulla ve diğerleri, 2012). Lazerle aktive edilen serum fizyolojinin daha iyi performans sergilemesi, solüsyon içinde oluşturduğu yoğun akış nedeniyle olabilir. Bununla birlikte lazerle aktive edilen serum fizyolojik, NaOCl solüsyonuyla yapılan geleneksel yıkamaya kıyasla daha az antibakteriyel etkiye neden olmaktadır. Bu nedenle serum fizyolojikle yapılan lazer aktiviteli yıkamanın kanaldaki bakteriyel yükü azaltmak için yetersiz olduğu, dolayısıyla NaOCl gibi antimikrobiyal solüsyonlarla birlikte kullanılmasının gerekli olduğu açıktır (Pedulla ve diğerleri, 2012).

Lazerlerin kök kanallarında kullanımı sırasında solüsyonun apikalden taşması, karbonizasyon, çatlak, basamak ve kollateral hasar oluşumu gibi bazı istenmeyen yan etkiler ortaya çıkabilir (Hülsmann ve diğerleri, 1997, Blanken ve diğerleri, 2009). Kullanımı sırasında ortaya çıkabilen bu istenmeyen yan etkilere rağmen, lazer aktiviteli irrigasyonun güvenli olduğu kabul edilmektedir (Varella ve diğerleri, 2007). Yüksek güç ayarlarında yapılan LAI'da yıkama solüsyonunun apikalden ekstrüze olması, özellikle NaOCl gibi sitotoksik bir irrigant kullanılıyorsa belirgin klinik yan etkilere neden olabilir (Christo ve diğerleri, 2016). Son zamanlarda LAI sırasında kök kanalında meydana gelen basınç etkisi araştırılmıştır. Kök kanalının apikal bölgesinde oluşan sıvı basıncının büyüklüğü, kullanılan lazerin gücünden, lazer ucu ile apeks arasındaki mesafeden etkilenmiştir. Lazer ucunun kanal ağzından 5 mm derine yerleştirilmesi, kanal ağzında konumlandırılmasına göre belirgin bir şekilde daha fazla apikal basınç yaratmaktadır. Apikal basınç, lazer ucu kanal ağzında iken 11mm Hg, 5mm derinlikte iken 106mm Hg olarak kaydedilmiştir (Peeters ve De Moor, 2015). Yapılan önceki çalışmalar, Er,Cr:YSGG lazerinin 4.5 mm uzunluğa kadar buhar kabarcıkları oluşturduğunu göstermiştir. Lazer ucu, apikal

foramene 4.5 mm'den daha yakın yerleştirilirse, yıkama solüsyonunun apikal ekstrüzyonu meydana gelebilir. Bu nedenle, lazer fiber ucunun LAI sırasında apikal foramenden 5 mm koronale yerleştirilmesi güvenlidir (Blanken ve Verdaasdonk, 2007).

Yaptığımız bu çalışmada, kullanılan son yıkama solüsyonunun çeşidine bakılmaksızın LAI, sonik sistem ve geleneksel yöntemle yapılan kanal yıkama yöntemleri arasında, apikal ve orta bölgede penetrasyon derinlik ve yüzde değerleri açısından anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($p<0.05$). Bu sonuçlar daha önce yapılan iki çalışmaya kıyasla çelişkilidir (Akçay ve diğerleri, 2017, Gu ve diğerleri, 2017). Konvansiyonel yöntemle yapılan kanal yıkama işleminde, orta üçlüde QMix alt grubunun (n:10) ortalama penetrasyon derinlik değeri Klorheksidin ve Irritrol grubuna göre anlamlı derecede yüksektir ($p<0.05$). Kanalin orta ve apikal bölgesinde, en yüksek penetrasyon derinlik değerleri sırayla sonik sistemle yapılan aktivasyon, LAI ve geleneksel yöntemde görülmesine rağmen, aralarındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0.05$). Kanalin orta bölgesinde, en yüksek penetrasyon yüzde değerleri sırayla LAI, sonik sistemle yapılan aktivasyon ve geleneksel yöntemde görülmesine rağmen, aralarındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0.05$). Yaptığımız bu çalışmadan elde ettiğimiz veriler, LAI'un, sonik aktivasyonlu irrigasyon ve geleneksel yöntemle yapılan yıkamaya kıyasla, son yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu arttırdığı yönündeki hipotezini reddetmiştir. LAI ile yüksek penetrasyon değerleri elde edilememesinin nedeni, kalan smear tabakasına, lazerin dentin yüzeyi üzerindeki eritici etkisine ve dentin tübül ağzlarının tıkanmasına bağlanabilir (Ghorbanzadeh ve diğerleri, 2016). Ayrıca, kanalda lazer ucunun yerleştirildiği yer, lazerin gücü ve kanalın genişliği gibi birçok parametre de kavitasyonu etkileyebilir (Christo ve diğerleri, 2016). Lazer ışınının çıkış gücü 0 ila 6 W arasında değişebilir (Ali ve diğerleri, 2005). Yaptığımız bu çalışmada, 1.25 W güç, 20 Hz frekans ve 25 mJ enerji seviyesinde ayarlı bir Er,Cr:YSGG lazer kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar, Er,Cr:YSGG lazerlerinin su spreylili soğutma ile yüksek enerji seviyelerinde kullanıldığında belirgin bazı kollateral hasarların ortaya çıktığını göstermiştir (Ali ve diğerleri, 2005, Altundaşar ve diğerleri, 2006). Bunun nedeni, bu yüksek enerji seviyelerinde oluşan buhar kabarcığının boyutlarından dolayı, lazer ucu ve kanal duvarı arasında yayılan enerjiyi

absorbe edecek solüsyonun olmaması ya da lazer ucunun kanal duvarlarına temas etmesi olabilir. Bu durum, yayılan enerjinin kanal duvarındaki hidroksiapatit tarafından emilmesine ve erimeye yol açmaktadır (Blanlen ve diğerleri, 2009).

%5.25'lik NaOCl kullanılarak yapılan PUI ve LAI, %5.25'lik NaOCl + %17'lik EDTA ile yapılan geleneksel yıkamaya kıyasla daha az smear tabakası eliminasyonuna ve sonuç olarak, NaOCl'in daha az penetrasyonuna neden olmuştur. Bu nedenle smear tabakasının çıkarılması, dentin tübüllerine yıkama solüsyonlarının daha derin nüfuz etmesi için altın standart olarak düşünülebilir (Ghorbanzadeh ve diğerleri, 2016). Aksine Akçay ve diğerleri, LAI'un, PUI ve geleneksel kanal yıkama yöntemine kıyasla yıkama solüsyonunun dentin tübüllerine nüfuz etmesi üzerinde baskın olarak pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu farklı sonuç, NaOCl yıkama solüsyonu takiben EDTA kullanılmamasından yani smear tabakasının uzaklaştırılmamasından kaynaklanabilir (Akçay ve diğerleri, 2017).

