

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**FARKLI İĞNE DİZAYNI VE İĞNE YERLEŞTİRME DERİNLİKLERİNİN
KÖK KANALININ APİKAL ÜÇLÜ TEMİZLİĞİ VE İRRİGANTLARIN
APİKAL EKSTRÜZYONU ÜZERİNE ETKİLERİ: *İN-VİTRO* ÇALIŞMA**

Dt. Nur ERBİL
UZMANLIK TEZİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

Danışman
Prof. Dr. Funda KONT ÇOBANKARA

KONYA-2020

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**FARKLI İĞNE DİZAYNI VE İĞNE YERLEŞTİRME DERİNLİKLERİNİN
KÖK KANALININ APİKAL ÜÇLÜ TEMİZLİĞİ VE İRRİGANTLARIN
APİKAL EKSTRÜZYONU ÜZERİNE ETKİLERİ: *İN-VİTRO* ÇALIŞMA**

Dt. Nur ERBİL
UZMANLIK TEZİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

Danışman

Prof.Dr. Funda KONT ÇOBANKARA

Bu araştırma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından
20132001 nolu proje ile desteklenmiştir.

KONYA-2020

ONAY SAYFASI

UZMANLIK TEZİ JÜRİ TUTANAĞI

Uzmanlık Öğrencisinin Adı Soyadı : Dr. NUR ERBİL

Uzmanlık Dalı : ENDODONTİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Funda KONT ÇOBANKARA

Tezin Adı : Farklı İğne Dişleri ve İğne Yerleştirme Denişiklerinin
Kök Kanalının Apikal İstis Teminiliği ve İnfiltrasyonun Apikal Ekstrüzyonu Üzerine
Etkileri : in-vitro çalışma

Dr. NUR ERBİL hazırlamış olduğu tezini 07.08 2020 tarihinde aşağıda
isimleri yazılı olan jüri huzurunda savunmuştur.

SONUÇ: TEZ BAŞARILI ☒ TEZ YETERSİZ ()

Prof. Dr. Sema BELLİ
(Jüri Başkanı)

Prof. Dr. Funda KONT
ÇOBANKARA
(Tez Danışmanı)

Doç. Dr. M. Bilge
AKBULUT
(Jüri Üyesi)

ÖNSÖZ

Uzmanlık sürecim ve tez çalışmam boyunca bana yol gösteren, birikimlerini büyük bir özveriyle paylaşan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Funda KONT ÇOBANKARA'ya

Uzmanlık eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen hocalarım Sayın Prof. Dr. Sema BELLİ, Prof. Dr. Hale ARI AYDINBELGE ve Prof. Dr. Ayçe ÜNVERDİ ELDENİZ'e

Birlikte çalıştığımız ve tez sürecimde bana gönülden destek olan tüm asistan arkadaşlarıma

Varlıklarıyla bana güç veren İbrahim Ahsen DİKİCİ, Büşra ECER ve Zeynep Deniz ERDEM'e

Hayatım boyunca daima yanımda olan, benden sevgi ve desteklerini esirgemeyen, benim için her türlü fedakarlığı yapan, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan babam Metin ERBİL'e, annem Rahime ERBİL'e ve kardeşim Kerim ERBİL'e

Sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER, ÇİZELGELER VE TABLOLAR LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyonun Önemi.....	3
1.2. Smear Tabakası	6
1.2.1. Kök Kanal Tedavisinde Smear Tabakasının Uzaklaştırılmasının Önemi....	7
1.2.2. İrrigasyonun Smear Tabaka Uzaklaştırılmasına Etkisi	9
1.3. Endodontide Yaygın Olarak Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları	11
1.3.1. Sodyum Hipoklorit (NaOCl).....	11
1.3.2. Etilen Diamin Tetra Asetik Asit (EDTA)	13
1.4. Kök Kanal İrrigasyon Teknikleri	14
1.4.1. Manuel İrrigasyon Teknikleri.....	14
1.4.2. Cihaz Destekli İrrigasyon Teknikleri	17
1.5. Geleneksel İğne İrrigasyonunun Kök Kanal Sistemi Debridmanına ve Apikal Ekstrüzyona Etkisini Belirleyen Faktörler	22
1.5.1. İğne Dizayını.....	24
1.5.2. İrrigasyon İğnesinin Aktivasyonu	26
1.5.3. İrrigasyon Solüsyonunun Akış Hızı.....	27
1.5.4. İrrigasyon İğnesini Yerleştirme Derinliği	28
1.5.5. İrrigasyon İğnesinin Çapı.....	29
1.5.6. Apikal Çap ve Açıklığın Boyutu.....	31
1.5.7. Çalışma Uzunluğu	32
1.5.8. Kök Kanal Eğimi.....	33
1.6. İrrigasyon Solüsyonunun Ekstrüzyon Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler	34
1.7. Apikal Ekstrüzyonun Klinik ve Biyolojik Önemi	36
2. GEREÇ VE YÖNTEM	39
2.1. Çalışmada Kullanılacak Örneklerin Seçimi	39
2.2. Kök Kanal Preparasyonu için Örneklerin Hazırlanması	40

2.3. Debris ve Smear Tabaka Uzaklaştırma Etkinliklerinin Değerlendirilmesi	
için Grupların Oluşturulması ve Örneklerin Şekillendirilmesi	40
2.4. Smear Tabaka ve Debris Uzaklaştırılması için Final İrrigasyon	
Protokolünün Uygulanması.....	43
2.5. Örneklerin Scanning Electron Microscope (SEM)' de İncelenmek Üzere	
Hazırlanması.....	44
2.6. SEM'de Örneklerin Değerlendirilmesi.....	44
2.7. Final İrrigasyonu Sırasında Oluşan Apikal Ekstrüzyon Miktarlarının	
Değerlendirilmesi için Örneklerin ve Deney Düzeneklerinin Hazırlanması.....	45
2.8. Final İrrigasyonu Sırasında Oluşan Apikal Ekstrüzyon Miktarının	
Belirlenmesi	49
2.9. Verilerin İstatistiksel Analizi	50
3. BULGULAR.....	51
3.1. Smear Tabaka ve Debris Uzaklaştırma Etkinliklerinin Değerlendirilmesine	
ait SEM Görüntüleri	51
3.2. Smear Tabaka ve Debris Uzaklaştırma Etkinlik Skorlamalarında	
Operatörler Arasındaki Uyumun Değerlendirilmesi	56
3.3. Smear Tabaka Uzaklaştırma Etkinliğinin Değerlendirilmesine ait Bulgular	56
3.4. Debris Uzaklaştırma Etkinliğinin Değerlendirilmesine ait Bulgular.....	60
3.5. Apikal Ekstrüzyon Miktarlarının Değerlendirilmesine ait Bulgular	63
4. TARTIŞMA	68
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	83
6. KAYNAKLAR	86
7. EKLER.....	106
8. ÖZGEÇMİŞ	107

SİMGELER ve KISALTMALAR

%	: Yüzde
µl	: Mikrolitre
µm	: Mikrometre
Å	: Angström
Cl⁻	: Klor iyonu
CO₂	: Karbondioksit gazı
dk	: Dakika
EDTA	: Ethylene Diamine Tetraacetic Acid
EDTAC	: Ethylene Diamine Tetra Aceticacid plus Cetavlon
EDTAT	: Ethylene Diamine Tetra Aceticacid plus Texapon detergent
Er, Cr: YSGG	: Erbium Chromium Yttrium Scandium Gallium Garnet
Er: YAG	: Erbium Yttrium Alüminyum Garnet
G	: Gauge
gr	: Gram
Hz	: Hertz
Hz	: Hertz
ISE	: İyon selektif elektrot
ISO	: International Organization for Standardization
Kg	: Kilogram
KPa	: Kilopaskal
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal

Na⁺	: Sodyum iyonu
NaOCl	: Sodyum hipoklorit
Nd: YAG	: Neodymium Yttrium Aluminum Garnet
NH₃	: Amonyak gazı
°	: Derece
°C	: Santigrad derece
pH	: Power of Hydrogen
PIPS	: Photon Induced PhotoAcoustic Streaming
PUI	: Pasif ultrasonik irrigasyon
REDTA	: Roth's Ethylene Diamine Tetraacetic Acid
rpm	: Revolutions Per Minute (dakikadaki devir sayısı)
SEM	: Scanning Electron Microscope
sn	: Saniye

ŞEKİLLER, ÇİZELGELER VE TABLOLAR LİSTESİ

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.5.1.1. Farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin optik mikroskop görüntüleri

Şekil 1.5.1.2. Akış tiplerinin şematize edilmiş şekilleri a) Laminer akış b) Türbülanslı Akış c) Girdap Benzeri Akış d) Jet Şeklinde Akış

Şekil 1.5.5.1. Tıbbi kullanım için tasarlanmış paslanmaz çelik iğnelerin çapları (ISO 9626/2001 şartnamesine göre)

Şekil 2.2.1. a) Köklerin apeksinin mum ile kaplanması b) Apeksi mum ile kaplanmış köklerin silikon ölçü maddesi ile eppendorf tüpleri içersine yerleştirilmesi c) Silikon-diş ara yüzeyinin akışkan kompozit ile kapatılması

Şekil 2.3.1. Farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin şematize görünümüleri

Şekil 2.3.2. İrrigasyon sırasında kullanılan farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin SEM görüntüleri (x50). (a, b) Açık uçlu irrigasyon iğneleri a) Eğimli yüzey b) Çentikli yüzey (c, d) Kapalı uçlu irrigasyon iğneleri c) Tek delikli d) Çift delikli

Şekil 2.3.3. İrrigasyon solüsyonunun sabit akış hızında verilebilmesi için kullanılan şırıngalı infüzyon pompası

Şekil 2.7.1. a) Köklerin dış yüzeyinin ince tabaka kırmızı mum ile kaplanması b) Mum ile kaplanmış köklerin eppendorf tüpü içindeki yüksek viskoziteye sahip silikon ölçü maddesi içersine yerleştirilmesi

Şekil 2.7.2. a) Mumun uzaklaştırılmasının ardından, kökün düşük viskoziteli silikon ölçü maddesi içersine yerleştirilmesi b) Akışkan kompozit ile diş-silikon ara yüzeyinin kapatılması

Şekil 2.7.3. a) Kök kanal preparasyonu tamamlanmış olan köklerin, üzerine delik açılan eppendorf tüpü kapağına yerleştirilmesi b) Eppendorf tüpünün cam şişenin kapağına yerleştirilerek açık sistem deney düzeneğinin hazırlanması

Şekil 2.8.1. Kökün düşük viskoziteli silikon ile taklit edildiği alveoler soketten çıkarılması

- Şekil 3.1.1. Skor:1 Kök kanal duvarlarının çok az bir kısmında ($\leq 5\%$) birikmiş küçük debris tanecikleri mevcut ($\times 300$)
- Şekil 3.1.2. Skor:2 Kök kanal duvarlarının bir kısmında ($5\% < \leq 35\%$) birikmiş olan debris toplulukları mevcut ($\times 300$)
- Şekil 3.1.3. Skor:3 Kök kanal duvarlarının büyük çoğunluğunda ($35\% < \leq 65\%$) birikmiş debris toplulukları mevcut ($\times 300$)
- Şekil 3.1.4. Skor:4 Kök kanal duvarlarının büyük çoğunluğunda ($65\% < \leq 95\%$) birikmiş debris toplulukları mevcut ($\times 300$)
- Şekil 3.1.5. Skor:1 Smear tabakası yok ya da çok az miktarda ($\leq 5\%$) ve dentin tübülleri tamamına yakını açık ($\times 1000$)
- Şekil 3.1.6. Skor:2 Az miktarda smear tabakası ($5\% < \leq 35\%$) mevcut ve dentin tübüllerinin bir kısmı açık ($\times 1000$)
- Şekil 3.1.7. Skor:3 Bir miktar smear tabakası mevcut ($35\% < \leq 65\%$) ve dentin tübüllerinin bir kısmı açık ise ($\times 1000$)
- Şekil 3.1.8. Skor:4 Kök kanal duvarlarının çoğunu kapsayan smear tabakası mevcut ($65\% < \leq 95\%$) ve dentin tübülleri nadir olarak açık ($\times 1000$)
- Şekil 3.1.9. Skor:5 Kök kanal duvarlarının tamamını ya da tamamına yakını kapsayan smear tabakası mevcut ($95\% < \leq 100\%$) ve dentin tübülleri tıkalı ($\times 1000$)

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.2.1. Smear tabaka uzaklaştırma etkinliği skorlamalarında operatörler arasındaki uyumun değerlendirilmesi

Çizelge 3.2.2. Debris uzaklaştırma etkinliği skorlanmalarında operatörler arasındaki uyumun değerlendirilmesi

Çizelge 3.3.1. İrrigasyon iğneleri farklı yerleştirme derinliklerinde kullanıldıklarında smear tabaka uzaklaştırma etkinliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (n=20)

Çizelge 3.3.2. Aynı yerleştirme derinliklerinde kullanılan farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin smear tabaka uzaklaştırma etkinliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (n=20)

Çizelge 3.3.3. Farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin yerleştirme derinliği önemsizlikten smear tabaka skorlarına etkisinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi (n=80)

Çizelge 3.3.4. İrrigasyon iğnesi dizaynı önemsizlikten, yerleştirme derinliklerinin smear tabaka skorlarına etkisinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi (n=80)

Çizelge 3.3.5. Aynı yerleştirme derinliğinde kullanılan kapalı (tek veya çift delikli) ve açık (eğimli veya çentikli yüzey) uçlu irrigasyon iğnelerinin smear tabaka skorlarına etkilerinin istatistiksel olarak incelenmesi (n=160)

Çizelge 3.4.1. Aynı yerleştirme derinliklerinde farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin debris uzaklaştırma etkinliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (n=20)

Çizelge 3.4.2 İrrigasyon iğneleri farklı yerleştirme derinliklerinde kullanıldıklarında debris uzaklaştırma etkinliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (n=20)

Çizelge 3.4.3. Yerleştirme derinlikleri önemsizlikten farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin debris skorlarına etkilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi (n=80)

Çizelge 3.4.4. İğne dizaynı önemsenmeksizin farklı yerleştirme derinliklerinde kullanılan iğnelerin debris skorlarına etkilerinin istatistiksel karşılaştırılması (n=80)

Çizelge 3.5.1. Açık sistem deney düzeneğinde aynı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin farklı yerleştirme derinliklerinde kullanılmalarının apikal ekstrüzyona etkilerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (n=20)

Çizelge 3.5.2. Açık sistem deney düzeneğinde farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin aynı yerleştirme derinliklerinde kullanılmalarının apikal ekstrüzyona etkilerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (n=20)

Çizelge 3.5.3. Kapalı sistem deney düzeneğinde aynı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin farklı yerleştirme derinliklerinde kullanılmalarının taşan solüsyon miktarına etkilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi (n=20)

Çizelge 3.5.4. Kapalı sistem deney düzeneğinde farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin aynı yerleştirme derinliklerinde kullanılmalarının apikal ekstrüzyona etkilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi (n=20)

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.3.1. Debris ve smear tabaka uzaklaştırma etkinliklerinin değerlendirilmesi için oluşturulan gruplar

Tablo 2.4.1. Smear tabaka ve debrisin uzaklaştırılması için kullanılan irrigasyon protokolü

Tablo 2.7.1. Final irrigasyonda oluşan apikal ekstrüzyonun değerlendirilmesi için grupların belirlenmesi

ÖZET

T.C. SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

Farklı İğne Dizaynı Ve İğne Yerleştirme Derinliklerinin Kök Kanalının Apikal Üçlü Temizliği Ve İrrigantların Apikal Ekstrüzyonu Üzerine Etkileri: *İn Vitro Çalışma*

Dt. Nur ERBİL
Endodonti Anabilim Dalı

UZMANLIK TEZİ / KONYA-2020

Bu uzmanlık tez çalışmasının amacı; farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin farklı yerleştirme derinliklerinde kullanıldıklarında solüsyonların apikal ekstrüzyon miktarlarına etkilerinin ve apikal üçlüdeki smear tabaka ve debris uzaklaştırma etkinliklerinin değerlendirilmesidir.