Yıkama solüsyonlarının kök kanal sistemine dağıtılmasını ve hidrodinamiğini maksimuma çıkarmak için sonik sistemlerin kullanılması önerilmektedir. Sonik cihazların lateral kanalların yıkanabilirliğini arttırdığı saptanmıştır (Gu ve diğerleri, 2017). Sonik bir sistem olan EndoActivator'ün smear tabakasını uzaklaştırdığı ve bakteri yükünü azalttığı gösterilmiştir (Townsend ve Maki, 2009). EndoActivator, akustik akış ve kavitasyon yoluyla solüsyonları çalkalamaktadır. Bu hidrodinamik aktivasyon, yıkama solüsyonlarının kök kanal sistemine nüfuz etmesini arttırmaktadır (Guerisoli ve diğerleri, 2002). Sonik enerjiyle çalışan bir enstrüman olan EndoActivator ileri-geri uç hareketiyle yüksek amplitüd ve düşük frekansta çalışmaktadır (Uroz-Torres ve diğerleri, 2010). Polimer uç ve dentin arasındaki istenmeyen temas, amplitüd ve solüsyonun akış hızında azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca sonik enerji, titreşen ucun bütün uzunluğu boyunca sadece tek bir nodal ve antinodal bölge üretir. Aktive edilmiş uç boyunca nod üretimi, akustik akımın önemli bir parçası olup aktive edilmiş uç boyunca güçlü bir akım üretmesine neden olur (Nikhil ve Singh, 2013). Ultrasonik enerji ise sonik enerjiye kıyasla, titreşen eğin uzunluğu boyunca birden fazla nod üretme yeteneğine sahiptir. Bu yüzden sonik sistemle kanal içinde aktive edilen solüsyonun akış hızı PUI göre daha az olur (Lumley ve diğerleri, 1996). Sonik sistemle NaOCl ve EDTA'nın aktivasyonu, solüsyonların smear tabakasını uzaklaştırmasını ve temizleme kabiliyetini

geliştirmiştir (Blank-Gonçalves ve diğerleri, 2011, Caron ve diğerleri, 2010). Literatürde, EndoActivator ile yapılan sonik aktivasyonun, solüsyonların dentin tübüllerine penetrasyonuna olan etkisini araştıran çok fazla çalışma yoktur. Bolles ve diğerleri, NaOCl ve EDTA solüsyonlarının EndoActivator ile aktivasyonunun, geleneksel yöntemle göre kanal dolgu patlarının dentin tübüllerine penetrasyonuna olan etkisini araştırmışlardır. EndoActivator ile yapılan sonik aktivasyonun, patların dentin tübüllerine penetrasyon yüzde ve derinlik değerlerini önemli derecede arttırmadığı sonucuna varmışlardır (Bolles ve diğerleri, 2013). Uroz-Torres ve diğerleri tarafından yapılan çalışmanın sonuçları, smear tabakasının uzaklaştırılması bakımından geleneksel yöntem ve sonik sistemle aktifleştirilmiş yıkama arasında fark bulunmadığını göstermiştir (Uroz-Torres ve diğerleri, 2010). Bu bulgular, yıkama solüsyonlarının penetrasyon yüzde ve derinlik değerleri açısından LAI, sonik sistemle aktivasyon ve geleneksel yöntem arasında anlamlı fark bulamadığımız çalışmamızın sonuçlarıyla benzerdir. Sadece kanalın orta üçlüsünde, sonik sistemle aktive edilen Irritrol solüsyonunun dentin tübüllerine penetrasyon yüzde değeri, geleneksel yöntemle yapılan yıkamaya göre anlamlı derecede yüksek saptanmıştır ($p<0.05$). Akçay ve diğerleri yaptıkları bir çalışmada, EndoActivator ile yapılan sonik aktivasyonun, NaOCl'in dentin tübüllerine penetrasyonunu geleneksel yıkama yöntemine kıyasla önemli derecede arttırdığını belirlemiştir (Akçay ve diğerleri, 2017). Fakat, bizim çalışmamızdan farklı olarak, EDTA gibi herhangi bir şelasyon ajanını kullanmamışlardır. Elde edilen bu verilerden, smear tabakasının uzaklaştırılmasındaki en önemli etkenin, irrigasyon aktivasyonundan ziyade EDTA ya da QMix gibi şelasyon ajanlarının kullanılması olduğunu anlayabiliriz. Sonik sistemin düşük performans etkinliği, kısa süreli çalkalama ya da polimer uç ile kanal duvarı arasındaki istenmeyen temastan da kaynaklanmış olabilir. EndoActivator'ün polimer ucu kanal duvarlarına dokunarak, daha az akustik akım ve kavitasyona neden olabilir. Bu durum, yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyon derinliğini ve yüzdesini arttırmayabilir (de Gregorio ve diğerleri, 2009, Van der Sluis ve diğerleri, 2007).

Bütün kök kanalları, yeterli miktarda solüsyon ve kök dentin kalınlığı arasında bir denge sağlamak için, apikal genişliği 40 numaralı eğeye denk gelecek şekilde F4 protaper eğesine kadar %6'lık açılı ile genişletilmiştir. Bu çalışmada,

genişletilmiş kanal içerisinde serbestçe titreşebilmesi için ISO boyutu 20 olan polimer uç, sonik aktivasyonda kullanılmıştır. Geleneksel yöntemle yıkama sırasında, apikal genişlik boyutu ISO 40.3 olan apikal bölgeye kadar ulaşabilmesi için 27 numaralı iğne kullanılmıştır. Solüsyonun iğnenin ucundan sadece 1 mm daha derine ulaştığı daha önce kanıtlandığı için, bu çalışmada iğnenin ucu çalışma boyundan 1mm kısa olacak şekilde kanala yerleştirilmiştir. Smear tabakasının çıkarılması, yıkama solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu sağlamak için önemli kriterlerden biri olduğundan EDTA, QMix ve Irritrol şelasyon ajanları kullanılmıştır. Yaptığımız bu çalışmanın sınırlamaları dahilinde, EndoActivator ile sonik aktivasyon ve LAI kullanımının, geleneksel yıkamaya kıyasla şelasyon ajanlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu önemli ölçüde arttırmadığı sonucuna varılabilir. QMix'in herhangi bir aktivasyon tekniği ile kullanılması, dentin tübül penetrasyonu açısından avantajlı gibi görünmektedir. Bu bulguları doğrulamak için gelecekte, taramalı elektron mikroskobu gibi farklı yöntemlere sahip çalışmaların yapılması gereklidir. LAI ve sonik aktivasyonun klinik uygulamalara önemli yararlar sağlayıp sağlamadığı henüz belirsizdir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaptığımız *in vitro* çalışmanın sınırları dahilinde elde ettiğimiz sonuçlar aşağıda sırayla belirtilmiştir.

1. Yapılan bu çalışmada, kanal yıkama yöntemi ve solüsyonlarından bağımsız olarak penetrasyon yüzde ve derinlik değerlerinin, kanal içerisinde orta üçlünden apikale doğru azaldığı saptanmıştır. Bu durum solüsyonun apikal bölgeye yeterince ulaşamamasına, apikal bölgesindeki smear tabakasının orta üçlüye göre daha zor uzaklaştırılmasına ve apikal bölgede daha sklerotik dentin tübülleri varlığına bağlı olabilir. Bu nedenle, yıkama solüsyonlarının apikal bölgeye ulaşabilmesi ve dentine daha fazla penetre olması, tedavinin başarısını arttırdığından dolayı istenen bir durumdur.

2. Kullanılan kanal yıkama yöntemlerinden bağımsız olarak, kanalın orta üçlü bölgesinde, QMix ana grubunun (n:30) ortalama penetrasyon derinlik değeri, klorheksidin grubuna göre anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Apikal bölgede ise QMix ana grubunun (n:30) penetrasyon yüzde değeri Klorheksidin grubuna göre anlamlı derecede daha yüksek görülmektedir ($p<0.05$). Ayrıca, solüsyon aktivasyonu olmaksızın geleneksel yöntemle yapılan kanal yıkama işleminde, orta üçlüde QMix alt grubunun (n:10) ortalama penetrasyon derinlik değeri, Klorheksidin ve Irritrol grubuna göre anlamlı derecede yüksek saptanmıştır ($p<0.05$). Bu sonuçlar QMix solüsyonunun, herhangi bir aktivasyon yöntemi olmadan EDTA+CHX ve Irritrol'e göre smear tabakasını daha etkili bir şekilde kaldırdığı ve dentin tübülleri daha kolay bir şekilde akarak penetre olabildiğini göstermektedir. Bu nedenle, kanal yıkama işleminde QMix'in, son yıkama solüsyonu olarak kullanılması avantajlı gibi görünmektedir.

3. Kullanılan son yıkama solüsyonunun çeşidine bakılmaksızın yapılan kanal yıkama yöntemleri arasında, penetrasyon derinlik ve yüzde değerlerine etkileri açısından apikal ve orta bölgede anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($p<0.05$). Bu sonuç, smear tabakasının uzaklaştırılması ve dentinal penetrasyonun artırılmasındaki en önemli etkenin, solüsyonların aktivasyonundan ziyade şelasyon ajanlarının kullanılması olduğunu gösterebilir.

7. KAYNAKLAR

Abad-Gallegos M., Arnabat-Domínguez J., España-Tost A., Berini-Aytés L. ve Gay-Escoda C. (2009). 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 Y Cirugia Bucal*. 14(12): 658-62.

Abou-Rass, M., & Oglesby, S. W. (1981). The effects of temperature, concentration, and tissue type on the solvent ability of sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 7(8), 376-377.

Addy, M., & Moran, J. M. (1997). Clinical indications for the use of chemical adjuncts to plaque control: chlorhexidine formulations. *Periodontology* 2000, 15(1), 52-54.

Agrawal, R., Purayil, T. P., Ballal, N. V., & Belle, V. S. (2018). Comparative evaluation of postobturation apical seal following intracanal irrigation with maleic acid or a combination of chlorhexidine and ethylenediaminetetraacetic acid: An in vitro study. *Saudi Endodontic Journal*, 8(1), 34.

Ahmad, M., Ford, T. R. P., & Crum, L. A. (1987). Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved. *Journal of Endodontics*, 13(3), 93-101.

Akçay, M., Arslan, H., Durmus, N., Mese, M., & Capar, I. D. (2016). Dentinal tubule penetration of AH Plus, iRoot SP, MTA fillapex, and guttaflow bioseal root canal sealers after different final irrigation procedures: A confocal microscopic study. *Lasers in surgery and medicine*, 48(1), 70-76.

Akçay, M., Arslan, H., Mese, M., Durmus, N., & Capar, I. D. (2017). Effect of photon-initiated photoacoustic streaming, passive ultrasonic, and sonic irrigation techniques on dentinal tubule penetration of irrigation solution: a confocal microscopic study. *Clinical oral investigations*, 21(7), 2205-2212.

Akisu, E., Tomita, V. S., Gavini, G., & de Figueiredo, J. A. P. (2010). Effect of the combination of sodium hypochlorite and chlorhexidine on dentinal permeability and scanning electron microscopy precipitate observation. *Journal of endodontics*, 36(5), 847-850.

Aksel, H., Küçükkaya Eren, S., Puralı, N., Serper, A., & Azim, A. A. (2017). Efficacy of different irrigant protocols and application systems on sealer penetration using a stepwise CLSM analysis. *Microscopy research and technique*, 80(12), 1323-1327.

Alaçam T. (2012). *Endodonti*. Ankara:Gazi üniversitesi yayımları. (s.533).

Ali, M. N., Hossain, M., Nakamura, Y., Matsuoka, E., Kinoshita, J. I., & Matsumoto, K. (2005). Efficacy of root canal preparation by Er, Cr: YSGG laser irradiation with crown-down technique in vitro. *Photomedicine and Laser Therapy*, 23(2), 196-201.

Al-Jadaa, A., Paqué, F., Attin, T., & Zehnder, M. (2009). Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in simulated accessory canals: impact of canal location and angulation. *International Endodontic Journal*, 42(1), 59-65.

Altundasar, E., Özçelik, B., Cehreli, Z. C., & Matsumoto, K. (2006). Ultramorphological and histochemical changes after ER, CR: YSGG laser irradiation and two different irrigation regimes. *Journal of endodontics*, 32(5), 465-468.

Aranda-Garcia, A.J., Kuga, M.C., Vitorino, K.R., Chávez-Andrade, G.M., Duarte, M.A., Bonetti-Filho, I., Faria, G. ve Só, M.V. (2013). Effect of the root canal final rinse protocols on the debris and smear layer removal and on the push-out strength of an epoxy-based sealer. *Microscopy Research and Technique*, 76(5):533-7.

Arias-Moliz, M. T., Ferrer-Luque, C. M., González-Rodríguez, M. P., Valderrama, M. J., & Baca, P. (2010). Eradication of *Enterococcus faecalis* biofilms by cetrimide and chlorhexidine. *Journal of endodontics*, 36(1), 87-90.

Arslan, D., Guneser, M. B., Kustarci, A., Er, K., & Siso, S. H. (2015). Pulp tissue dissolution capacity of QMix 2in1 irrigation solution. *European journal of dentistry*, 9(3), 423.

Bago Jurič, I., Plečko, V., & Anić, I. (2014). Antimicrobial Efficacy of Er, Cr: YSGG Laser-Activated Irrigation Compared with Passive Ultrasonic Irrigation and RinsEndo® Against Intracanal *Enterococcus faecalis*. *Photomedicine and laser surgery*, 32(11), 600-605.

- Baldasso, F. E. R., Roletto, L., Silva, V. D. D., Morgental, R. D., & Kopper, P. M. P. (2017). Effect of final irrigation protocols on microhardness reduction and erosion of root canal dentin. *Brazilian oral research*, 31.
- Ballal, N. V., Moorkoth, S., Mala, K., Bhat, K. S., Hussen, S. S., & Pathak, S. (2011). Evaluation of chemical interactions of maleic acid with sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *Journal of endodontics*, 37(10), 1402-1405.
- Basmadjian-Charles, C. L., Farge, P., Bourgeois, D. M., & Lebrun, T. (2002). Factors influencing the long-term results of endodontic treatment: a review of the literature. *International Dental Journal*, 52(2), 81-86.
- Basrani, B. (2011). Irrigation in endodontic treatment. *Alpha Omegan*, 104.
- Basrani, B. (2015). Endodontic irrigation, chemical disinfection of the root canal system. Switzerland:Springer International Publishing.(s.99-226)
- Basrani, B. ve Haapasalo, M. (2012). Update on endodontic irrigating solutions. *Endodontic Topics*, 27(1):74-102.
- Basrani, B., Tjäderhane, L., Santos, J. M., Pascon, E., Grad, H., Lawrence, H. P., & Friedman, S. (2003). Efficacy of chlorhexidine-and calcium hydroxide-containing medicaments against *Enterococcus faecalis* in vitro. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*, 96(5), 618-624.
- Baumgartner, J. C., Brown, C. M., Mader, C. L., Peters, D. D., & Shulman, J. D. (1984). A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite, and citric acid. *Journal of Endodontics*, 10(11), 525-531.
- Bergmans, L., Moisiadis, P., Huybrechts, B., Van Meerbeek, B., Quirynen, M., & Lambrechts, P. (2008). Effect of photo-activated disinfection on endodontic pathogens ex vivo. *International Endodontic Journal*, 41(3), 227-239.
- Bergmans, L., Moisiadis, P., Teughels, W., Van Meerbeek, B., Quirynen, M., & Lambrechts, P. (2006). Bactericidal effect of Nd: YAG laser irradiation on some endodontic pathogens ex vivo. *International endodontic journal*, 39(7), 547-557.