Farklı dizayna sahip irrigasyon iğneleri (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek ve çift delikli) (n=80) çalışma boyundan 1, 2, 3 ve 5 mm kısa olacak şekilde kullanılmak üzere, kendi içerisinde rastgele 4 alt gruba (n=20) ayrıldı. Şekillendirme işlemi boyunca her eğe arasında 2 ml %5'lik NaOCl ile irrigasyon yapıldı. Smear tabaka ve debris uzaklaştırma etkinliklerinin inceleneceği örneklerde, final irrigasyon için 5 ml %5'lik NaOCl, ardından 5 ml %17'lik EDTA ve tekrar 5 ml %5'lik NaOCl kullanıldı. Ardından her bir örneğin apikal üçlüsünde debris skorlaması için x300 ve smear tabaka skorlaması için x1000 büyütmede SEM görüntüleri alındı.

Apikal ekstrüzyon miktarlarının belirlenmesinde açık ve kapalı sistem olmak üzere iki farklı düzenek kullanıldı. Her iki düzende de, farklı dizayna sahip irrigasyon iğneleri (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek ve çift delikli) çalışma boyundan 1, 2, 3 ve 5 mm kısa kullanılacak şekilde kendi içerisinde 4 alt gruba ayrıldı (n=20). Final irrigasyonu esnasında 15 ml %5'lik NaOCl 4 ml/dk'lık sabit akış hızı ile kök kanal sistemine verildi. Kapalı sistem deney düzeneğinde taşan solüsyon miktarları ISE (iyon selektif elektrot) otoanalizöründe Na^+ ve Cl^- iyon molaritelerinden yararlanılarak μl olarak belirlendi. Açık sistem deney düzeneğinde her bir örnekte taşan solüsyon hacmi direkt olarak bir mikropipet aracılığıyla ml olarak ölçüldü.

Çalışma sonuçlarına göre smear tabaka ve debris uzaklaştırma etkinlikleri açısından tüm yerleştirme derinliklerinde açık uçlu irrigasyon iğnelerinin kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinden daha başarılı olduğu sonucuna varıldı ($p<0,05$). Tüm irrigasyon iğneleri farklı yerleştirme derinliklerinde kullanılarak smear tabaka ve debris uzaklaştırma özellikleri açısından karşılaştırıldıklarında ise; çalışma boyundan 1, 2 ve 3 mm kısa yerleştirme derinliklerinde birbirine benzer ($p>0,05$) ve 5 mm'ye göre daha düşük smear tabaka ve debris skorları elde edildi ($p<0,05$).

İrrigasyon solüsyonlarının ekstrüzyon miktarlarının değerlendirildiği açık ve kapalı sistem deney düzeneklerinin her ikisinde de tüm yerleştirme derinliklerinde; açık uçlu irrigasyon iğnelerinin kapalı uçlu iğnelere göre daha fazla solüsyon taşmasına neden olduğu gözlemlendi ($p<0,05$). Ayrıca; irrigasyon solüsyonlarının ekstrüzyon miktarlarının değerlendirildiği her iki deney düzeneğinde tüm irrigasyon iğnelerinde apikale yaklaşıldıkça taşan solüsyon miktarının arttığı tespit edildi ($p<0,05$). Aynı zamanda açık sistem deney düzeneğinde, kapalı sistem deney düzeneğine kıyasla çok daha fazla miktarda irrigasyon solüsyonunun taştığı belirlendi.

Mevcut çalışma koşulları göz önüne alındığında; kök kanal preparasyonunun ilk aşamalarında açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) irrigasyon iğnelerinin kullanılması ve özellikle apikale 3-mm yaklaşıldıktan sonra kapalı uçlu iğnelerle irrigasyona devam edilmesi solüsyonun periapikal dokulara taşmasının önlemesi ve aynı zamanda apikal üçlüde etkili smear tabaka ve debris uzaklaştırılması açılarından optimum irrigasyon prosedürü olarak tavsiye edilebilir.

Anahtar Kelimeler: iğne dizaynı; iğne yerleştirme derinliği; apikal ekstrüzyon; smear tabaka; debris

SUMMARY

REPUBLIC of TURKEY
SELCUK UNIVERSITY FACULTY of DENTISTRY

Effects of Different Needle Design and Needle Insertion Depths on Apical Third Cleaning of Root Canal and Apical Extrusion of Irrigants: *An In Vitro Study*

Dt. Nur ERBİL
Department of Endodontics

MASTER THESIS / KONYA-2020

The purpose of this PhD study is to evaluate the effects of irrigation needles with different designs that are used at different insertion depths on smear layer and debris removal at apical and their effects on extrusion of irrigation solutions.

Irrigation needles with different designs (open-ended beveled and notched surface, closed-ended single and double-hole) (n=80) were used 1, 2, 3 and 5 mm shorter than the working length (n=20). During the root canal shaping process, irrigation was performed with 2 ml of 5% NaOCl between each file at the insertion depths specified in each group. In the smear layer and debris control samples, 5 ml of 5% NaOCl, 5 ml of 17% EDTA and 5 ml of 5% NaOCl were used respectively. SEM images were taken from the apical third of each sample at x300 magnification for debris scoring and at x1000 magnification for smear layer scoring.

Two different experimental setups, open and closed were used to determine the amount of apical irrigation solution extrusion. In both experimental setups, irrigation needles with different designs (open-ended beveled and notched surface, closed-ended single and double-hole) were divided into 4 subgroups to be used (1, 2, 3 and 5 mm shorter than the working length) (n=20). During the final irrigation, 15 ml of 5% NaOCl was delivered to the root canal with a constant flow rate of 4 ml/min. In the closed system, the amount of solution overflow was determined as μl by using Na^+ and Cl^- ion molarities in the ISE (ion selective electrode) autoanalyzer. In the open system, the volume of the solution overflow in each sample was measured directly in using by micropipette (ml).

According to the results obtained, open-ended irrigation needles were more successful than closed-ended irrigation needles at all insertion depths in terms of smear layer and debris removal efficiency ($p<0.05$). When all irrigation needles were used at different insertion depths, both smear layer and debris scores were similar at 1, 2 and 3 mm ($p>0.05$) and they were lower than the group which irrigation was performed at 5 mm away from the working length ($p<0.05$).

Both open and closed systems where extrusion amount of the irrigation solutions were evaluated; it is observed that open-ended irrigation needles caused more solution overflow than closed-ended needles at all insertion depths ($p<0.05$). Also, in both experimental systems, the amount of overflowing solution was increased in all irrigation needles as the apical approached ($p<0.05$). In addition, it was determined that a greater amount of irrigation solution overflowed in the open system than the closed system.

Considering the current in-vitro study conditions, to prevent overflowing into the periapical tissues of solutions and to remove smear layer and debris at apical third effectively; it is recommended to use open-ended irrigation needles in the initial stages of the root canal preparation and continue the irrigation with closed-ended needles especially at the apical 3-mm.

Keywords: needle design; needle insertion depth; apical extrusion; smear layer; debris

1. GİRİŞ

Kök kanal tedavisinin esas amacı; çürük, travma veya iatrojenik nedenlerle ortaya çıkan pulpal ve periapikal hastalıkların ortadan kaldırılmasıyla, hasta için uzun süreli konfor, fonksiyon ve estetiğin sağlanması ve aynı zamanda kök kanal sisteminin yeniden enfekte olmasının engellenmesidir. Bu hedefe kök kanal sisteminin uygun biçimde şekillendirilmesi, temizlenmesi, özellikle apikalde üç boyutlu hermetik bir tıkanmanın sağlanması ve etkilenen dişlerin sızdırmaz şekilde restorasyonu ile ulaşılabilir (Torabinejad ve White 2016).

Mikroorganizmalar ve onların metabolik ürünleri; pulpal ve periradiküler problemlerin başlangıcında ve ilerlemesinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle endodontik tedavinin temel prensibi, özellikle apikal üçlüde, kök kanal sistemindeki mikrobiyal faktörleri kontrol etmektir (Nair ve ark 2005).

Kök kanal tedavi başarısızlığı çoğu kez ideale yakın olarak tedavi edilmiş dişlerde bile, canlı ya da nekrotik pulpa dokusunun tamamen uzaklaştırılamaması ve kök kanal sisteminin özellikle temizlenmesi nispeten daha zor olan apikal kısmında kalan inatçı mikroorganizmalar ile enfekte ve nekrotik doku artıklarından kaynaklanmaktadır. İsthmuslar, dallanmalar, düzensizlikler ve apikal deltalar nedeniyle oldukça kompleks olan kök kanal sisteminin temizlenmesinde tek başına mekanik preparasyon yetersiz kalmakta, mikroorganizma ve debris birikimleri için uygun alanlar barındırabilmektedir (Peters 2004). Nitekim yapılan çalışmalar, kök kanal preparasyonunda kullanılan yöntemlerden bağımsız olarak kemomekanik preparasyon esnasında dokunulmamış alanların varlığını göstermiştir. Yapılan çalışmalara göre bu oran %16-32 arasında değişmektedir (Peters ve ark 2001, Peters ve Paqué 2011, Versiani ve ark 2013, Bortoluzzi ve ark 2015, De-Deus ve ark 2015). Mekanik preparasyonla birlikte yapılan irrigasyon ile apikal periodontitise neden olan faktörler kontrol altına alınmaya çalışılsa da (Kahn ve ark 1995, Lee ve ark 2004) özellikle kök kanalının apikal kısmının temizliğinin; karmaşık kanal anatomisi, apikalde sınırlı dentin yüzey alanı, dentinin düşük permeabilitesi (Ribeiro ve ark 2010) ve vapor lock etkisi (Tay ve ark 2010) gibi nedenlerle oldukça güç olduğu belirtilmiştir (Ruddle ve ark 2007).

Yukarıda bahsedildiği üzere; sadece mekanik preparasyon ile kök kanallarındaki pulpa artıkları, debris ve smear tabaka uzaklaştırılamamakta ve aynı

zamanda dentin, organik ve inorganik ürünler içeren smear tabakası oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır (Şen ve ark 1995). Kök kanal tedavisi sırasında, artıkları temizlemek, organik dokuları çözmek, mikroorganizmaları öldürmek, mikrobiyal yan ürünleri yok etmek ve smear tabakasını uzaklaştırmak için etkili bir irrigasyon gereklidir. Irrigasyon kök kanal tedavisinin en önemli aşamalarından biridir (Peters ve ark 2006).

Günümüzde ideal irrigant özelliklerini taşıyan tek bir irrigasyon solüsyonu mevcut olmadığından, ideal irrigasyon genel olarak, uygun bir teknik kullanılarak iki veya daha fazla irrigasyon solüsyonunun bir arada kullanılması esasına dayanır (Desai ve Himel 2009). Kök kanal preparasyonu esnasında oluşan smear tabakanın organik ve inorganik bileşenlerinin uzaklaştırılması için final irrigasyonu olarak sodyum hipoklorit (NaOCl) ve etilendiamin tetra asetik asit (EDTA) yaygın olarak kullanılmaktadır (Carvalho ve ark 2008, Kuah ve ark 2009).

Irrigasyon solüsyonlarının birçoğunun sitotoksikite özellikleri mevcuttur. NaOCl doku çözme kabiliyeti ve biyofilmlere karşı güçlü antimikrobiyal etkisi nedeniyle en çok kullanılan irrigasyon solüsyonudur (Zehnder 2006, Dutner ve ark 2012). Bununla birlikte, yapılan *in-vitro* çalışmalarda %0.1'den düşük konsantrasyonlarda bile vital dokular ile temas ettiğinde kostik etki gösterebileceği bildirilmiştir (Pashley ve ark 1985). Bu nedenle, kullanımı kök kanal sistemi içerisinde sınırlandırılmalıdır. NaOCl'nin apikal foramen dışına taşması; şiddetli, hızlı ve uzun süreli ağrıya sebep olur (Haapasalo ve ark 2010). Yapılan araştırmalarda apikal ekstrüzyon insidansı düşük olarak gösterilse de (Spencer ve ark 2007, Crincoli ve ark 2008) doku hasarı ve ciddi semptomların gözlemlendiği pek çok vaka raporu mevcuttur (Balto ve Al-Nazhan 2002, Gernhardt ve ark 2004, Bowden ve ark 2006).

Irrigasyon solüsyonlarının yıkama etkisi organik artıklar, dentin debris ve mikroorganizmaların kanaldan uzaklaştırılmasına yardımcı olur (Baker ve ark 1975). Irrigasyon için farklı aktivasyon cihaz ve yöntemleri geliştirilmiş olmasına rağmen günümüzde geleneksel iğne irrigasyonu halen en sık kullanılan yöntem olup, yöntemin etkinliği büyük ölçüde iğne yerleştirme derinliği ve dizaynına bağlıdır (Chow 1983, Boutsoukis ve ark 2010e). Irrigasyon iğnesi apikale yaklaştıkça daha etkili bir irrigasyon sağlansa da, apikal ekstrüzyon olasılığı artmaktadır. Kök kanal

sisteminin özellikle apikal kısmında güvenlik ve etkinlik arasındaki denge önemli olduğundan bu durum özel bir dikkat ve özen gerektirmektedir (Park ve ark 2013).

Bu çalışmada farklı iğne dizaynı ve iğne yerleştirme derinliklerinin kök kanalının apikal üçlü temizliği ve irrigantların apikal ekstrüzyonu üzerine etkileri *in-vitro* olarak değerlendirilerek; elde edilen verilerle kök kanal sisteminin apikal kısmında smear tabaka ve debris temizleme etkinliği yanı sıra en az ekstrüzyona yol açan iğne dizaynı ve yerleştirme derinliği kombinasyonunun belirlenmesi amaçlanmaktadır.

1.1. Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyonun Önemi

Apikal periodontitisin ilerlemesinin durdurulması, bakterilerin ve yan ürünlerinin, organik ve inorganik artıkların kök kanal sisteminden uzaklaştırılması aynı zamanda üç boyutlu hermetik tıkama sağlamak amacıyla kök kanal sisteminin şekillendirilmesi, temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi işlemine *kemomekanik debridman* adı verilir (Chugal ve ark 2017). Kemomekanik debridman kök kanal tedavisi sırasında mekanik şekillendirme ve irrigasyon işlemlerinin birlikte yapılması ile sağlanır.

Endodontik tedavinin başarısı büyük oranda kök kanal sisteminin dezenfeksiyonuna ve debridmanına bağlıdır. Tek başına preparasyon, kök kanal sistemindeki bakteri ve debrisini tamamen yok edemez (Siqueira ve ark 2002). Mekanik preparasyon, enfekte olmuş dentinin kök kanalından uzaklaştırılmasında önemli olmakla birlikte; irrigasyon, kök kanalı boyunca yan ve aksesuar kanallar gibi aletler ile erişilemeyen alanlarda, vazgeçilmez bir rol oynamaktadır (Hasselgren ve ark 1988). İrrigasyon, mekanik preparasyonun yetersiz kaldığı alanlarda, kök kanal sisteminin temizliği ve dezenfeksiyonunu kolaylaştırdığından, kök kanal tedavisinin önemli bir parçası olarak kabul edilir (Peters ve ark 2001, Gulabivala ve ark 2005, Paqué ve ark 2010).

Mekanik preparasyonun amacı; kök kanal sistemindeki doku artıklarını ve bakterileri uzaklaştırmanın yanı sıra, kanal içi medikamentin yerleştirilmesi ve irrigasyon solüsyonlarının apikale ve koronale yer değiştirerek kök kanal ayrıntılarına nüfuz edebilmesi için kök kanal sisteminin yeterli miktarda genişletilmesidir (Gallottini 2017). Apikalden koronale doğru genişleyen tarzda yapılan şekillendirmeler, irrigasyon solüsyonunun apikal üçlüye daha kolay ve etkin

bir şekilde penetre olmasını sağlamaktadır ancak ne yazık ki dar kanalların apikal üçlüsünde yetersiz kalmaktadır (Gambarini 1999) .

Primer endodontik enfeksiyonlara mikroorganizmaların kolonize olduğu nekrotik pulpa dokusu neden olur (Jaiswal ve ark 2017). Apikal periodontitis biyofilm kaynaklı bir hastalıktır (Ricucci ve Siqueira Jr 2010). Kök kanal sisteminin ulaşılabilen alanlarındaki mikrobiyal biyofilmler inatçı enfeksiyonların primer nedenidir. Bu nedenle biyofilmin uzaklaştırılması kök kanal tedavisinin ana hedefidir (de Paz 2007). Biyofilmin karmaşık yapısı ve antimikrobiyal maddelere direnç göstermesi, kök kanal sisteminin temizlenmesindeki zorluklara katkı sağlar (Nair ve ark 2005). Enfekte olmuş kök kanalında, mekanik preparasyonun bakteri sayısını azaltmada en etkili olduğu gösterilmiş olmasına rağmen yeterli dezenfeksiyonun sağlanmasında tek başına yeterli değildir. İrrigasyon; bakterilerin eliminasyonunu artırması, nekrotik dokuların çıkarılmasını kolaylaştırması, enfekte artıkların apikalde birikmesini veya ekstrüze olmasını engellemesi ile kök kanal sisteminin temizlenmesine önemli katkılar sağlar (Zehnder 2006).

İrrigasyonun mekanik ve kimyasal etkisinin gerçekleşmesi için, irrigasyon solüsyonunun mikroorganizmalar ve debris ile yakın teması şarttır (Seal ve ark 2002, Haapasalo ve ark 2005). Geleneksel iğne irrigasyonunun sınırlı performansı sıklıkla irrigasyon solüsyonunun karmaşık kök kanal sisteminin tüm bölümlerine ulaştırılamamasına bağlanmıştır ancak bu konuda güçlü deneysel kanıtlar mevcut değildir (Ram 1977, Rosenfeld ve ark 1978, Druttman ve Stock 1989).

Kök kanal sistemi irrigasyonunun etkinliğinde 4 temel durum önem kazanmaktadır (Boutsioukis ve van der Sluis 2015):

- **Akış:** İrrigasyon sistemlerinin kök kanal sistemine girişiyle, mikroorganizmalar/biyofilm, sert doku debris, organik doku artıkları ile yakın temasa geçen solüsyon, ardından kanal girişine geri akışı aracılığıyla kök kanal sisteminden uzaklaşır. Aynı zamanda kanal içerisinde lubrikasyon sağlar.

- **İrrigasyon solüsyonunun yer değiştirme miktarı:** Solüsyonlar kimyasal etkisini daha çok irrigasyon solüsyonlarının aktif bileşenleri ile gösterir. Kimyasal etki, irrigasyon solüsyonlarının aktif bileşenlerinin konsantrasyonuna, temas alanına ve etkileşim süresine bağlıdır. Etkileşim sırasında irrigasyon solüsyonlarının aktif bileşenleri hızla tüketilir, bu nedenle konsantrasyon azalır (Moorer ve Wesselink

1982, Haapasalo ve ark 2000, Portenier ve ark 2002, Portenier ve ark 2006). İrrigasyon solüsyonlarının aktif bileşenlerinin yüksek konsantrasyonunu korumak ve etkinliğinin azalmasını telafi etmek amacıyla, irrigasyon solüsyonunun sık sık yenilenmesi optimum kimyasal etki için yardımcıdır. Böylece smear tabaka ve debris uzaklaştırılması da kolaylaşır.

- **Duvar kayma gerilimi:** Kök kanal duvarına kuvvet uygulanması sonucu oluşan duvar kayma gerilimi, kök kanalından mikroorganizmalar/biyofilm, debris ve doku artıklarının ayrılmasını sağlar (Goode ve ark 2013).

- **Güvenlik:** Etkili bir irrigasyon sağlanmasının yanı sıra periapikal dokulara irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonunun önlenmesi de amaçlanır (Boutsioukis 2010).

Kök kanal sistemi debridmanı, endodontik tedavinin başarısı için ideal bir gereklilik olarak kabul edilir. İrrigasyon solüsyonunun mekanik debridman etkinliği; sistemin/irrigasyon iğnesinin solüsyonu kanal boşluğunun apikal üçlüsüne ve aletlerin ulaşamadığı düzensiz bölgelere ulaştırabilme kabiliyetine aynı zamanda debris kök kanalından uzaklaştırabilmek için yeterince güçlü bir akım oluşturma yeteneğine dayanır. Bununla birlikte, pozitif basınçlı irrigasyon sistemlerinde bile irrigant değişimi iğne ucunun ötesinde 1-1,5 mm ile sınırlıdır ve etkili irrigasyon için gerekli olan türbülanslı sıvı akışını oluşturmak için yüksek bir akış hızı gerekir (Chow 1983, Sedgley ve ark 2005, Huang ve ark 2008, Boutsioukis ve ark 2009, Gao ve ark 2009).

Temizleme ve şekillendirme esnasında kökün etrafı kemik soketi ile çevrili olduğundan, kapalı uçlu bir kanal gibi davranır (Usman ve ark 2004, Gutarts ve ark 2005, Burleson ve ark 2007). Kapalı uçlu kök kanal sisteminin apikalinde sıkışan hava, irrigasyon solüsyonunun apikale ulaşmasına izin vermez (Migoun ve Azouni 1996, Pesse ve ark 2005, Burleson ve ark 2007). Bu durum *vapor-lock etkisi* olarak adlandırılır (Pesse ve ark 2005, de Gregorio ve ark 2009). İrrigasyon solüsyonu apikal foramenden ekstrüze olabileceği için açık bir kök kanal sisteminde bu gerçekleşmez (Gulabivala ve ark 2010). Aynı zamanda, yaygın bir irrigasyon solüsyonu olan NaOCl'nin, dentin duvarlarındaki organik dokuyu çözmesi sonucu açığa çıkan CO₂ (g) ve NH₃ (g) de bu etkiye katkıda bulunur (Vera ve ark 2012). İrrigasyon esnasında, kanal duvarı ve hava kabarcığı arasında likit bir film tabakası oluşur (Liao ve Zhao 2003). “Dead water zone” olarak adlandırılan bu alanda

irrigasyon solüsyonu yeterli miktarda yer değiştiremez. Bu durum, özellikle apikal bölgede debris retansiyonu ile sonuçlanır. Kapalı sistemlerde kemomekanik preparasyonun ardından, özellikle kökün apikal 1-mm'sinde smear tabakası ve doku artıkları yeterince temizlenememektedir (Tay ve ark 2010). İrrigasyon iğnesinin uç kısmı kök kanalının apikalinden uzağa doğru yerleştirildiğinde, hava sıkışması nedeniyle irrigasyon solüsyonunun apikal üçlüye ulaşması daha da zorlaşır (Boutsoukis ve ark 2014). İrrigasyon iğnesinin uç kısmı apikale yaklaştırıldığında ise, apikal ekstrüzyon olasılığı artar (Boutsoukis ve ark 2010c). Kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinin kullanımı da, vapor-lock etkisinin önlenmesine önemli bir katkıda bulunmaz. Vapor-lock etkisinin önüne geçerek, irrigasyon solüsyonlarının aktivitesini ve etkinliğini arttırmak için çeşitli irrigasyon aktivasyon yöntemleri önerilmiştir (Bansode ve Patil 2019). Etkili bir irrigasyon için, irrigantın kök kanal duvarının tüm yüzeyi ile temas etmesi gerekir. Fakat vapor-lock etkisi irrigasyon solüsyonunun apikal üçlüdeki kök kanal dentin yüzeyine temasını zorlaştırır (Zehnder 2006).

Kök kanal sisteminin apikal üçlünün dentin duvarının doğal yapısı gereği, alan başına düşen dentin tübülü sayısı daha azdır ve düzensizdir (Whittaker ve Kneale 1979). Carrigan ve ark (1984) apikal üçlüde smear tabakanın çıkarılmasındaki zorlukların nedenini, kök kanalının koronal ve orta üçlüsüne kıyasla daha skleroz yapısı ve dentin tübüllerinin daha küçük boyutu olarak bildirmişlerdir. Koronal ve orta üçlüdeki dentin tübülleri büyük çaplara sahip olduğundan daha fazla miktarda irrigasyona maruz kalır ve böylece smear tabaka ve debris uzaklaştırılması kolaylaşır (Schäfer ve ark 2004, Huang ve ark 2008, Kamel ve Kataia 2014).

1.2. Smear Tabakası

Smear tabakasının fark edilmesi, ilk kez Eick ve ark (1970) tarafından SEM (Scanning Electron Microscope) altında, kalınlığı 0.5-15 µm arasında değişen partiküllerin gözlemlenmesi ile olmuştur. Johnson ve Brännström (1974) ise kavite preparasyonunun ardından, ince bir kalıntı tabakasının varlığından söz etmişlerdir. Kök kanal sistemindeki smear tabakası ise McComb ve Smith (1975) tarafından, preparasyondan sonra kök dentininin SEM ile incelenmesi sonucunda tarif edilmiştir. NaOCl irrigasyonu tam olarak uzaklaştırılamadığından bunun esas olarak inorganik dentinden oluştuğu sonucuna varılmış ve bu sebeple Lester ve Boyde (1977)

tarafından “translokasyona uğramış inorganik dentin içerisinde hapsolmuş organik madde” olarak tanımlanmıştır. Kök kanallarının mekanik preparasyonu ve temizlenmesi sırasında oluşan, tamamen uzaklaştırılması mümkün olmayan, kanal duvarlarını örten amorfoz, düzensiz ve granüler katman *smear tabaka* olarak adlandırılır (McComb ve Smith 1975, Peeters ve Suardita 2011).

Yapılan araştırmalar smear tabakasının, intertübüler dentin ve dentin tübüllerinin ağızlarını kaplayan, dentine daha gevşek tutunan 1-2 µm kalınlığındaki *yüzeyel tabaka* ve daha derinde dentin tübüllerinin iç kısmına ulaşan 6-40 µm kalınlığındaki *derin tabaka* olmak üzere iki tabakadan oluştuğunu göstermektedir (Mader ve ark 1984). Smear tabakasını oluşturan partiküllerin kalınlığı kullanılan aletin şekli, yapısı ve kesme etkinliğine, dentinin ıslak ya da kuru olmasına, kullanılan solüsyonun yapısı ve miktarına, kök kanalının şekli ve büyüklüğüne göre değişir (Barnes 1974, Gilboe ve ark 1980, Pashley 1984, Boutsoukis ve ark 2010e). Kullanılan alet merkezden uzaklaşıp kök kanal duvarına yaklaştıkça, daha kalın ve dirençli bir smear tabakası oluşur (Jodaikin ve Austin 1981). Gates-glidden ve post yuvası açan frezler hacimce daha fazla smear tabaka oluşmasına neden olmaktadır (Czonstkowsky ve ark 1990).

Smear tabakanın penetrasyon derinliği, dentin tübülleri ile arasındaki adeziv kuvvet sonucu oluşan kapiller hareketten etkilenir (Cengiz ve ark 1990). Kapiller hareket hipotezini destekleyen bir çalışmaya göre, kullanılan irrigasyon solüsyonuna bağlı olarak bu derinlik 110 µm’ye kadar ulaşabilmektedir (Aktener ve ark 1989).

Smear tabakasında, mekanik şekillendirmenin ilk aşamasında vital ve nekrotik pulpa dokusu içeriği nedeniyle, organik doku miktarı daha fazla olsa da daha çok mineralize dentin dokusunun el aletleri ve döner aletler tarafından parçalanması sonucu oluşur (Cameron 1988). Bu tabakanın bileşenleri henüz tam olarak belirlenemese de dentin debris, pulpa dokusu artıkları, odontoblastik uzantılar, mikroorganizmalar, kan hücreleri gibi organik ve inorganik bileşenlerden oluşmaktadır (Violich ve Chandler 2010).

1.2.1. Kök Kanal Tedavisinde Smear Tabakanın Uzaklaştırılmasının Önemi

Smear tabakanın kök kanal sisteminden uzaklaştırılması ya da bırakılması gerektiği ile ilgili görüşler tartışmalıdır (Williams ve Goldman 1985, Shahravan ve ark 2007). Bazı araştırmacılar, smear tabakanın varlığının endodontik tedavinin

başarı oranını arttırdığını savunmaktadır. Smear tabakanın dentin tübüllerine bakteri invazyonu için tıkaç oluşturduğu (Vojinovic ve ark 1973), tam bir tıkaç oluşturamasa da bakteri invazyonunu yavaşlattığı (Williams ve Goldman 1985) dolayısıyla bakterilerin dentin tübüllerine penetre olmasının güçleştiği belirtilmiştir (Michelich ve ark 1980, Diamond 1984). Aynı zamanda restoratif işlemler sırasında oluşan smear tabakanın koruyucu bir tabaka olarak görev yaptığı ve kaldırılmasının dentin geçirgenliğini arttırabileceği (Pashley ve ark 1981) de bildirilmiştir. Smear tabakanın yapısı ve hacmi çeşitli etkenlere göre farklılık göstermesine rağmen (Cergneux ve ark 1987), albumin gibi büyük moleküllere bile geçirgen olabileceği gösterilmiştir (Pashley ve Livingston 1978). Bu nedenle bu tabaka, bakterilere karşı sıkı bir engel teşkil etmemektedir (Uitto ve ark 1988). Görüş farklılıklarına rağmen, yapılan pek çok çalışma smear tabakanın uzaklaştırılması gerektiği yönünde güçlü bulgular sunmaktadır.

Smear tabaka bakteriler, bakteri yan ürünleri, nekrotik doku artıkları içermektedir. Kök kanalı ileri derecede enfekte olduğunda, bakteriler smear tabakasını substrat olarak kullanarak dentin tübüllerinin daha derinlerine ilerlerler (Brännström 1984, George ve ark 2005).