Bernardes, R. A., de Amorim Campelo, A., Junior, D. S. S., Pereira, L. O., Duarte, M. A. H., Moraes, I. G., & Bramante, C. M. (2010). Evaluation of the flow rate of 3 endodontic sealers: Sealer 26, AH Plus, and MTA Obtura. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 109(1), e47-e49.

Berutti, E., Marini, R., & Angeretti, A. (1997). Penetration ability of different irrigants into dentinal tubules. *Journal of endodontics*, 23(12), 725-727.

Blanken, J. W., & Verdaasdonk, R. M. (2007). Cavitation as a Working Mechanism of the Er, Cr: YSGG Laser in Endodontics: A Visualization Study. *Journal of Oral Laser Applications*, 7(2).

Blanken, J., De Moor, R. J. G., Meire, M., & Verdaasdonk, R. (2009). Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: a visualization study. *Lasers in surgery and medicine*, 41(7), 514-519.

Blank-Gonçalves, L. M., Nabeshima, C. K., Martins, G. H. R., & de Lima Machado, M. E. (2011). Qualitative analysis of the removal of the smear layer in the apical third of curved roots: conventional irrigation versus activation systems. *Journal of endodontics*, 37(9), 1268-1271.

Bolles, J. A., He, J., Svoboda, K. K., Schneiderman, E., & Glickman, G. N. (2013). Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *Journal of endodontics*, 39(5), 708-711.

Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., & Kastrinakis, E. (2009). Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a computational fluid dynamics study. *International Endodontic Journal*, 42(2), 144-155.

Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., & Vasiliadis, L. (2007). Clinical relevance of standardization of endodontic irrigation needle dimensions according to the ISO 9626: 1991 and 9626: 1991/Amd 1: 2001 specification. *International endodontic journal*, 40(9), 700-706.

Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., Kastrinakis, E., & Bekiaroglou, P. (2007). Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *International Endodontic Journal*, 40(7), 504-513.

Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., Wesselink, P. R., & van der Sluis, L. W. (2010). The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of endodontics*, 36(10), 1664-1668.

Boutsioukis, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., Wesselink, P. R., & van der Sluis, L. W. (2010). Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of Endodontics*, 36(5), 875-879.

Bradford, C. E., Eleazer, P. D., Downs, K. E., & Scheetz, J. P. (2002). Apical pressures developed by needles for canal irrigation. *Journal of endodontics*, 28(4), 333-335.

Bronnec, F., Bouillaguet, S., & Machtou, P. (2010). Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the cleaning and shaping of root canals: a digital subtraction radiographic study. *International endodontic journal*, 43(4), 275-282.

Brunson, M., Heilborn, C., Johnson, D. J., & Cohenca, N. (2010). Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *Journal of endodontics*, 36(4), 721-724.

Bui, T. B., Baumgartner, J. C., & Mitchell, J. C. (2008). Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate and its effect on root dentin. *Journal of Endodontics*, 34(2), 181-185.

Bukiet, F., Soler, T., Guivarch, M., Camps, J., Tassery, H., Cuisinier, F., & Candoni, N. (2013). Factors affecting the viscosity of sodium hypochlorite and their effect on irrigant flow. *International endodontic journal*, 46(10), 954-961.

Byström, A., & Sunqvist, G. (1985). The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *International endodontic journal*, 18(1), 35-40.

Calt, S., & Serper, A. (2002). Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *Journal of endodontics*, 28(1), 17-19.

Cameron, C. E. (1964). Cracked-tooth syndrome. *The Journal of the American Dental Association*, 68(3), 405-411.

Caron, G. (2007). Cleaning efficiency of the apical millimeters of curved canals using three different modalities of irrigant activation: an SEM study. Paris: Paris VII University.

Caron, G., Nham, K., Bronnec, F., & Machtou, P. (2010). Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *Journal of endodontics*, 36(8), 1361-1366.

Chandra, S. S., Shankar, P., & Indira, R. (2012). Depth of penetration of four resin sealers into radicular dentinal tubules: a confocal microscopic study. *Journal of endodontics*, 38(10), 1412-1416.

Chaudhry, S., Yadav, S., Talwar, S., & Verma, M. (2017). Effect of EndoActivator and Er, Cr: YSGG laser activation of Qmix, as final endodontic irrigant, on sealer penetration: A Confocal microscopic study. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 9(2), e218.

Cheung, G. S. P., & Stock, C. J. R. (1993). In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics. *International Endodontic Journal*, 26(6), 334-343.

Christo, J. E., Zilm, P. S., Sullivan, T., & Cathro, P. R. (2016). Efficacy of low concentrations of sodium hypochlorite and low-powered Er, Cr: YSGG laser activated irrigation against an *Enterococcus faecalis* biofilm. *International endodontic journal*, 49(3), 279-286.

Clayman, L., & Kuo, P. (1997). *Lasers in maxillofacial surgery and dentistry*. Thieme Medical Publishers.

Cohen, S., Hargreaves, K. M., & Berman, L. H. (2011). Cohen's pathways of the pulp. *Mosby Elsevier*, 223-389.

Cotter, J. L., Fader, R. C., Lilley, C., & Herndon, D. N. (1985). Chemical parameters, antimicrobial activities, and tissue toxicity of 0.1 and 0.5% sodium hypochlorite solutions. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 28(1), 118-122.

Dai, L., Khechen, K., Khan, S., Gillen, B., Loushine, B. A., Wimmer, C. E., ... & Tay, F. R. (2011). The effect of QMix, an experimental antibacterial root canal

irrigant, on removal of canal wall smear layer and debris. *Journal of endodontics*, 37(1), 80-84.

Dalton, B. C., Ørstavik, D., Phillips, C., Pettiette, M., & Trope, M. (1998). Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *Journal of endodontics*, 24(11), 763-767.

De Gregorio, C., Estevez, R., Cisneros, R., Heilborn, C., & Cohenca, N. (2009). Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study. *Journal of Endodontics*, 35(6), 891-895.

De Groot, S. D., Verhaagen, B., Versluis, M., Wu, M. K., Wesselink, P. R., & Van Der Sluis, L. W. M. (2009). Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *International endodontic journal*, 42(12), 1077-1083.

De-Deus, G., Brandao, M. C., Leal, F., Reis, C., Souza, E. M., Luna, A. S., ... & Fidel, S. (2012). Lack of correlation between sealer penetration into dentinal tubules and sealability in nonbonded root fillings. *International endodontic journal*, 45(7), 642-651.