Smear tabakasının belirli bakteriler tarafından salınan proteolitik enzimler tarafından parçalanmasının ardından, dolum materyali ile kanal duvarı arasında, diğer bakteri türlerinin ve bunların yan ürünlerinin dentin tübüllerine ve periradiküler dokuya geçişine izin veren bir boşluk oluşacaktır ve bu durumun endodontik tedavinin başarısızlığına neden olabileceği üzerinde durulmuştur (Ford ve Roberts 1990).

Kemomekanik preparasyona rağmen, smear tabakasının içerisindeki bakteriler dentin tübüllerinin içerisinde kalabilmekte, çoğalmaya devam edip kolonileşmekte ve mikrobiyal rezervuar oluşturup, dentin tübülleri içerisine penetre olmaktadır (Vojinovic ve ark 1973). Bu nedenle dentin tübüllerinin derinlerinde bulunan bakterilerin eliminasyonu için kemomekanik preparasyonun kanal içi medikamentlerin kullanımı ile desteklenmesi önerilir (Byström ve Sundqvist 1981, Byström ve Sundqvist 1983, Byström ve ark 1985). Yapılan *in-vitro* bir çalışmada smear tabakanın uzaklaştırılmasıyla kanal içi medikamentlerin dezenfekte edici

etkisini göstermesi için gereken sürenin kısaldığı da bildirilmiştir (Ørstavik ve Haapasalo 1990).

Araştırmalar, smear tabakanın; irrigasyon solüsyonlarının, medikamentlerin ve kanal patlarının dentin tübüllerine nüfuz etmesini engellediğini ve böylece kök kanallarının sızdırmazlığını, dezenfeksiyonunu ve dolgu materyallerinin kök kanal yüzeyine adaptasyonunu tehlikeye attığını göstermiştir (Kennedy ve ark 1986, Foster ve ark 1993, Machado ve ark 2018). Aynı zamanda periapikal dokudaki iyileşme ile smear tabakasının uzaklaştırılması arasında da doğru orantı mevcuttur (Ng ve ark 2011). Bu nedenle endodontik tedavi sadece pulpa ve artıklarının uzaklaştırılıp kök kanalının genişletilmesi olarak düşünülmemeli aynı zamanda smear tabakanın uzaklaştırılmasına da odaklanılmalıdır (Scelza ve ark 2004).

1.2.2. İrrigasyonun Smear Tabaka Uzaklaştırılmasına Etkisi

Kök kanal tedavisinin esas amaçlarından birisi, özellikle enfekte dişlerde debris, mikroorganizmalar ve ürünlerinin biyomekanik preparasyonla ortadan kaldırılmasıdır. Ancak preparasyon ve etkili irrigasyon sonrasında bile kök kanal sisteminin tam sterilizasyonunu sağlamak mümkün değildir.

Kök kanal preparasyonu ile hem organik hem de inorganik materyaller içeren ve kök kanal duvarı yüzeyini kaplayan smear tabaka oluştuğu bilinmektedir (Czonstkowsky ve ark 1990). Endodontik aletlerin temas etmediği yüzeylerde smear tabaka oluşmadığı ve bu yüzeylerde kanal içinde bol miktarda bulunan kalkosferlere ve tomurcuk benzeri yapılara rastlandığı belirtilmiştir (McComb ve Smith 1975, Peters ve ark 2006).

Smear tabakanın kendisi enfekte olabilir ve dentin tübülleri içerisinde bakterileri barındırabilir (Torabinejad ve ark 2002). Bu, endodontik tedavinin sonucunun, bakterilerin ve yan ürünlerinin kök kanal sisteminden çıkarılmasına bağlı olduğu enfeksiyonlu kök kanal sistemi olan dişlerde daha büyük önem taşımaktadır (Clark-Holke ve ark 2003). Bu nedenle, smear tabakanın çıkarılması endodontik tedavi başarısı için kaçınılmazdır ve kök kanal preparasyonu sırasında çeşitli kimyasal solüsyonların kullanılmasıyla elde edilir (Vallabhaneni ve ark 2017).

Smear tabakanın çıkarılmasının irrigasyon solüsyonlarının ve kanal içi medikamentlerin kök kanal sistemine penetrasyonunu arttırdığına, dolum

materyalinin kök kanal duvarına başarılı bir şekilde adaptasyonunu sağladığına ve böylece mikrosızıntının azaldığına inanılmaktadır (Galvan ve ark 1994, Economides ve ark 1999). Smear tabakanın uzaklaştırılarak, dolum materyallerinin kök kanalına sıkı adaptasyonunun sağlanması endodontik tedavi prognozunu önemli ölçüde etkilemektedir (Türker ve ark 2018, Buurma ve Buurma 2020). Bu amaçla, kanal içi medikament yerleştirmeden ve dolum işleminden önce final irrigasyonu olarak çeşitli solüsyonlar kullanılır.

NaOCl, smear tabakanın organik kalıntılarını yok etme yeteneğine sahiptir. Bununla birlikte, smear tabakanın inorganik kısmı ancak dekalsifiye edici ajan, asit veya bir şelasyon ajanı kullanılarak uzaklaştırılabilir (Lester 1977, Galvan ve ark 1994). Bu nedenle, smear tabakanın etkili bir şekilde uzaklaştırılması ve ayrıca antimikrobiyal aktivitenin artırılması için NaOCl ve farklı şelasyon ajanlarının birlikte kullanımı önerilir (Lottanti ve ark 2009).

Endodontik tedavi başarısı için gerekli olan etkili bir irrigasyon için; uygun irrigasyon solüsyonları ve bu solüsyonların kök kanal sistemine özellikle de apikal üçlüdeki isthmuslar, dallanmalar ve yan kanallara yayılmasını sağlayacak sistemler gereklidir (de Gregorio ve ark 2010). Son yıllarda irrigasyon solüsyonlarının etkinliğini artırarak smear tabakanın uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak amacıyla irrigasyon aktivasyon sistemleri de geliştirilmiştir. Bu sistemlerin etkinliği kadar solüsyonları kök ucundan taşımadan güvenli bir şekilde kök kanalının apikaline iletme yetenekleri de önemlidir (Gary Glassman 2011).

İrrigasyon işleminin temizleme etkinliğini pozitif veya negatif olarak etkileyen fiziksel faktörler; reaksiyon hızı yani irrigasyon solüsyonunun etki edeceği süre (Macedo ve ark 2010), kayma gerilimi (Goode ve ark 2013) ve vapor-lock etkisidir (Boutsioukis ve ark 2014). Reaksiyon hızını NaOCl'nin kimyasal özellikleri belirlerken (Macedo ve ark 2014); vibrasyon hareketi, akustik akış ve kavitasyon gibi aktivasyon sistemleri ya da irrigasyon iğneleri ile elde edilen mekanik hareketler de (Van der Sluis ve ark 2007) solüsyonunun kök kanal sistemi içerisindeki kayma gerilimini arttırıp apikalde sıkışan havanın yer değiştirmesini sağlayarak smear tabakanın kaldırılmasında daha güçlü bir etki oluşturulmasına yardım ederler (Boutsioukis ve ark 2010e).

1.3. Smear Tabaka Uzaklaştırmada En Yaygın Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları

1.3.1. Sodyum Hipoklorit (NaOCl)

Yüksek antimikrobiyal etkinlik, periapikal dokular için non-toksik olma, suda çözünbilme ve organik dokuyu çözebilme irrigasyon solüsyonlarında aranan dört temel özelliktir. NaOCl, doku çözebilme kapasitesi ve iyi bilinen antimikrobiyal aktivitesi nedeniyle endodontik tedavi sırasında en yaygın kullanılan irrigasyon solüsyonudur (Zehnder 2006, Stojicic ve ark 2010, Bolfoni ve ark 2014). NaOCl geniş bir antimikrobiyal spektruma sahiptir. Mikroorganizmalar üzerinde spesifik olmayan öldürme etkisi yanında, sporlar ve virüslere de etki gösterir (McDonnell ve Russell 1999). Aynı zamanda mantarlar ve biyofilmler üzerine etkileri de kanıtlanmıştır (Waltimo ve ark 1999, del Carpio-Perochena ve ark 2011).

NaOCl, mekanik preparasyonla ulaşılamayan alanlarda pulpa kalıntılarını (Só ve ark 2011, Taneja ve ark 2014) ve spesifik olmayan proteolitik etki (Mohammadi 2008) ile dentinin organik bileşenlerini çözme yeteneğine sahiptir (Baumgartner ve Mader 1987). Aynı zamanda NaOCl, nekrotik dokular üzerinde, vital dokulara göre çok daha fazla doku çözücü etki gösterir (Andersen ve ark 1992, McDonnell ve Russell 1999). NaOCl'nin bu etkisi yağ asitleri ve lipidlerin, sabun (yağ asidi tuzları) ve gliserole (alkol) yıkımı ile sonuçlanan sabunlaşma (saponifikasyon) reaksiyonu ile meydana gelir (Estrela ve ark 2002).

Vallabhaneni ve ark (2017), tek başına %5.25'lik NaOCl' nin kök yüzeyinden gevşek, yüzeyel ve organik debrisin uzaklaştırılmasında başarıyla, smear tabakanın çıkarılmasında yetersiz kaldığını göstermişlerdir ve diğer çalışmalar da bu sonucu desteklemektedir (Yamada ve ark 1983, Baumgartner ve ark 1984, Vallabhaneni ve ark 2017). NaOCl'nin smear tabakanın organik bileşeni üzerindeki belirgin etkisinden bağımsız olarak, inorganik kısmı üzerinde etkisi yoktur (Kandaswamy ve Venkateshbabu 2010). Fakat yine de nekrotik doku ve smear tabakanın organik kısmını uzaklaştırma yeteneği ile kök kanal tedavisinde önemli bir yere sahiptir ve herhangi bir başka irrigantın daha etkili olduğunu kesin olarak gösteren bir çalışma bulunmamaktadır (Walker 1936).

NaOCl'nin kök kanal sistemine nüfuz etme kabiliyeti yüzey gerilimi düşürülerek arttırılabilir (Palazzi ve ark 2012). Kök kanal sistemine etkili

penetrasyon sağlayabilmek için, son çalışmalar sürfaktanların irrigasyon solüsyonları üzerine olan etkisine odaklanmıştır. Sürfaktan ajanların irrigasyon solüsyonlarına eklenmesi, yüzey gerilimini azaltarak, kök kanallarını ıslatma kabiliyetini ve difüzyonunu artırabilir ve böylece smear tabakanın uzaklaştırılmasını kolaylaştırılabilir (Bukiet ve ark 2012, Rossi-Fedele ve ark 2013). Yapılan bir çalışma NaOCl'ye sürfaktan madde eklenmesinin, kök kanallarının servikal ve orta üçlüsünden smear tabakanın daha iyi uzaklaştırılmasına olanak sağladığını göstermiştir (Guneser ve ark 2017).

NaOCl'nin doku çözücü etkisi ve debridman özellikleri; çözeltinin konsantrasyonu, hacmi, temas süresi, sıcaklığı, pH'ı ve aynı zamanda temas ettiği dokunun yüzey alanına da bağlıdır (Hand ve ark 1978, Abou-Rass ve Oglesby 1981, Moorer ve Wesselink 1982, Stojicic ve ark 2010).

NaOCl'nin kök kanal tedavisinde %0.5-6 arasında değişen konsantrasyonlarda kullanılması önerilmektedir (Baumgartner ve Cuenin 1992). Önceki çalışmalar, NaOCl çözeltisinin doku çözme yeteneğinin, konsantrasyonla birlikte arttığını göstermiştir (Hand ve ark 1978, Türkün ve Cengiz 1997). Bununla birlikte, yüksek konsantrasyonlarda kullanılması olası bir ekstrüzyon durumunda periapikal doku için toksik etki oluşturur (Mehra ve ark 2000, Gernhardt ve ark 2004, Barnhart ve ark 2005). Bu nedenle düşük konsantrasyonda, daha fazla miktarda NaOCl kullanımı ile oluşan serbest klor iyonu miktarının artması ile istenen antimikrobiyal etki meydana gelirken, sitotoksosite açısından daha güvenli olduğu bildirilmiştir (Dakin 1915).

Sıcaklığın arttırılmasının NaOCl solüsyonunun organik doku ve dentin debris üzerindeki etkinliği arttırdığı konusunda genel bir fikir birliği mevcuttur (Abou-Rass ve Oglesby 1981, Sirtes ve ark 2005, Rossi-Fedele ve De Figueiredo 2008). Düşük konsantrasyona sahip solüsyonun ısıtılarak kullanılmasının, kısa süreli stabilite üzerinde etkisi olmadan doku çözme kapasitesi, organik debris giderme etkinliği ve antibakteriyel özelliği arttırdığı belirtilmiştir (Stojicic ve ark 2010). NaOCl potansiyel olarak toksik olduğundan, artan konsantrasyonla artan toksisitesi ve temasta dokuda irritasyona neden olma eğilimi nedeniyle, daha yüksek sıcaklıkta düşük konsantrasyonda kullanılması tercih edilebilir (Hauman ve Love 2003, Zou ve ark 2010).

1.3.2. Etilendiamin Tetra Asetik Asit (EDTA)

Şelasyon ajanları, metal iyonlarının organik maddelere halka şeklindeki bağlarla tutunduğu kararlı bileşiklerdir. Bu stabilite, şelasyon ajanındaki, birden fazla serbest elektron çifti ve merkezi metal iyonu arasındaki bağın sonucudur (Yoshida ve ark 1995). Şelasyon ajanlarının endodontide ilk kez kullanımı ise, %15'lik EDTA çözeltisinin (pH=7.3) kullanılmasını öneren Nygaard-Ostby (1957) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Dentinin inorganik bileşenleri olan fosfat ve kalsiyum gibi liyofobik maddeler bile suda çözünebilir. Bu çözünebilirlik EDTA gibi şelasyon ajanları eklendiğinde, kalsiyum iyonlarının dentinden ayrışması ile sonuçlanır. Sonrasında EDTA, kalsiyum ile kararlı bir bileşik oluşturur. Böylece şelasyon ajanları, dentinin dekalsifikasyonuna neden olur (Ostby 1957). Ortamda mevcut tüm kalsiyum iyonları bağlandığında denge oluşur ve daha fazla çözünme olmaz. Seidberg ve Schilder (1974), gravimetrik analizler kullanarak EDTA'nın özelliklerinin kendi kendini sınırladığını göstermişlerdir.

Smear tabaka çoğunlukla inorganik bileşenlerden oluştuğundan sadece NaOCI ile irrigasyon, smear tabakanın uzaklaştırılmasında çok az etkiye sahiptir ve bu etki büyük oranda asitlerin ve şelatörlerin yardımıyla gerçekleştirilir (Yamada ve ark 1983, Koçkapan 1987). Smear tabaka bileşenleri, büyük bir yüzey/kütle oranına sahip küçük parçacıklar olduğundan asitlerde yüksek oranda çözünürler (Pashley 1992). Bu solüsyonlar birlikte kullanıldıklarında hem temizleme etkinliği (Baumgartner ve Mader 1987, Stewart 1998) hem de antimikrobiyal etki (Byström ve Sunqvist 1985) daha büyüktür.