Deus, G. A., Gurgel-Filho, E. D., Maniglia-Ferreira, C., & Coulinho-Filho, T. (2004). The influence of filling technique on depth of tubule penetration by root canal sealer: a study using light microscopy and digital image processing. *Australian Endodontic Journal*, 30(1), 23-28.

DiVito, E., Peters, O. A., & Olivi, G. (2012). 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*, 27(2), 273-280.

Ebeling, K. J., & Lauterborn, W. (1977). High speed holocinematography using spatial multiplexing for image separation. *Optics Communications*, 21(1), 67-71.

Eliot, C., Hatton, J. F., Stewart, G. P., Hildebolt, C. F., Gillespie, M. J., & Gutmann, J. L. (2014). The effect of the irrigant QMix on removal of canal wall smear layer: an ex vivo study. *Odontology*, 102(2), 232-240.

Estrela C., Estrela C.R., Decurcio D.A., Hollanda A.C. ve Silva J.A. (2007). Antimicrobial efficacy of ozonated water, gaseous ozone, sodium hipochlorite and

chlorhexidine in infected human root canals. *International Endodontic Journal*. 40(2): 85-93.

Estrela, C., Estrela, C. R., Barbin, E. L., Spanó, J. C. E., Marchesan, M. A., & Pécora, J. D. (2002). Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian dental journal*, 13(2), 113-117.

Evanov, C., Liewehr, F., Buxton, T. B., & Joyce, A. P. (2004). Antibacterial efficacy of calcium hydroxide and chlorhexidine gluconate irrigants at 37 C and 46 C. *Journal of endodontics*, 30(9), 653-657.

Ferraz, C.C., Gomes, B.P., Zaia, A.A., Teixeira, F.B. ve Souza-Filho, F.J. (2001). In vitro assessment of the antimicrobial action and the mechanical ability of chlorhexidine gel as an endodontic irrigant. *Journal of Endodontics*, 27(7):452-5.

Ferreira, R. B., Marchesan, M. A., Silva-Sousa, Y. T., & Sousa-Neto, M. (2008). Effectiveness of root canal debris removal using passive ultrasound irrigation with chlorhexidine digluconate or sodium hypochlorite individually or in combination as irrigants. *J Contemp Dent Pract*, 9(5), 68-75.

Fogel, H. M., & Pashley, D. H. (1990). Dentin permeability: effects of endodontic procedures on root slabs. *Journal of Endodontics*, 16(9), 442-445.

García-Herraz, A., Leiva-García, R., Silvestre, F. J., & García-Antón, J. (2012). Applications of Confocal Laser Scanning Microscopy in Dentistry. Study of the changes of the post-extraction sites. *Current Microscopy Contributions to Advances in Science and Technology*, 569-581.

George, R., Meyers, I. A., & Walsh, L. J. (2008). 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*, 34(12), 1524-1527.

Gharib, S. R., Tordik, P. A., Imamura, G. M., Baginski, T. A., & Goodell, G. G. (2007). A confocal laser scanning microscope investigation of the epiphany obturation system. *Journal of endodontics*, 33(8), 957-961.

Ghorbanzadeh, A., Aminsobhani, M., Sohrabi, K., Chiniforush, N., Ghafari, S., Shamshiri, A. R., & Noroozi, N. (2016). Penetration Depth of Sodium Hypochlorite

in Dentinal Tubules after Conventional Irrigation, Passive Ultrasonic Agitation and Nd: YAG Laser Activated Irrigation. *Journal of lasers in medical sciences*, 7(2), 105.

Ghorbanzadeh, A., Fekrazad, R., Bahador, A., Ayar, R., Tabatabai, S., & Asefi, S. (2018). Evaluation of the antibacterial efficacy of various root canal disinfection methods against *Enterococcus faecalis* biofilm. An ex-vivo study. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, S1572-1000(18), 30103-0.

Giardino, L., Ambu, E., Becce, C., Rimondini, L., & Morra, M. (2006). Surface tension comparison of four common root canal irrigants and two new irrigants containing antibiotic. *Journal of Endodontics*, 32(11), 1091-1093.

Goldberg, F., & Abramovich, A. (1977). Analysis of the effect of EDTAC on the dentinal walls of the root canal. *Journal of Endodontics*, 3(3), 101-10

Gomes, B. P. F. A., Ferraz, C. C. R., ME, V., Berber, V. B., Teixeira, F. B., & Souza-Filho, F. J. (2001). In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*. *International endodontic journal*, 34(6), 424-428.

Gomes, B. P., Vianna, M. E., Zaia, A. A., Almeida, J. F. A., Souza-Filho, F. J., & Ferraz, C. C. (2013). Chlorhexidine in endodontics. *Brazilian dental journal*, 24(2), 89-102.

Gordon, W., Atabakhsh, V. A., Meza, F., Doms, A., Nissan, R., Rizoio, I., & Stevens, R. H. (2007). 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*. *The Journal of the American Dental Association*, 138(7), 992-1002.

Greenstein, G., Berman, C., & Jaffin, R. (1986). Chlorhexidine: an adjunct to periodontal therapy. *Journal of periodontology*, 57(6), 370-377.

Gu, L. S., Kim, J. R., Ling, J., Choi, K. K., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2009). Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of Endodontics*, 35(6), 791-804.

Gu, Y., Perinpanayagam, H., Kum, D. J., Yoo, Y. J., Jeong, J. S., Lim, S. M., ... & Kum, K. Y. (2017). Effect of different agitation techniques on the penetration of

irrigant and sealer into dentinal tubules. *Photomedicine and laser surgery*, 35(2), 71-77.

Guerisoli, D. M. Z., Marchesan, M. A., Walmsley, A. D., Lumley, P. J., & Pecora, J. D. (2002). Evaluation of smear layer removal by EDTAC and sodium hypochlorite with ultrasonic agitation. *International Endodontic Journal*, 35(5), 418-421.

Gulabivala, K., Ng, Y. L., Gilbertson, M., & Eames, I. (2010). The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiological Measurement*, 31(12), R49.

Gulabivala, K., Patel, B., Evans, G., & Ng, Y. L. (2005). Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics*, 10(1), 103-122.

Gutarts, R., Nusstein, J., Reader, A., & Beck, M. (2005). In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of Endodontics*, 31(3), 166-170.

Haapasalo, M. (2011). Can I use chlorhexidine as the only irrigating solution in my endodontic treatments?. *Texas dental journal*, 128(4), 357.

Haapasalo, M., & Orstavik, D. (1987). In vitro infection and disinfection of dentinal tubules *J Dent Res*, 66 (8): 1375-9.

Haapasalo, M., Shen, Y., Qian, W. ve Gao, Y. (2010). Irrigation in endodontics. *Dental Clinics of North America*, 54(2):291-312.

Hammad, M., Qualtrough, A., & Silikas, N. (2008). Three-dimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. *Journal of endodontics*, 34(11), 1370-1373.

Harris DM Pick RM. (1995). Laser physics. In: Miserendino LJ and Pick RM. *Lasers in dentistry*. Chicago: Quintessence. (s.27-38).

Hebling, J., Pashley, D. H., Tjäderhane, L., & Tay, F. R. (2005). Chlorhexidine arrests subclinical degradation of dentin hybrid layers in vivo. *Journal of dental research*, 84(8), 741-746.

Hunter JG (1993). Laser physics and tissue interaction. Chapter 4 in: Hunter JG, Sackier JM, editors. *Minimally invasive surgery*. New York: McGraw-Hill, Inc.; pp 23-31.

Hülsmann, M., & Hahn, W. (2000). Complications during root canal irrigation—literature review and case reports. *International Endodontic Journal*, 33(3), 186-193.

Hülsmann, M., Heckendorff, M., & Lennon, A. (2003). Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *International endodontic journal*, 36(12), 810-830.

Hülsmann, M., Peters, O. A., & Dummer, P. M. (2005). Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic topics*, 10(1), 30-76.

Hülsmann, M., Rummelin, C., & Schäfers, F. (1997). Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *Journal of Endodontics*, 23(5), 301-306.

Jardine, A. P., Da Rosa, R. A., Santini, M. F., Wagner, M., Só, M. V. R., Kuga, M. C., ... & Kopper, P. M. P. (2016). The effect of final irrigation on the penetrability of an epoxy resin-based sealer into dentinal tubules: a confocal microscopy study. *Clinical oral investigations*, 20(1), 117-123.

Jensen, S. A., Walker, T. L., Hutter, J. W., & Nicoll, B. K. (1999). Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of Endodontics*, 25(11), 735-738.

Jones, D. S., Gorman, S. P., McCafferty, D. F., & Woolfson, A. D. (1991). The effects of three non-antibiotic, antimicrobial agents on the surface hydrophobicity of certain micro-organisms evaluated by different methods. *Journal of Applied Microbiology*, 71(3), 218-227.

Kakehashi, S., Stanley, H. R., & Fitzgerald, R. J. (1965). The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 20(3), 340-349.

Kalyoncuoglu, E., Tunc, E. S., Ozer, S., Keskin, C., Bilgin, K., & Birinci, A. (2016). Evaluation of antifungal efficacy of QMix 2in1 as a final irrigant: An in vitro study. *Nigerian journal of clinical practice*, 19(6), 807-810.

Kanaparthi A. ve Kanaparthi R. (2012). Lasers in Endodontics: A Panoramic View. *Online Journal of Medicine and Medical Science Research*. 1(6): 108-115.

Kanter, V., Weldon, E., Nair, U., Varella, C., Kanter, K., Anusavice, K., & Pileggi, R. (2011). A quantitative and qualitative analysis of ultrasonic versus sonic endodontic systems on canal cleanliness and obturation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 112(6), 809-813.

Karkehabadi, H., Yousefifakhr, H., & Zadsirjan, S. (2018). Cytotoxicity of Endodontic Irrigants on Human Periodontal Ligament Cells. *Iranian endodontic journal*, 13(3), 390.

Koçak, S., Bağcı, N., Çiçek, E., Türker, S. A., Can Sağlam, B., & Koçak, M. M. (2017). Influence of passive ultrasonic irrigation on the efficiency of various irrigation solutions in removing smear layer: a scanning electron microscope study. *Microscopy research and technique*, 80(5), 537-542.

Kok, D., Duarte, M. A. H., Da Rosa, R. A., Wagner, M. H., Pereira, J. R., & Só, M. V. R. (2012). Evaluation of epoxy resin sealer after three root canal filling techniques by confocal laser scanning microscopy. *Microscopy research and technique*, 75(9), 1277-1280.

Kokkas, A. B., Boutsoukis, A. C., Vassiliadis, L. P., & Stavrianos, C. K. (2004). The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. *Journal of endodontics*, 30(2), 100-102.

Kolnick, J. (2011). The clinical use of the Er, Cr: YSGG laser in endodontic therapy. *Roots*, 2, 14-8.

Kolosowski, K.P., Sodhi, R.N., Kishen A. ve Basrani B.R. (2014). Qualitative analysis of precipitate formation on the surface and in the tubules of dentin irrigated with sodium hypochlorite and a final rinse of chlorhexidine or QMiX. *Journal of Endodontics*, 40(12):2036-40.

Kuruvilla, J. R., & Kamath, M. P. (1998). Antimicrobial activity of 2.5% sodium hypochlorite and 0.2% chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigants. *Journal of Endodontics*, 24(7), 472-476.

Langeland, K. (1987). Tissue response to dental caries. *Dental Traumatology*, 3(4), 149-171.

- Levy, G., Rizoiu, I., Friedman, S., & Lam, H. (1996). Pressure waves in root canals induced by Nd: YAG laser. *Journal of endodontics*, 22(2), 81-84.
- Llena, C., Forner, L., Cambralla, R., & Lozano, A. (2015). Effect of three different irrigation solutions applied by passive ultrasonic irrigation. *Restorative dentistry & endodontics*, 40(2), 143-148.
- Lumley, P. J., Blunt, L., Walmsley, A. D., & Marquis, P. M. (1996). Analysis of the surface cut by sonic files. *Dental Traumatology*, 12(5), 240-245.
- Ma, J., Wang, Z., Shen, Y., & Haapasalo, M. (2011). A new noninvasive model to study the effectiveness of dentin disinfection by using confocal laser scanning microscopy. *Journal of endodontics*, 37(10), 1380-1385.
- Mamootil, K., & Messer, H. H. (2007). Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. *International Endodontic Journal*, 40(11), 873-881.
- Mancini, M., Armellin, E., Casaglia, A., Cerroni, L. ve Cianconi, L. A. (2009). Comparative study of smear layer removal and erosion in apical intraradicular dentine with three irrigating solutions: A scanning electron microscopy evaluation. *Journal of Endodontics*, 35(6):900-3
- Matsumoto, H., Yoshimine, Y., & Akamine, A. (2011). Visualization of irrigant flow and cavitation induced by Er: YAG laser within a root canal model. *Journal of endodontics*, 37(6), 839-843.
- McDonnell, G., & Russell, A. D. (1999). Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clinical microbiology reviews*, 12(1), 147-179.
- Mir, M., Gutknecht, N., Poprawe, R., Vanweersch, L., & Lampert, F. (2009). Visualising the procedures in the influence of water on the ablation of dental hard tissue with erbium: yttrium–aluminium–garnet and erbium, chromium: yttrium–scandium–gallium-garnet laser pulses. *Lasers in medical science*, 24(3), 365-374.
- Mohammadi, Z. (2008). Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *International dental journal*, 58(6), 329-341.

- Mohammadi, Z. (2009). Laser applications in endodontics: an update review. *International dental journal*, 59(1), 35-46.
- Mohammadi, Z., & Abbott, P. V. (2009). Antimicrobial substantivity of root canal irrigants and medicaments: a review. *Australian Endodontic Journal*, 35(3), 131-139.
- Mohammadi, Z., Shalavi, S., & Jafarzadeh, H. (2013). Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. *European journal of dentistry*, 7(Suppl 1), S135.
- Molander, A., Reit, C., Dahlen, G., & Kvist, T. (1998). Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *International endodontic journal*, 31(1), 1-7.
- Montero-Miralles, P., Estévez-Luaña, R., DeGregorio-González, C., Valencia-dePablo, O., Jaramillo, D. E., & Cisneros-Cabello, R. (2018). Effectiveness of Nd: YAG Laser on the elimination of debris and Smear Layer. A comparative study with two different irrigation solution: EDTA and QMix® in addition to NaOCl. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 10(1), e70.
- Moon, Y. M., Kim, H. C., Bae, K. S., Baek, S. H., Shon, W. J., & Lee, W. (2012). Effect of laser-activated irrigation of 1320-nanometer Nd: YAG laser on sealer
- Nair, P. N. R. (2004). Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 15(6), 348-381.
- Nair, P. N. R., Henry, S., Cano, V., & Vera, J. (2005). Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after “one-visit” endodontic treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 99(2), 231-252.
- Nelson, J. S., & Berns, M. W. (1988). Basic laser physics and tissue interactions. *Contemp Dermatol*, 2, 3-15.
- Nikhil, V., & Singh, R. (2013). Confocal laser scanning microscopic investigation of ultrasonic, sonic, and rotary sealer placement techniques. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 16(4), 294.