Yapılan çok sayıda çalışmada %17'lik EDTA solüsyonu ile irrigasyonun kök kanalı duvarları üzerinde başarılı bir temizleme etkisi olduğunu aynı zamanda smear tabakasının uzaklaştırılmasının ardından peritübüler dentinin çözünmesiyle dentin tübüllerinin açıldığı bildirilmiştir (McComb ve Smith 1975, Berg ve ark 1986, Baumgartner ve Mader 1987, Aktener ve Bilkay 1993, Scelza ve ark 2000). Hatta bazı çalışmalar dentinal tübüllerde erozyon meydana geldiğini tespit etmiştir (Calt ve Serper 2002, Torabinejad ve ark 2002). Pawlicka ve ark (1981), EDTA kullanımından sonra kök kanal duvarının kanal boyunca temiz olduğunu bildirmişlerdir. Bazı araştırmacılar da temizlik etkisinin apikale doğru azaldığını,

koronal ve orta üçlüde daha başarılı olduğunu göstermişlerdir (Baker ve ark 1975, Hülsmann ve ark 2002, Lim ve ark 2003).

Dentin tübüllerinin yoğunluğu apekse doğru azaldıkça, dentin geçirgenliği de azalır (Fraser 1974). Ayrıca kök dentininin mineralizasyonu, tüm kök yüzeyinde aynı değildir. Apikal dentin daha sklerotik ve mineralizasyonu daha fazladır (Vasiliadis ve ark 1983). Bu durum, şelasyon ajanlarının özellikle apikal üçlüde etkinliğinin azalması ile sonuçlanır.

EDTA, sadece kalsiyum iyonlarını değil aynı zamanda nötr pH'ta suda çözünebilen non-kolajenöz protein ve fosfoproteinleri de uzaklaştırabilir (Kuboki ve ark 1979). Non-kolajenöz organik matrisin içeriği, diş kökünün apikal kısmında azalmaktadır, bu durum kökün apikalinde daha düşük düzeydeki dekalsifikasyonu açıklayabilir (Hülsmann ve ark 2003).

Kök dentini yüzeyinde istenen etkinin ancak her bir yüzey alanı için, yeterli miktarda aktif madde ve yeterli zaman mevcut olduğunda, kompleks oluşumu ile elde edilebileceği bildirilmiştir. Yapılan çalışmalar, şelasyon ajanlarının etkilerinin kök kanalının genişliğine bağlı olduğunu, dar kanallara ulaşan solüsyon miktarı ve bu bölgelerdeki yüzey alanı yetersiz olduğundan, aktif maddenin etkisiz kalabileceğini göstermişlerdir (Wandelt 1961, Wandelt 1965).

1.4. Kök Kanal İrrigasyon Teknikleri

1.4.1. Manuel İrrigasyon Teknikleri

1.4.1.1. İğne ya da Kanül ile Yapılan İrrigasyon

Geleneksel iğne irrigasyonu halen pratisyen diş hekimleri ve endodontistler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Dutner ve ark 2012, Willershausen ve ark 2015). Bu teknik, şırınga içerisindeki irrigasyon solüsyonunun farklı çaplardaki iğneler ya da kanüller yoluyla, pasif veya aktif olarak kanal içerine verilmesini içerir. Bu yöntem yaygın olarak kök kanalının apikal üçte birinde pozitif bir basınç gelişmesi nedeniyle pozitif basınçlı irrigasyon yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Boutsioukis ve van der Sluis 2015). Kök kanal sisteminin etkili bir şekilde temizlenmesi ve apikal kısımda debris ve smear tabaka birikmesini önlemek için küçük çaplı bir iğne ile kök kanalı aralıklı olarak yıkanmalıdır (Van der Sluis ve ark 2006, Haapasalo ve ark 2010).

Geleneksel iğne irrigasyonunun avantajlarından biri, iğne yerleştirme derinliğinin ve kanal içerisine gönderilen solüsyon hacminin hekim tarafından kontrolüne olanak vermesidir. Enjeksiyon için kullanılan şırınganın hacmi 1-20 ml arasında değişkenlik gösterebilir (Van der Sluis ve ark 2006). İrrigasyon sırasında hekimin şırınga pistonuna uyguladığı dokunma kuvveti, irrigasyon solüsyonuna iletilir. Bu durum farklı boyutta şırıngalar kullanıldığında, farklı miktarda basınç uygulanması gerekliliğini doğurur. Şırınganın içinde gelişen basınç aynı olsa bile, hekim pistonu itmek için farklı zorluk seviyeleri hissedecektir. Daha büyük şırıngaların kullanılması sırasında basıncın kontrolü daha zordur. Kullanılan şırınganın boyutuna klinik uygulamalarda çok dikkat edilmese de, pistonu uygulanan basıncı etkileyerek irrigasyon solüsyonunun akış hızında değişime yol açabilir (Boutsioukis ve ark 2007a).

Endodontik tedavi için önceki yıllarda 23-25 gauge(G)'lik irrigasyon iğneleri kullanılmıştır. Bu irrigasyon iğnelerinin, geniş kanallarda bile apikal üçlüye ulaşması güçtür (Salzgeber ve Brilliant 1977, Teplitsky ve ark 1987, Brunson ve ark 2010). Günümüzde endodontik amaçla tercih edilen irrigasyon iğnelerinin çapı 27-31 G arasında değişmektedir (Nguy ve Sedgley 2006, Bronnec ve ark 2010, Beus ve ark 2012). İrrigasyon yapılırken iğne ucunun kök kanalında sıkışmaması aynı zamanda irrigasyon solüsyonunun ve açığa çıkan debrisin koronale doğru geri akışını sağlayarak apikal ekstrüzyonu önlemek için, iğnenin ileri-geri hareket ettirilerek aktive edilmesi önerilir (Hu ve ark 2019).

Bununla birlikte, geleneksel iğne irrigasyonunun mekanik temizleme etkisi nispeten zayıftır. Yapılan araştırmalar irrigasyon solüsyonun kapalı uçlu irrigasyon iğnesinin yaklaşık olarak 1 mm uzağına kadar ulaşabildiğini göstermiştir (Gulabivala ve ark 2010). Bu durum debris ve bakteri bulunduran kanal düzensizliklerinin, yan kanalların, apikal deltaların etkili debridmanı zorlaşmaktadır (Wu ve Wesselink 2001, Nair ve ark 2005, Wu ve ark 2006). Aynı zamanda birçok çalışma, geleneksel iğne irrigasyonunun, EndoVac, sonik veya ultrasonik aktivasyon sistemlerine göre daha fazla apikal ekstrüzyona yol açabileceğini belirtilmiştir (Tasdemir ve ark 2008, Desai ve Himel 2009, Mitchell ve ark 2010, Mitchell ve ark 2011).

1.4.1.2. Endodontik Fırçalar

EndoBrush (C&S Microinstruments Ltd., Markham, Ontario, Kanada), el eğelerine benzer şekildeki plastik sap kısmına bükülmüş bir telin yerleştirildiği, tüm uzunluk boyunca nispeten sabit çapa sahip, naylon kıllardan oluşan spiral bir endodontik fırçadır. Boyutu nedeniyle, tam çalışma uzunluğunda kullanılması güç olduğundan, fırçalamadan sonra apikal kısımda debris birikmesine neden olabilir. Fakat yapılan bir çalışmada kanal duvarındaki debris ve kalıntıları uzaklaştırmak etkili olabileceği gösterilmiştir (Keir ve ark 1990).

Fırça ile kaplı, 30 G, hem irrigasyon hem de aktivasyona olanak veren irrigasyon iğneleri (NaviTip FX; Ultradent Products Inc, South Jordan, UT, USA) de mevcuttur. NaviTip FX'in kullanıldığı bir çalışmada koronal ve orta üçlüdekine benzer etki göstererek, apikal üçlüde smear tabaka ve debris büyük oranda uzaklaştırdığı tespit edilmiştir. Sürekli olarak kanal sistemine irrigasyon solüsyonunun verilmesi, irrigasyon esnasında ileri-geri hareketler ile aktif fırçalama daha iyi bir mekanik debridmana olanak verir (Goel ve Tewari 2009). Al-Hadlaq ve ark (2006) ise koronal üçlüde debris ve smear uzaklaştırma etkinliğinin, apikal ve orta üçlüye göre daha fazla olduğunu göstermişlerdir. Yapılan bu çalışmada NaviTip FX fırçalama yapmaksızın kök kanalı içerisinde pasif olarak kullanılmıştır.

1.4.1.3. Güta-perka Kon ile Yapılan Manuel Dinamik İrrigasyon

Bir irrigasyon solüsyonunun ya da sisteminin mekanik ve kimyasal etkinliği büyük ölçüde kök kanal sistemi ile temasına bağlıdır (Zehnder 2006). Kök kanalının üç boyutlu yapısına tam olarak adapte olan güta-perkanın, irrigasyon solüsyonu yerleştirilmiş kök kanalı içerisindeki ileri-geri hareketleri ile meydana gelen hidrodinamik aktivite sayesinde solüsyonun kanal duvarları ile daha iyi temas ettiği bildirilmiştir (Huang ve ark 2008, McGill ve ark 2008).

İrrigasyon iğnesi ile aktivasyona göre, kanala uyumlu güta-perka ile aktivasyon, irrigasyon solüsyonu penetrasyonunu ve etkilenen yüzey alanını arttırdığından daha etkili bulunmuştur (Gulabivala ve ark 2010). Boyalı kolajen film modeli üzerinde statik irrigasyona kıyasla, çalışma boyundan 1 mm kısa yerleştirilen güta-perkayla 1 Hz'lik frekansta yapılan dinamik aktivasyon, kolajenin uzaklaştırılmasında daha etkili olmuştur (Huang ve ark 2008). Yapılan birçok farklı çalışmada manuel dinamik irrigasyonun geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha

etkili bir yöntem olduğu bildirilmiştir (Cecic ve ark 1984, Goodman ve ark 1985, Druttman ve Stock 1989).

1.4.2. Cihaz Destekli İrrigasyon Teknikleri

1.4.2.1. Döner Aletler ile Kullanılan Fırçalar

Kök kanal duvarlarındaki smear tabakasını uzaklaştırmak için kemomekanik preparasyonun ardından kullanılmak üzere, polipropilen ile kaplanmış son derece esnek bir mikrofırça olan CanalBrush (Coltene, Whaledent, Langenau, Almanya) üretilmiştir. Manuel olarak kullanılabilse de, 600 rpm’de çalışan bir anguldurvaya takıldığında daha etkilidir (Gu ve ark 2009). Kök kanal sisteminin dar kısımlarında, apikal ve orta üçlüde, kök kanal yüzeyine daha iyi temas ettiği için daha etkili olduğu düşünülmektedir. Fakat smear tabaka uzaklaştırmada yeterli bulunmamıştır (Garip ve ark 2010).

1.4.2.2. Döner Sistemlerle Eğelemede Kullanılan Sürekli İrrigasyon

Quantec-E, mekanik preparasyonla eşzamanlı irrigasyon yapılmasına da imkan veren döner alet şekillendirme sistemidir. Bu sistemin, geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha fazla miktarda irrigasyon solüsyonunun daha hızlı bir şekilde kök kanal sistemine ulaşmasına ve yer değiştirmesine olanak vermesine rağmen kök kanal debridmanı açısından benzer etkinlik gösterdiği ileri sürölmüştür (Walters ve ark 2002, Setlock ve ark 2003).

1.4.2.3. XP-Endo Finisher

XP-Endo Finisher (FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, İsviçre), apikal çapı #25 ve taperı 00 olarak üretilmiş, orijinal kök kanal anatomisini koruyup, üç boyutlu yapısına uyum sağlayarak, mekanik preparasyonun ardından kök kanal sisteminin temizliğini arttırmak için önerilen endodontik eğe sistemidir (Leoni ve ark 2017). Yapılan çalışmalarda sert doku debrisini ve smear tabakasını etkin bir şekilde uzaklaştırdığı bildirilmiştir (Elnaghy ve ark 2017).

Kapalı kök kanal sisteminin taklit edildiği bir çalışmada pasif ultrasonik irrigasyon ve XP-Endo Finisher’ın apikal ekstrüzyon riskini arttırmadığı desteklenmiştir (Sarıılmaz ve Keskin 2018). Başka bir çalışmada ise geleneksel iğne irrigasyonu ve XP-Endo Finisher’in, irrigant ekstrüzyonu açısından benzer güvenlik seviyelerine sahip olduğu gösterilmiştir (Azim ve ark 2018).

1.4.2.4. Sonik Sistemler

Sonik cihazlar, ultrasonik sistemlerden daha düşük frekans hızında çalışan, Vibringe (Cavex Holland BV, Haarlem, Hollanda) ve EndoActivator (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, ABD) ve son yıllarda geliştirilen EDDY (VDW, Münih, Almanya) sistemlerini içerir.

EndoActivator, taşınabilir bir mikromotor, sağlam ve esnek yapıya sahip, dentinde kesme işlemi yapmayan 0.2 #15, 0.4 #25, 0.4 #35 taper ve çapta, 22 mm uzunlukta, 3 adet uca sahiptir. Statik veya dinamik manuel irrigasyon ile karşılaştırıldığında, apikal dentin tübüllerine penetrasyon (Paragliola ve ark 2010) , debrisin uzaklaştırılması ve smear tabakanın çıkarılmasında (Caron ve ark 2010) daha etkili olmaktadır. Başka bir çalışmada ise, mandibular birinci premolar dişlerin apikal üçlüsünden smear tabakanın uzaklaştırılmasında, pasif ultrasonik irrigasyon ve negatif apikal basınçlı irrigasyon sistemine göre daha başarılı bulunmuştur (Jasrotia ve ark 2019). Apikal ekstrüzyon açısından EndoActivator, geleneksel iğne irrigasyonu ve lazer ile aktivasyona göre güvenli bulunmasına rağmen, taşkın preparasyon durumunda (apikal foramenden 0,5 mm ileri) EndoActivator kullanımı ekstrüzyon riskini arttırmaktadır (Genc Sen ve Kaya 2018).

EDDY, 0.4 #25 taper ve çapta, poliamidden yapılmış uca sahip, basınçlı hava ile çalıştırılan motora sahip anguldruva ile kullanılan bir irrigasyon aktivasyon aracıdır. EDDY, debris ve smear tabakanın uzaklaştırılmasında pasif ultrasonik irrigasyon ile benzer etki göstermektedir ve her iki sistem de geleneksel iğne irrigasyonu ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha başarılıdır (Urban ve ark 2017).

Vibringe, ultrasonik cihazlardan daha düşük bir frekansta çalışan, akustik dalgalanma ve sonik akış yoluyla etki gösteren, 10 ml'lik hazneye sahip ve şırınganın ucuna istenilen irrigasyon iğnesinin yerleştirilmesi ile kullanılan bir sistemdir (Ahmad ve ark 1992, Rödig ve ark 2010, Bolles ve ark 2013). İğne yerleştirme derinliği Vibringe sistemde apikal ekstrüzyon miktarını etkileyebilir. İrrigasyon solüsyonunun, kök kanalının apikal üçlüsündeki aktivasyonu, solüsyonu apikal foramenlere doğru zorlayabilir ve böylece debris ekstrüzyonunu arttırabilir. Vibringe, pasif ultrasonik irrigasyona kıyasla daha az debris ekstrüzyonuna yol açmasına rağmen, aralarında belirgin bir fark gözlemlenmemiştir. Bu durum,

ultrasonik cihazlara kıyasla daha düşük frekansa sahip olmasıyla açıklanabilir (Desai ve Himel 2009, Mitchell ve ark 2011). Vibringe sistemin kullanılması ile geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha fazla debris ve kollojen uzaklaştırıldığı bildirilmiştir (Rödig ve ark 2010, Johnson ve ark 2012).