Niu, W., Yoshioka, T., Kobayashi, C., & Suda, H. (2002). A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. *International Endodontic Journal*, 35(11), 934-939.

Okino, L.A., Siqueira, E.L., Santos, M., Bombana, A.C. ve Figueiredo, J.A. (2004). Dissolution of pulp tissue by aqueous solution of chlorhexidine digluconate and chlorhexidine digluconate gel. *International Endodontic Journal*, 37(1):38-41.

Ordinola-Zapata, R., Bramante, C. M., Graeff, M. S., del Carpio Perochena, A., Vivan, R. R., Camargo, E. J., ... & de Moraes, I. G. (2009). Depth and percentage of penetration of endodontic sealers into dentinal tubules after root canal obturation using a lateral compaction technique: a confocal laser scanning microscopy study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*, 108(3), 450-457.

Ørstavik, D. (1996). Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man. *International endodontic journal*, 29(3), 150-155.

ØRstavik, D. A. G. (2005). Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing. *Endodontic topics*, 12(1), 25-38.

Ørstavik, D., Qvist, V., & Stoltze, K. (2004). A multivariate analysis of the outcome of endodontic treatment. *European journal of oral sciences*, 112(3), 224-230.

Özlek, E. ve Eroğlu M.G. (2016). Farklı Yıkama Sistemlerinin, Kanal Dolgu Materyalinin Kök Kanalına Bağlanma Dayanımı Üzerine Olan Etkisinin İn-Vitro Olarak İncelenmesi. *Van Tıp Dergisi*, 23(3): 252-258.

Paqué, F., Luder, H. U., Sener, B., & Zehnder, M. (2006). Tubular sclerosis rather than the smear layer impedes dye penetration into the dentine of endodontically instrumented root canals. *International Endodontic Journal*, 39(1), 18-25.

Pasricha, S. K., Makkar, S., & Gupta, P. (2015). Pressure alteration techniques in endodontics-a review of literature. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 9(3), ZE01.

Pedulla, E., Genovese, C., Campagna, E., Tempera, G., & Rapisarda, E. (2012). Decontamination efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming (PIPS) of

irrigants using low-energy laser settings: an ex vivo study. *International endodontic journal*, 45(9), 865-870.

Peeters, H. H., & De Moor, R. J. (2015). Measurement of pressure changes during laser-activated irrigant by an erbium, chromium: yttrium, scandium, gallium, garnet laser. *Lasers in medical science*, 30(5), 1449-1455.

Peeters, H. H., & Suardita, K. (2011). Efficacy of smear layer removal at the root tip by using ethylenediaminetetraacetic acid and erbium, chromium: yttrium, scandium, gallium garnet laser. *Journal of endodontics*, 37(11), 1585-1589.

Peters, L. B., Van Winkelhoff, A. J., Buijs, J. F., & Wesselink, P. R. (2002). Effects of instrumentation, irrigation and dressing with calcium hydroxide on infection in pulpless teeth with periapical bone lesions. *International Endodontic Journal*, 35(1), 13-21.

Peters, L. B., Wesselink, P. R., Buijs, J. F., & Van Winkelhoff, A. J. (2001). Viable bacteria in root dentinal tubules of teeth with apical periodontitis. *Journal of Endodontics*, 27(2), 76-81.

Peters, O. A. (2004). Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *Journal of endodontics*, 30(8), 559-567.

Pirnat S., Lukac M. ve Ihan A. (2011). 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*. 26(6): 755-61

Portenier, I., Waltimo, T., Ørstavik, D., & Haapasalo, M. (2006). Killing of *Enterococcus faecalis* by MTAD and chlorhexidine digluconate with or without cetrimide in the presence or absence of dentine powder or BSA. *Journal of Endodontics*, 32(2), 138-141.

Prause A.M . (2000). Dişhekimliği ve laser sistemleri. *Türkiye Klinikleri Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi*. 13: 44-47.

Radcliffe, C. E., Potouridou, L., Qureshi, R., Hababbeh, N., Qualtrough, A., Worthington, H., & Drucker, D. B. (2004). Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms

Actinomyces israelii, *A. naeslundii*, *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis*. *International endodontic journal*, 37(7), 438-446.

Ricucci, D., & Siqueira, J. F. (2010). Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures. *Journal of endodontics*, 36(1), 1-15.

Rossmann, J. A., & Cobb, C. M. (1995). Lasers in periodontal therapy. *Periodontology 2000*, 9(1), 150-164.

Rouhani, A., Ghoddusi, J., Naghavi, N., & Al-Lawati, G. (2013). Scanning electron microscopic evaluation of dentinal tubule penetration of Epiphany in severely curved root canals. *European journal of dentistry*, 7(4), 423.

Ruddle, C. J. (2015). Endodontic disinfection: Tsunami irrigation. *Saudi Endodontic Journal*, 5(1), 1.

Russell, S. M. (2003). The effect of electrolyzed oxidative water applied using electrostatic spraying on pathogenic and indicator bacteria on the surface of eggs. *Poultry Science*, 82(1), 158-162.

Sahar-Helft, S., Stabholtz, A., Moshonov, J., Gutkin, V., Redenski, I., & Steinberg, D. (2013). Effect of Er: YAG laser-activated irrigation solution on *Enterococcus faecalis* biofilm in an ex-vivo root canal model. *Photomedicine and laser surgery*, 31(7), 334-341.

Scelza, M. F. Z., Teixeira, A. M., & Scelza, P. (2003). Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 95(2), 234-236.

Schoop, U., Barylyak, A., Goharkhay, K., Beer, F., Wernisch, J., Georgopoulos, A., ... & Moritz, A. (2009). The impact of an erbium, chromium: yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial-firing tips on endodontic treatment. *Lasers in medical science*, 24(1), 59-65.

Sedgley, C. (2004). Root canal irrigation--a historical perspective. *Journal of the history of dentistry*, 52(2), 61-65.

Senia, E. S., Marshall, F. J., & Rosen, S. (1971). The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 31(1), 96-103.

Shovelton, D. S. (1964). The presence and distribution of micro-organisms within non-vital teeth. *Brit. Dent. J.*, 117, 101-107.

Shuping, G. B., Ørstavik, D., Sigurdsson, A., & Trope, M. (2000). Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *Journal of endodontics*, 26(12), 751-755.

Sim, T. P. C., Knowles, J. C., Ng, Y. L., Shelton, J., & Gulabivala, K. (2001). Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *International Endodontic Journal*, 34(2), 120-132.

Siqueira Jr, J. F., Rôças, I. N., Favieri, A., & Lima, K. C. (2000). Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*, 26(6), 331-334.