1.4.2.5. Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUI)

Pasif ultrasonik irrigasyonda, kök kanalı zaten şekillendirilmiş olduğundan, irrigasyon solüsyonunun kök kanal sisteminin apikaline penetrasyonu daha kolay ve güçlü olmaktadır (Krell ve ark 1988). Etkisini akustik dalgalanma ve kavitasyon aracılığıyla gösterir. İrrigasyon solüsyonunun titreşim halindeki ege etrafında dairesel veya girdap şeklinde hızlı hareketi akustik dalgalanma olarak tanımlanır. Solüsyon içerisinde mikroskobik baloncukların oluşması ve ardından kollapsı ise kavitasyon etkisini oluşturur (Van der Sluis ve ark 2007).

Yapılan çalışmalar NaOCl'nin PUI ile aktive edildiğinde, iğne irrigasyonuna göre daha fazla miktarda debris, bakteri ve pulpa dokusu uzaklaştırılmasına yardımcı olduğunu göstermiştir (Huque ve ark 1998, Lee ve ark 2004, Gutarts ve ark 2005).

1.4.2.6. Ardışık Düzenli Basınç Oluşturan Sistemler

RinsEndo (Dürr Dental, Bietigheim, Almanya) 7 mm uzunluğunda bir kanüle sahip, irrigasyon solüsyonunu 6.2 ml/dk hızda kök kanal sitemine ulaştırabilen, hidrodinamik basınç altında hem irrigasyon hem de aspirasyon yapabilen bir cihazdır (Braun ve ark 2005). Pulpa dokusunun uzaklaştırılmasında ve irrigasyon solüsyonun dentin tübüllerine penetrasyonunda, geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha başarılı bulunmuş fakat apikal ekstrüzyon riskini arttırdığı öne sürülmüştür (Braun ve ark 2005, Hauser ve ark 2007).

EndoVac, çalışma uzunluğu boyunca ileri-geri harekete izin veren, yüksek aspirasyon gücüne sahip bir mikrokanül aracılığıyla, pulpa odasından apikal bölgeye irrigantın akışını sağlar. Özellikle isthmus ve lateral kanalların temizlenmesinde sınırlı bir etkinliği olmasına rağmen, geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha başarılıdır (Nielsen ve Baumgartner 2007, Malentacca ve ark 2018). EndoVac sistemi, çalışma boyundan 1-mm kısa olacak şekilde kullanıldığında geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha fazla debris uzaklaştırmış, 3-mm kısa kullanıldığında ise

geleneksel iğne irrigasyonu ile benzer etki göstermiştir (Nielsen ve Baumgartner 2007).

İrrigasyon solüsyonunun ekstrüzyonu açısından EndoVac güvenli bir sistemdir. Apikal ekstrüzyonu değerlendiren birçok çalışma, apikal negatif basınç sisteminin, geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha az ekstrüzyona neden olduğunu ileri sürmüştür (Mitchell ve ark 2010, Yost ve ark 2015). Sistemin ekstrüzyonu önlemek için yüksek etkinliği, kapalı uçlu çok delikli dizayna sahip olan mikrokannül ve aynı zamanda çalışma boyuna ulaşan irrigasyon solüsyonunun negatif basınç oluşturularak geri çekilmesi ile açıklanabilir (Romualdo ve ark 2017). Fukumoto ve ark (2006) negatif basınç oluşturan yöntemlerin çalışma uzunluğundan 2-mm kısa olacak şekilde yapılan iğne irrigasyonuna göre daha az ekstrüzyon oluşturduğunu belirtmişlerdir.

1.4.2.7. Lazerler

Lazer destekli irrigasyon aktivasyon sistemlerinin etki mekanizması, hava kabarcıklarının genişlemesine, patlamasına ve böylece irrigasyon solüsyonunun kök kanalındaki hızlı hareketine aynı zamanda basınç dalgaları ve sekonder kavitasyon kabarcıkları aracılığıyla irrigasyon solüsyonunun etkinliğinin artırılmasına dayanmaktadır (Esenaliev ve ark 1993, Blanken ve ark 2009, Matsumoto ve ark 2011). Dolayısıyla, lazer destekli irrigasyon aktivasyon sistemleri, yüksek basınç ve agresif irrigasyon nedeniyle daha fazla debris ekstrüzyonuna yol açabilir (Aldeen ve ark 2018, Ozbay ve Erdemir 2018). Ekstrüze olan madde, geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha yüksek konsantrasyonda debris içermektedir (Kuştarcı ve Er 2015, Arslan ve Kustarci 2018, Doğanay Yıldız ve ark 2020).

Nd-YAG lazer, diş hekimliğinde kullanılan ilk lazerdir (Myers ve McDaniel 1991). Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerlerinin aksine daha düşük dalga boyuna sahip olduğundan, su ve hidroksiapatit kristalleri tarafından iyi absorbe edilmez (Harashima ve ark 1997). Bu sayede dentin dokusunda absorbe olmadan derin tabakalara kadar ilerleyip penetre olarak bakterisidal etki gösterebilir (Moritz ve ark 1999). Nd-YAG lazer, smear tabakası varlığında buharlaşmayı teşvik edebilir ve bu da dentin tübüllerinin füzyonuna ve rezolidifikasyona (yeniden katılma) neden olur. Sonuçta dentin tübüllerini tıkayarak geçirgenliği azaltabilir, yeniden enfeksiyonu önleyebilir ve apikal infiltrasyonu azaltabilir (Miserendino ve ark 1995,

Lan ve ark 2000, Park ve ark 2001). Dentin tübüllerinin tıkanması, temizleme ve dezenfeksiyondaki önemine rağmen bazı kanal dolgu patlarının kök kanallarına nüfuz etmesini engelleyebileceğinden dezavantaj da olabilir (Montero-Miralles ve ark 2014).

Er-YAG lazerlerin, irrigasyon işleminin ardından aktivasyon yöntemi olarak kullanılması da önerilmiştir (Blanken ve Verdaasdonk 2009, Matsumoto ve ark 2011). Suya ve hidroksiapatite karşı affinitesi yüksek olan bu lazerin, kök kanal sisteminden debris ve smear tabaka uzaklaştırılmasını kolaylaştıracadı belirlenmiştir (Blanken ve Verdaasdonk 2009). Irrigasyon solüsyonuna transfer edilen enerji aracılığıyla suyun mineral substratları içerisinde buharlaşmasıyla oluşan hacim artışı sonucu sekonder kaviteye yol açıp, hava kabarcıklarının mikropatlamaları ile etkisini gösterir (van As 2004, Blanken ve ark 2009, De Moor ve ark 2009).

Foton-indüklü fotoakustik dalgalanma (Photon Induced Photoacoustic Streaming, PIPS) tekniği; Er:YAG lazerin kullanıldığı şerit ve radyal biçiminde tasarlanmış özel bir uç aracılığıyla fotohidroakustik sistemler teknolojisini kullanan bir başka lazer irrigasyon aktivasyon sistemidir (DiVito ve Lloyd 2012). Bu sistemde lazerin fiber optik uç kısmı kök kanalı boyunca ilerletmeye gerek kalmaksızın pulpa odasına yerleştirilerek, geleneksel iğne irrigasyonuna kıyasla daha temiz dentin duvarı ve daha fazla miktarda açık dentin tübülü elde edilebildiği belirlenmiştir (Peters ve ark 2011, DiVito ve ark 2012). Antibakteriyel etki açısından Er-YAG lazer ile benzer olmasına karşın, kök kanal sisteminden smear tabakasının çıkarılmasında daha başarılı olduğu gösterilmiştir (Moretti ve ark 2008, Peters ve ark 2011, Zhu ve ark 2013).

Arslan ve ark (2018) kapalı bir sistem oluşturarak, apikal ekstrüzyon miktarını değerlendirdikleri bir çalışmada PIPS ile açık uçlu iğne irrigasyonunu karşılaştırmış ve PIPS aktivasyonunun daha fazla NaOCl ekstrüzyonuna neden olduğunu göstermişlerdir. Yost ve ark (2015) ise EndoVac ve EndoActivator gruplarında, PIPS'e kıyasla önemli  l de daha az ekstrüzyon meydana geldiğini, kapalı uçlu tek delikli irrigasyon iğnesinin ise EndoActivator ile benzer sonuçlar oluşturduğunu fakat gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığı belirtmişlerdir. Farklı lazer aktivasyon sistemlerinin kullanıldığı bir başka çalışmada apikal çap arttı ca ekstrüzyon miktarının arttığı gösterilmiştir (George ve Walsh 2008). Bu bulgulara

dayanarak, apikal preparasyon boyutunu arttırma ihtiyacını azaltan PIPS tekniğinin daha güvenli bir seçim olabileceği bildirilmiştir (Ozbay ve Erdemir 2018).

Diyot lazerler, en dirençli endodontik patojen olan *Enterococcus faecalis* üzerinde yüksek bakterisidal etkiye sahiptir (Schulte-Lünzum ve ark 2017). Pigmente yapılar tarafından yüksek miktarda absorbe edilebilir olduğundan, antimikrobiyal etkilerini pigmente bakterilerin hücre membranı üzerinden ya da kısa süreli sıcaklık artışıyla gösterirler (Gutknecht ve ark 2000, Pirnat ve ark 2011, Jiménez ve ark 2015). Diyet lazerlerin kanal içinde oluşturduğu sıcaklık artışı 1°C - 7°C olup, periodontal dokular için güvenli kabul edilebilir (Hmud ve ark 2010). Fakat diyet lazerler smear tabaka uzaklaştırılmasında etkili bulunmamıştır (Wang ve ark 2005).

1.5. Geleneksel İğne İrrigasyonunun Kök Kanal Sistemi Debridmanına ve Apikal Ekstrüzyona Etkisini Belirleyen Faktörler

Etkili bir irrigasyonun yanı sıra, irrigasyon solüsyonunun apikal foramenin dışına taşarak oluşabilecek ciddi komplikasyon ve postoperatif ağrı insidansının azaltılması klinik açıdan önem taşımaktadır (George ve Walsh 2008).

Chapman ve ark (1968), preparasyon sırasında enfektif materyalin kök kanal sisteminden periapikal dokulara taşabileceğini doğrulayan ilk araştırmacıdır. Seltzer ve Naidorf (1985) apikalde oluşan ekstrüzyonu “nekrotik debris yumağı” olarak tanımlamışlardır. Van de Visse ve Brilliant (1975) kök kanallarındaki debrisin apikal ekstrüzyonunu irrigasyon ile ve irrigasyon olmadan karşılaştırmış ve irrigasyonun periyodik olarak kanal içi debrisin ekstrüzyonunu kolaylaştıran bir prosedür olduğunu ve irrigasyon olmadan debrisin birikmediğini belirtmişlerdir.

Preparasyon tekniklerinin her biri az da olsa apikal ekstrüzyona yol açabilir. Apikal ekstrüzyonun bir sonucu olarak postoperatif ağrı, şişlik, doku hasarı ve flare-up gibi klinik komplikasyonlar meydana gelebilir (Hülsmann ve Hahn 2000, Gernhardt ve ark 2004, Mehdipour ve ark 2007, Tanalp ve Güngör 2014). Bu nedenle periapikal dokulara ekstrüzyon riskini azaltan irrigasyon sistemlerinin kullanılması hem hasta hem de klinisyenler için yararlı olacaktır.

Günümüze kadar apikal ekstrüzyon miktarını belirlemek için pek çok çalışma yapılmıştır. Çeşitli teknikler kullanılarak periapikal dokuya taşan debris, debris ve solüsyon miktarı, hatta apikalden bakteri çıkışı değerlendirilmiştir (Tanalp ve

Güngör 2014). Kök kanal tedavisi sırasında dolum materyalleri, nekrotik pulpa dokusu, mikroorganizmalar, irrigasyon solüsyonları, kanal içi medikamentler ve kanal aletleri apikalden taşıp periapikal doku bütünlüğünü bozabilmektedir (Huang ve ark 2007). Apikal açıklığın ötesinde yapılan kemomekanik preparasyon, ilaç veya dolgu maddelerinin çevre dokulara ekstrüzyonu yabancı cisim reaksiyonu nedeniyle gecikmiş iyileşme hatta tedavi başarısızlığına neden olabilmektedir (Ng ve ark 2007).

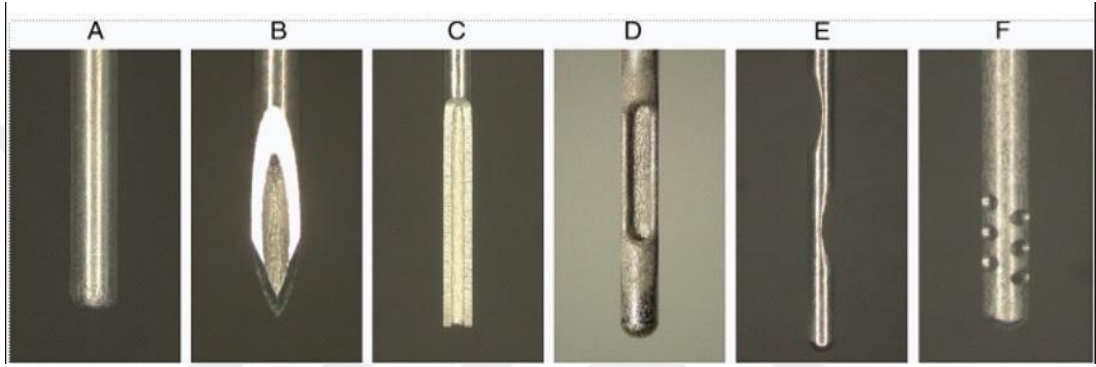
Seltzer ve Naidorf (1985) asemptomatik kronik inflamatuvar periapikal lezyonun kök kanal tedavisine başlandıktan sonra şiddetli bir inflamatuvar reaksiyon verebileceğini belirtmişlerdir. Bu durumu, periradiküler bağ dokusuna itilen yabancı maddelerin neden olduğu hücre aracılı veya humoral immünolojik olaylar tetikleyebilir. Periradiküler dokuların bütünlüğünü ve dengesini bozabilecek her türlü fiziksel veya kimyasal irritasyon, periapikal bir reaksiyon başlatma potansiyeline sahiptir. Sonuç itibarıyla kök kanal preparasyonu ve irrigasyonunun kök kanal sistemi içinde sınırlandırılması özellikle inflamatuvar ve immünolojik reaksiyonların başlatılmasının önlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir (Wu ve ark 2006).

Geleneksel iğne irrigasyonun etkinliği; irrigasyon iğnesinin çapı (Usman ve ark 2004), irrigasyon iğnesinin penetrasyon derinliği (Brown ve ark 1995, Sedgley ve ark 2005), apikal preparasyon boyutu (Falk ve Sedgley 2005), solüsyonun akışkanlığı (Abou-Rass ve Oglesby 1981), solüsyonun hacmi (Sedgley ve ark 2004), solüsyonun iğnenin uç kısmından akış hızı (Moser ve Heuer 1982) ve iğnenin uç kısmındaki açıklığının yönü (Boutsioukis ve ark 2010e) gibi pek çok faktörden etkilenir.

İrrigasyon iğnesinin uç kısmının mümkün olduğunca apekse yaklaştırılması (Goldman ve ark 1976, Chow 1983, Falk ve Sedgley 2005), solüsyon hacminin artırılması (Sedgley ve ark 2004) ve daha küçük çapa sahip iğnelerinin kullanılması irrigasyonun etkinliğini artırır. Ancak iğne ucu apekse yaklaştıkça apikal ekstrüzyon olasılığı da o oranda artacaktır (Chow 1983). İrrigasyon esnasında solüsyonun kök kanal sistemine düşük basınç ve hızda verilmesi ve aynı zamanda iğne ucunun ileri-geri hareket ettirilmesi solüsyonunun periapikale taşma riskini oldukça azaltabilir (Abou-Rass ve Piccinino 1982).

1.5.1. İğne Dizayını

İğne dizayını; solüsyonun akış biçimi, akış hızı, apikal duvar basıncı gibi irrigasyonun etkinliği ve güvenliği açısından önemli parametreleri etkilemektedir (Shen ve ark 2010). İğne dizaynında yapılan değişiklikler, irrigasyon solüsyonunun hidrodinamik aktivasyonunu artırırken apikal ekstrüzyonu azaltmak üzerine odaklanmıştır (Hauser ve ark 2007). Uç kısmı kapalı ya da açık olan irrigasyon iğneleri farklı şekillerde modifiye edilmiştir. Farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 1.5.1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.5.1.1 (A-C) Açık uçlu irrigasyon iğneleri: (A) Düz (NaviTip; Ultradent, South Jordan, ABD), (B) Eğimli (PrecisionGlide Needle; Becton Dickinson & Co, Franklin Lakes, ABD), ve (C) Çentikli (Appli-Vac Irrigating Needle Tip; Vista Dental, Racine, ABD). (D-F) Kapalı uçlu irrigasyon iğneleri: (D) Tek delikli (KerrHawe Irrigation Probe; KerrHawe SA, Bioggio, İsviçre), (E) Çift delikli (Endo-Irrigation Needle; Transcodent, Neumunster, Almanya) ve (F) Çok delikli (EndoVac Microcannula; Discus Dental, Culver City, Kanada) (Boutsoukakis ve ark 2010e, Pasricha ve ark 2015)

Kapalı uçlu irrigasyon iğneleri ilk kez Goldman ve ark (1976) tarafından kullanılmış olup irrigasyon solüsyonlarını kök kanal sisteminin en uç kısımlarına kadar iletebilmek amacıyla kullanımları önerilmiştir (Kahn ve ark 1995).

Kapalı ve açık uçlu irrigasyon iğneleri birbirinden farklı akış dinamiğine sahiptir. Kapalı uçlu irrigasyon iğneleri, solüsyonu kök kanal duvarlarına yönlendirirken (Boutsoukakis ve ark 2010d); açık uçlu irrigasyon iğneleri solüsyonu apekse doğru yönlendirerek kanal içindeki apikal basıncı artırırlar (Verhaagen ve ark 2012, Park ve ark 2013). Bu durum açık uçlu iğnelerin daha fazla irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonuna neden olması ile sonuçlanabilir (George ve Walsh 2008). Kapalı uçlu irrigasyon iğneleri, apikal foramene kıyasla kök kanal duvarları üzerinde daha fazla basınç oluşturur ve irrigasyon solüsyonunun geri akışına izin vererek apikal ekstrüzyon riskini azaltır. Böylece, periapikal dokulara ekstrüzyon önlenirken

daha fazla debrisin koronal olarak yer değiştirmesine de izin verir (Sedgley ve ark 2005).

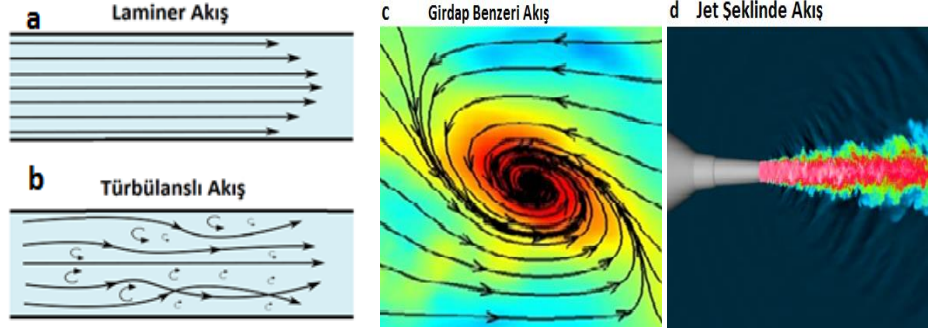
Kök kanalının enine kesiti tam olarak dairesel olmadığından ve apikal daralımın anatomisi çeşitlilik gösterebileceğinden kapalı uca sahip irrigasyon iğnelerinde de ekstrüzyon meydana gelebilir. Bu nedenle kapalı uçlu irrigasyon iğnesi kullanılsa bile solüsyonunun apikalden çıkışı tam olarak engellenemez (Psimma ve ark 2013).

Açık uçlu eğimli ve düz yüzeye sahip irrigasyon iğneleri birbirine benzer şekilde yüksek akış hızına sahiptir. Çentikli uca sahip irrigasyon iğnelerinde akış hızı bir miktar daha yavaş olmaktadır. Duvar kayma gerilimi ise açık uçlu eğimli, düz ve çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğnelerinde benzer ve kapalı uçlu irrigasyon iğnelere göre daha düşüktür. Açık uçlu irrigasyon iğnelerinde, kayma gerilimi ve akış hızı iğne açıklığına zıt olan duvarda daha fazladır. Kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinde ise tam tersi olacak şekilde, iğne açıklığının baktığı tarafta meydana gelen kayma gerilimi ve hız diğer taraftan daha yüksek olup açıklığın ters tarafındaki duvarda neredeyse sıfıra yaklaşmaktadır (Boutsioukis ve ark 2010e).

İrrigasyon sırasında kapalı uçlu çok delikli irrigasyon iğnelerinin kullanımı da önerilmiştir (Goldman ve ark 1976, Goldman ve ark 1979, Moser ve Heuer 1982). Daha sonra bu tarz iğneler geliştirilmesine rağmen daha çok negatif basınçlı irrigasyon sistemleri ile birlikte kullanılmışlardır (Desai ve Himel 2009). Bu tip iğne uçları, apikal ekstrüzyonun önlenmesinde en güvenilir iğne dizaynıdır. Ancak bu tarz iğnelerde, irrigasyon solüsyonunun apikale ulaşip aynı zamanda yer değiştirebilmesi için neredeyse çalışma boyunda kullanılması gerekliliği dezavantaj oluşturmaktadır. Aynı zamanda kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinde yüksek kayma geriliminin meydana geldiği kısım, apikalde çok küçük bir alan ile sınırlı kalmaktadır (Boutsioukis ve ark 2010e).

İrrigasyon iğnelerinin dizaynına göre akış modelleri de farklılık gösterebilir. Sıvıların akışları, genel olarak laminer ve türbülanslı (Şekil 1.5.1.2.a ve Şekil 1.5.1.2.b) olarak sınıflandırılır (Tilton 1999). Kök kanal irigasyonu sırasında, türbülans çok daha etkili karıştırma nedeniyle irrigasyon solüsyonunun penetrasyonu ve yer değiştirmesine büyük ölçüde yardımcı olur. Bununla birlikte, iğne irrigasyonu sırasında kök kanallarında türbülans gelişimi henüz deneysel olarak

doğrulanmamıştır. İrrigasyon solüsyonu 30 G'lik iğneden çok düşük akış hızlarında (~ 0.01 ml/s) kök kanalı içine verildiğinde sabit bir laminar akış gelişir. Daha yüksek akış hızlarında (en az 0.26 ml/s'ye kadar) akış, kararsız hale gelir ancak yine de laminar kalır (Boutsoukis ve ark 2009)



Şekil 1.5.1.2 Akış tiplerinin şematize edilmiş şekilleri (Verhaagen ve ark 2012, Tilton ve ark 1999) a) Laminer akış b) Türbülanslı akış c) Girdap benzeri akış d) Jet şeklinde akış

Kararsız akış, girdap oluşumunu (Şekil 1.5.1.2.c) garanti etmez ve özellikle kapalı uçlu irrigasyon iğnesinin kullanımı sırasında meydana gelen kararsız akışın, gerçek zamanlı görsel değerlendirmenin sınırlamaları nedeniyle geçmişte türbülansla karıştırılmış olması muhtemeldir. Bilgisayar simülasyonlarına göre, daha yüksek fakat klinik olarak uygulanması mümkün olmayan akış hızı (0.53-0.79 ml/s), çoğunlukla iğne ucuna yakın türbülans gelişimine neden olabilir ancak bu sonuçlar deneysel doğrulanmamıştır. Türbülanslı akış, laminar akışa kıyasla rastgele, karmaşık ve kararsızdır ve girdap hareketlerinden dolayı laminar akışa göre önemli ölçüde daha etkili karıştırma ile karakterize edilir (Boutsoukis ve ark 2009, Boutsoukis ve ark 2010).

Jet şeklindeki akış ise, küçük çaplı bir açıklıktan zorlanan yüksek hızlı bir akıştır (Şekil 1.5.1.2.d). Tüm iğnelerin uç kısmında jet şeklinde akış oluşur. Açık uçlu iğneler kullanılması durumunda oluşan jet şeklindeki akış çok yoğundur ve iğnenin yerleştirme derinliği ve akış hızına göre değişebilir (Verhaagen ve ark 2012).

1.5.2. İrrigasyon İğnesinin Aktivasyonu

İrrigasyon esnasında iğne/kanülün ileri-geri hareketiyle kanal içerisinde sıkışması önlenir, böylece irrigasyon solüsyonunun geri akışına ve debrisin koronale doğru yer değiştirmesine olanak sağlanır aynı zamanda irrigasyon solüsyonunun periapikal dokulara taşmasının önüne geçilmiş olur (Hu ve ark 2019). Fakat irrigasyon iğnelerinin veya küçük apikal boyuta sahip eğelerin manuel dinamik

aktivasyon için kullanılması, vapor-lock etkisinin azaltılması için yeterli olmamaktadır. Çünkü kanal duvarındaki yüzey gerilimini arttırabilmek için, aktivasyon amacıyla kullanılacak enstrümanın, kök kanalına üç boyutlu olarak uyum sağlayacak yüzey alanına sahip olması gerekmektedir (Bansode ve Patil 2019, Schoeffel 2008).

İrrigasyon iğnesinin ileri-geri hareketi hidrolik apikal basıncı arttırarak, iğnenin önündeki boşlukları azaltır. Fakat aşağı yöndeki akım ve basınç artışı, irrigasyon solüsyonunun apikal foramenden taşmasına neden olabilecek bir itici güç oluşturabilir. Ancak daha büyük apikal çapa sahip kanallarda, iğne ve kanal arasında yeterli boşluk varsa, apikaldeki basınç artışını dengelemek için, irrigasyon solüsyonu yukarı yönde, kanal girişine doğru yükselir, iğne ucu yakınında oluşan geri basınç azalır ve irrigasyon solüsyonunun sirkülasyonuna izin verir. Başka bir bakış açısıyla, apikal boyut arttıkça, ekstrüzyon olasılığı azalabileceği öngörülebilir. (Shen ve ark 2010, Boutsoukis ve ark 2010a).

İrrigasyon iğnesinin küçük genliklerle hareketi yeterli ve güvenli irrigasyona katkı sağlamaktadır. Genlik miktarı 1 mm'den (%86), 2 mm'ye (%87) çıkarıldığında, irrigasyon solüsyonunun yer değiştirme miktarı aynı kalmıştır. Fakat 3 mm'ye (%69) çıkarıldığında, büyük oranda azalmıştır (Hu ve ark 2019). Genlik miktarı 3 mm'den büyük olduğunda ise irrigasyon solüsyonu yer değiştirmesinin yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan, genliğin azalmasıyla apikal basınç ve ekstrüzyon riski artmaktadır (Shen ve ark 2010, Boutsoukis ve ark 2010c).

1.5.3. İrrigasyon Solüsyonunun Akış Hızı

İrrigasyon solüsyonunun akış hızı; irrigantın iğne ucunun ya da kanülün ne kadar ötesine gideceğini, kanal içerisinde yer değiştirme miktarını ve akış dinamiğini belirleyen önemli faktörlerdendir (Tilton 1999). Klinik olarak, iğne ile irrigasyon sırasında akış hızının standardizasyonu ve kontrolü zordur (Boutsoukis ve ark 2007b).

İrrigasyon solüsyonunun kök kanalında akışı, hidrodinamik kayma gerilimine yol açar. Kök kanal duvarında oluşan kayma gerilimi doğrudan ölçmek için zor bir parametre olup, büyüklüğü akış hızına bağlıdır. Kayma gerilimi debrisin, doku artıklarının hatta biyofilmin uzaklaştırılması yoluyla temizleme etkinliğinde önemli rol oynar (Gulabivala ve ark 2010). Kök kanalındaki ortalama akış hızı 0.1 m/s'den

fazla ise, solüsyon klinik olarak yeterli miktarda yer değiştirebilmektedir. Bununla birlikte, irrigasyon solüsyonu hızının yüksek olması daha hızlı yer değiştirmeye olanak verir (Boutsioukis ve ark 2010e). Fakat yüksek enjeksiyon kuvveti solüsyonun apikal ekstrüzyonuna da yol açabilir (Witton ve ark 2005).

Yapılan bir çalışmada, kapalı uçlu tek delikli ve açık uçlu çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğneleri ile farklı apikal çaplara sahip dişlere, farklı akış hızında irrigasyon solüsyonları verilerek apikal ekstrüzyon değerlendirilmiştir. Enjeksiyon hızı özellikle 200 $\mu\text{l/s}$ 'den büyükse, apikal ekstrüzyonda önemli rol oynamaktadır. Düşük enjeksiyon hızında ($\leq 100 \mu\text{l/s}$) iğne dizaynı ve kanal boyutları arasında apikal ekstrüzyon açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır (Boutsioukis ve ark 2010a, Chang ve ark 2015). Kapalı uçlu irrigasyon iğneleri, açık uçlu irrigasyon iğnelerine benzer akış hızına sahip olabilmek için daha yüksek enjeksiyon kuvvetine ihtiyaç duyarlar (Boutsioukis ve ark 2010a).

Yapılan çalışmalarda klinik kullanım esnasında iğne girişinde ortalama akış hızlarının 30–50 $\mu\text{l/s}$ (Moser ve Heuer 1982), 120 $\mu\text{l/s}$ (Lee ve ark 2004), 130 $\mu\text{l/s}$ (Brown ve Doran 1975), 200 $\mu\text{l/s}$ (Sedgley ve ark 2005), 310 $\mu\text{l/s}$ (Chow 1983) olabileceği gösterilmiş, ancak bu çalışmalarda irrigasyon iğnelerinin çap ve dizaynının akış hızına etkileri gözardı edilmiştir. İğne girişindeki ortalama akış hızlarının yine iğne dizaynından bağımsız olarak erkeklerde 30-320 $\mu\text{l/s}$, bayanlarda 88-137 $\mu\text{l/s}$ arasında değiştiği de belirtilmiştir (Chang ve ark 2015).