Siqueira, J. F., Rôças, I. N., & Lopes, H. P. (2002). Patterns of microbial colonization in primary root canal infections. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*, 93(2), 174-178.

Sirtes, G., Waltimo, T., Schaetzle, M., & Zehnder, M. (2005). The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *Journal of Endodontics*, 31(9), 669-671.

Sjögren, U., Figdor, D., Persson, S., & Sundqvist, G. (1997). Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *International endodontic journal*, 30(5), 297-306.

Solovyeva, A. M., & Dummer, P. M. H. (2000). Cleaning effectiveness of root canal irrigation with electrochemically activated anolyte and catholyte solutions: a pilot study. *International Endodontic Journal*, 33(6), 494-504.

Srikumar, G. P. V., Sekhar, K. S., & Nischith, K. G. (2013). Mixture tetracycline citric acid and detergent—A root canal irrigant. A review. *Journal of oral biology and craniofacial research*, 3(1), 31-35.

- Stojicic, S., Shen, Y., Qian, W., Johnson, B., & Haapasalo, M. (2012). Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. *International endodontic journal*, 45(4), 363-371.
- Sundqvist, G. (1994). Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 78(4), 522-530.
- Swamy Jamb, V. N., & Singh, V. (2009). An in vitro study to determine the sealing ability of sealers with and without smear layer removal. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 12(4), 150.
- Şen, B. H., Safavi, K. E., & Spångberg, L. S. (1999). Antifungal effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine in root canals. *Journal of Endodontics*, 25(4), 235-238.
- Taşman, F., Çehreli, Z. C., Oğan, C., & Etikan, İ. (2000). Surface tension of root canal irrigants. *Journal of endodontics*, 26(10), 586-587.
- Teixeira, C. S., Felipe, M. C. S., & Felipe, W. T. (2005). The effect of application time of EDTA and NaOCl on intracanal smear layer removal: an SEM analysis. *International endodontic journal*, 38(5), 285-290.
- Tomita, Y., & Shima, A. (1986). Mechanisms of impulsive pressure generation and damage pit formation by bubble collapse. *Journal of Fluid Mechanics*, 169, 535-564.
- Townsend, C., & Maki, J. (2009). An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal. *Journal of endodontics*, 35(7), 1040-1043.
- Trepagnier, C. M., Madden, R. M., & Lazzari, E. P. (1977). Quantitative study of sodium hypochlorite as an in vitro endodontic irrigant. *Journal of endodontics*, 3(5), 194-196.
- Tuncer, A. K. (2015). Effect of QMix 2in1 on sealer penetration into the dentinal tubules. *Journal of endodontics*, 41(2), 257-260.
- Uroz-Torres, D., González-Rodríguez, M. P., & Ferrer-Luque, C. M. (2010). Effectiveness of the EndoActivator System in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Journal of endodontics*, 36(2), 308-311.

Vacca-Smith, A. M., Jones, C. A., Levine, M. J., & Stinson, M. W. (1994). Glucosyltransferase mediates adhesion of *Streptococcus gordonii* to human endothelial cells in vitro. *Infection and immunity*, 62(6), 2187-2194.

Vadhana, S., Latha, J., & Velmurugan, N. (2015). Evaluation of penetration depth of 2% chlorhexidine digluconate into root dentinal tubules using confocal laser scanning microscope. *Restorative dentistry & endodontics*, 40(2), 149-154.

Van der Sluis, L. W. M., Gambarini, G., Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (2006). The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *International Endodontic Journal*, 39(6), 472-476.

Van der Sluis, L. W. M., Versluis, M., Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (2007). Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International Endodontic Journal*, 40(6), 415-426.

Van der Sluis, L. W. M., Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (2007). The evaluation of removal of calcium hydroxide paste from an artificial standardized groove in the apical root canal using different irrigation methodologies. *International Endodontic Journal*, 40(1), 52-57.

Varella, C. H., & Pileggi, R. (2007). Obturation of root canal system treated by Cr, Er: YSGG laser irradiation. *Journal of endodontics*, 33(9), 1091-1093.

Vianna, M. E., Gomes, B. P., Berber, V. B., Zaia, A. A., Ferraz, C. C. R., & de Souza-Filho, F. J. (2004). In vitro evaluation of the antimicrobial activity of chlorhexidine and sodium hypochlorite. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*, 97(1), 79-84.

Vineet, S.A., Rajesh, M., Sonali, K. ve Mukesh, P. (2014). A Contemporary Overview of Endodontic Irrigants – A Review. *Austin Journal Of Dental Applications*, 1(6):105-15.

Vinothkumar, T. S., Kavitha, S., Lakshminarayanan, L., Gomathi, N. S., & Kumar, V. (2007). Influence of irrigating needle-tip designs in removing bacteria inoculated into instrumented root canals measured using single-tube luminometer. *Journal of endodontics*, 33(6), 746-748.

- Violich, D. R. ve Chandler, N. P. (2010). The smear layer in endodontics – a review. *International Endodontic Journal*, 43(1):2-15.
- Wang, Z., Shen, Y., & Haapasalo, M. (2013). Effect of smear layer against disinfection protocols on *Enterococcus faecalis*-infected dentin. *Journal of endodontics*, 39(11), 1395-1400.
- Wilcox, L. R., & Wiemann, A. H. (1995). Effect of a final alcohol rinse on sealer coverage of obturated root canals. *Journal of endodontics*, 21(5), 256-258.
- Williams, S., & Goldman, M. (1985). Penetrability of the smeared layer by a strain of *Proteus vulgaris*. *Journal of endodontics*, 11(9), 385-388.
- Yamazaki, R., Goya, C., Yu, D. G., Kimura, Y., & Matsumoto, K. (2001). Effects of erbium, chromium: YSGG laser irradiation on root canal walls: a scanning electron microscopic and thermographic study. *Journal of Endodontics*, 27(1), 9-12.
- Zamany, A., Safavi, K., & Spångberg, L. S. (2003). The effect of chlorhexidine as an endodontic disinfectant. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*, 96(5), 578-581.
- Zehnder, M. (2006). Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, 32(5):389-98.
- Zehnder, M., Gold, S. I., & Hasselgren, G. (2002). Pathologic interactions in pulpal and periodontal tissues. *Journal of clinical periodontology*, 29(8), 663-671.
- Zehnder, M., Kosicki, D., Luder, H., Sener, B., & Waltimo, T. (2002). Tissue-dissolving capacity and antibacterial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solutions. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*, 94(6), 756-762.
- Zehnder, M., Schmidlin, P., Sener, B., & Waltimo, T. (2005). Chelation in root canal therapy reconsidered. *Journal of Endodontics*, 31(11), 817-820.
- Zhang R., Chen M., Lu Y., Guo X., Qiao F. ve Wu L. (2015). Antibacterial and residual antimicrobial activities against *Enterococcus faecalis* biofilm: A comparison between EDTA, chlorhexidine, cetrimide, MTAD and Qmix. *Scientific Reports*, 5(5):12944.

Zhu, X., Yin, X., Chang, J. W., Wang, Y., Cheung, G. S., & Zhang, C. (2013). 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*, 31(8), 371-377.

Zou, L., Shen, Y., Li, W., & Haapasalo, M. (2010). Penetration of sodium hypochlorite into dentin. *Journal of endodontics*, 36(5), 793-796.