Irrigasyon solüsyonlarının viskozite ve yoğunluklarının irrigasyon solüsyonunun akış hızına etkisi araştırılmış olup, klinik olarak önemli değişkenlerden biri olan kanal içerisindeki akış hızını etkilediği tespit edilmiştir (Guerisoli ve ark 1998, Boutsioukis ve ark 2014, Velayutham Gopikrishna ve ark 2014).

1.5.4. Irrigasyon İğnesini Yerleştirme Derinliği

Irrigasyon iğnesini yerleştirme derinliği, apikal ekstrüzyon miktarını ve kök kanal temizliğini etkileyen önemli faktörlerdendir. *İn-vitro* çalışmalarda irrigasyon iğnesi uç kısmının apekse yakınlığının debris uzaklaştırılmasında önemli rol oynadığı belirtilmiştir (Brown ve Doran 1975, Abou-Rass ve Piccinino 1982, Chow 1983). İğne ucu apekse yaklaştıkça, apikal ekstrüzyon olasılığı artmasına rağmen (Chow 1983), iğne ucunun kök kanalı içerisinde mümkün olduğunca derine yerleştirilerek

dikkatli bir şekilde kullanımının kök kanalından debrisin uzaklaştırılarak etkili temizlik sağlanmasına olan etkisi önemlidir (Abou-Rass ve Piccinino 1982).

İrrigasyon iğnesi çalışma boyundan uzaklaştıkça, daha az apikal basınç oluşur, solüsyon değişimi daha az olur, kanal duvarlarındaki kayma gerilimi azalır. Kapalı uçlu irrigasyon iğneleri çalışma boyundan 1 mm uzağa yerleştirilip, iğnenin kanal içerisinde sıkışmasını önleyecek şekilde ileri-geri hareketlerle solüsyon kanal içerisine verildiğinde yeterli ve güvenli bir irrigasyon sağlanmaktadır. Açık uçlu eğimli, çentikli ve düz uca sahip irrigasyon iğnelerinin apekten 2-3 mm uzağa yerleştirilmesinin kanal içinde yeterli akışı ve güvenliği sağlayabileceği öne sürülmüştür (Boutsioukis ve ark 2010c).

Optimal iğne derinliği; kanalın çapı, koniklik miktarı ve eğiminden etkilenir. Yapılan mekanik preparasyon, irrigasyonun optimum etkinliği için iğnenin çalışma boyundan 1-2 mm kısa yerleştirilebilmesine olanak sağlamalıdır (Druttman ve Stock 1989). Bunu mümkün kılabilmek için, apikal preparasyonun en az ISO #35 - 40 boyutuna büyütülmesi önerilmektedir (Ram 1977, Usman ve ark 2004, Huang ve ark 2008). Kök kanalının apikali #30'a kadar genişletildiğinde, 27 G irrigasyon iğnesi çalışma boyundan 3 mm uzağa yerleştirilebilir ve irrigasyon solüsyonu apikale ulaşabilir. Aynı irrigasyon iğnesi kök kanal apeksinden 6 mm uzağa yerleştirildiğinde, başarılı bir irrigasyon için apikalin en az #50 ye kadar genişletilmesi gerekir. 25 G irrigasyon iğnesinin, apikalden 3 mm uzağa yerleştirilip başarılı bir irrigasyon yapılabilmesi için kanal boyutunun #45 ten az olmaması gereklidir (Hsieh ve ark 2007).

1.5.5. İrrigasyon İğnesinin Çapı

İğnelerin iç ve dış çapları genellikle standart ölçü birimi olan gauge (G) ile ifade edilir. İç ve dış iğne çapları azaldıkça iğne incelmekte fakat numarası artmaktadır. İğne boyutları ile ilgili ayrıntılı bilgi Şekil:1.5.5.1'de verilmiştir.

Dış çap (mm)		İç çap (mm)		
Gauge	Belirlenmiş çap (mm)	Ort.	Max.	Min.
21	0.8	0.800	0.830	0.490
23	0.6	0.600	0.673	0.317
25	0.5	0.500	0.530	0.232
27	0.4	0.400	0.420	0.184
30	0.3	0.298	0.320	0.133

Şekil:1.5.5.1. Tıbbi kullanım için tasarlanmış paslanmaz çelik iğnelerin çapları (ISO-9626/ 2001 şartnamesine göre)

Küçük çapa sahip irrigasyon iğneleri, kök kanal sisteminin daha derinlerine penetre olabilir. Aynı zamanda irrigasyon solüsyonunun kök kanalına eşit hacimde verilebilmesi için gereken akış hızı küçük çaplı irrigasyon iğnelerinde, geniş çaplı irrigasyon iğnelerine göre daha yüksektir (Gulabivala ve ark 2010). Bu durum debris ve bakterilerin daha etkili uzaklaştırılmasına da olanak sağlar (Abou-Rass ve Piccinino 1982, Chow 1983, Sedgley ve ark 2005). Bununla birlikte, küçük çaplı irrigasyon iğneleri, irrigasyon solüsyonunu kanal içerisine enjekte etmek için daha fazla efor gerektirir ve şırınga içerisindeki basıncın 400-550 KPa'ya kadar yükseldiği gösterilmiştir (Boutsioukis ve ark 2007b).

İrrigasyon iğnesi çapının solüsyonunun akış hızı üzerinde önemli etkisi vardır. Üç farklı çapa sahip irrigasyon iğnesi kullanılarak irrigasyon yapılmış ve irrigasyon için geçen zaman kaydedilerek veriler analiz edilmiştir. 26 G (açık uçlu eğimli yüzeye sahip) irrigasyon iğnesinin 0,27 ml/s, 27 G (kapalı uçlu tek delikli) irrigasyon iğnesinin 0.19 ml/s, 30 G (kapalı uçlu tek delikli) irrigasyon iğnesinin 0,09 ml/s akış hızına sahip olduğu gösterilmiştir. 26 ve 27 G irrigasyon iğneleri daha yüksek akış hızları sağlayabilmesine rağmen, dış çapları geniş olduğundan kök kanalı içerisinde yerleştirme derinliği, istenilen boyutta olmayabilir. 30 G irrigasyon iğnesi ise tüm gruplar arasında en yavaş akış hızına sahip olmakla birlikte, kanal içerisinde sıkışmadan, mümkün olduğunca apikale yakın olarak yerleştirilmesine izin verir (Boutsioukis ve ark 2007a). Yavaş akış hızı, kök kanalının apikal üçlüsünde kritik olan irrigasyon solüsyonunun yer değiştirme dinamiklerini etkileyebilir

(Gopikrishna ve ark 2016). Dar çapa sahip irrigasyon iğneleri, eğimli kanallarda debris ve smear tabakanın uzaklaştırılmasında daha etkilidir (Chow 1983).

1.5.6. Apikal Çap ve Açıklığın Boyutu

Buchanan (1987) apikal patensi kavramını açıklayan ilk kişidir. Apikal patensi, apikal daralmayı genişletmeden, pasif olarak hareket eden küçük çapta esnek bir K-tipi eğenin kullanımı olarak tanımlanmıştır. Bu teknikte, en küçük çapa sahip ege, çalışma uzunluğundan 1 mm uzun olacak şekilde, apikal kısmın debris ile tıkanmasını önlemek için, her bir egeleme arasında kullanılır (Buchanan 1987). Amerikan Endodontistler Derneği (AAE)'ne göre ise, apikal foramen aracılığıyla küçük çapa sahip K-tipi bir ege kullanılarak kanalın apikal kısmını debristen arındırmanın bir yolu olarak kabul edilir (Endodontists AAE 2003). Yazarlar, apikal foramenlerde apikal patensiye korumak için #10, #15 ya da #20 boyutlarında K-tipi eğenin kullanımını önermişlerdir (Cailleteau ve Mullaney 1997).

Geniş kök kanallarının apikal 2 mm'sinde, irrigasyon solüsyonunun penetrasyonunun etkisinin radyografik olarak analiz edildiği bir çalışmada, apikal açıklık korunduğunda irrigasyon solüsyonunun daha etkili bir şekilde apikal üçlüye nüfuz ettiği belirlenmiştir (Vera ve ark 2012).

Camoes ve ark (2009), apikal patensi varlığında ve olmadan NaOCl ekstrüzyonu üzerinde çalışmışlardır. Ekstrüzyon, patensi olmadan %47, patensi egesi olarak #10 K tipi ege kullanıldığında %77, #15 K tipi ege kullanıldığında %100 oranında gözlenmiştir. Başka bir çalışma da, apikal daralım 0,15 mm'den 0,20 mm'ye genişletildiğinde ekstrüze olan irrigant miktarında büyük bir artış olduğu bildirilmiştir (George ve Walsh 2008).

Kök kanal sistemindeki artık ürünleri ortadan kaldırmak için, apikal preparasyon büyüklüğünün, bu sonuca ulaşmada önemli olabileceği öne sürülmüştür (Ørstavik ve ark 1991). Apikal periodontitis vakalarında, kanalın apikal kısmında mikroorganizmaların varlığı bilindiğinden, daha büyük apikal preparasyon önerilmiştir (de Souza Filho ve ark 1987, Fornari ve ark 2010, Aminoshariae ve Kulild 2015). Kök kanal sisteminde irrigasyonun etkinliğini arttırmak için, kök kanal sisteminin yeterince genişletilmesi gerektiğine değinilmiştir (Grossmann 1943). Apikal genişletmenin #40 tan az olduğu durumlarda, geleneksel iğne irrigasyonunun daha az etkili olduğu belirtilmiştir (Wu ve Wesselink 1995, Falk ve Sedgley 2005).

Bununla birlikte, daha büyük apikal preparasyon ve/veya foraminal debridman gerçekleştirirken ana endişelerden biri daha fazla debris, bakteri ve irrigasyon solüsyonlarının ekstrüzyon olasılığıdır (Silva ve ark 2016). Fakat apikal daralımın tüm örneklerde standart olduğu fakat apikal preparasyonun #25'ten #45'e çıkarıldığı bir çalışmada, kanalın apikal boyutundaki artış irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonunun azalmasına yol açmıştır. Bu durum genişleyen apikal çapın, irrigasyon solüsyonunun koronal yönde hareketini kolaylaştırması ile açıklanmaktadır (Psimma ve ark 2013).

Taşkın preparasyon ya da apikal rezorpsiyon nedeniyle apikal daralımın genişlediği durumlarda meydana gelen NaOCl kazaları pek çok vaka raporunun konusu olmuştur (Hülsmann ve Hahn 2000, Boutsoukis ve ark 2013, Baser Can ve ark 2015).

1.5.7. Çalışma Uzunluğu

Kök kanal tedavisi, karmaşık kök kanal sisteminden bakteri ve nekrotik dokunun kapsamlı bir şekilde çıkarılmasını amaçlamaktadır. Bunu sağlayabilmenin ön koşullardan biri, kök kanal uzunluğunun ve çalışma boyunun net olarak belirlenmesidir. Kök kanal enstrümantasyonunun apikal sınırı, endodontinin tartışmalı konularından biridir (Ricucci 1998, Souza 2006).

Periapikal lezyonlu, nekrotik pulpaya sahip dişlerde, kök kanal sisteminin apikal kısmında hatta apikal daralımın ötesinde bakteri bulunabilir (Subramanian ve Mickel 2009, Ricucci ve Siqueira Jr 2010). Bu gibi durumlarda, biyolojik açıdan apikal daralımın ötesinde dezenfeksiyon amaçlanır. Nekrotik pulpaya sahip dişlerde apikal foramenlere kadar preparasyon yapılması önerilmektedir (de Souza Filho ve ark 1987, Lin ve Rosenberg 2011).

Apikal foramene kadar yapılan preparasyon, geleneksel preparasyona göre daha fazla debris, bakteri ve irrigasyon solüsyonunun ekstrüzyonuna yol açabilir. Bu durum enflamasyonu tetikler, postoperatif ağrı ve periapikal bölgede iyileşmenin gecikmesi ile sonuçlanabilir. Ayrıca vakaların %1.4-16'sında görülen flare up'tan da sorumlu olabilir (Siqueira Jr 2003).

Apikal ekstrüzyonla ilgili çoğu çalışmada, çalışma uzunluğunun ekstrüzyona etkisi doğrudan araştırılmamış, tamamlayıcı bilgi sağlamak için değerlendirilmiştir (Tanalp ve Güngör 2014). Apikal foramene kadar yapılan preparasyon, apikal

foramenden 1 mm kısa preparasyon yapılmasına göre daha fazla miktarda debrisin taşmasına neden olmuştur (Martin ve Cunningham 1982, Myers ve Montgomery 1991, Beeson ve ark 1998). Yapılan başka bir çalışmada ise, apikal foramene kadar ve apikal foramenden 1 mm kısa preparasyon yapılarak bakterilerin apikal ekstrüzyonunun değerlendirildiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (Teixeira ve ark 2015).

1.5.8. Kök Kanal Eğimi

Apikal ekstrüzyon miktarı, kök kanal eğriliğine göre değişebilmektedir. Ekstrüzyonla ilgili çalışmaların çoğunda, 5° - 10° 'den küçük eğime sahip, düz kök kanalları olan tek köklü dişler kullanılmıştır (Tanalp ve Güngör 2014).

Leonardi ve ark (2007) hafif ve orta derecede eğime sahip dişler arasında debris ve irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu açısından, herhangi bir fark tespit etmemişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada kanal boyunun, eğiminin ve apikal büyüklüğün ekstrüzyona etkisi değerlendirilmiştir ve istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır (Hinrichs ve ark 1998). Karataslioglu ve ark (2018) hafif ve şiddetli eğime sahip dişler arasında anlamlı bir fark olduğunu, eğim arttıkça ekstrüze olan debris miktarının arttığını ve çalışmaların sonuçları arasındaki farklılıkların, köklerin eğriliğini tespit yönteminden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Hinrichs ve ark (1998), Schneider'in yöntemini kullanarak kök kanal eğimini belirlemişlerdir. Bu yöntem de koronal 1/3 kök kanalının uzun aksına paralel çizilen bir doğruyla, bu doğrunun kök uzun aksını terk ettiği nokta ile apikal foramen arasındaki doğrunun kesiştiği köşedeki aç kök eğriliğinin derecesini vermektedir. Leonardi ve ark (2007), kanal girişinden eğimin koronal kısmına çizilen doğru ile apekten eğimin apikal kısmına çizilen doğrunun kesiştiği köşenin eğriliğin açısını verdiği, Weine yöntemini kullanmışlardır. Karataşlıoğlu ve ark (2018) ise kanal eğriliklerini üç boyutlu bir değerlendirme ile belirlemiştir.

Irrigasyon iğnelerinin çalışma boyundan 1-5 mm kısa olacak şekilde yerleştirildiği, düz ve orta derecede kavisli kök kanallarında da anlamlı bir fark bulunamamıştır. Eğimli kök kanallarında, iğnenin uç kısmı apikal eğriliğe ulaşabiliyor ise, irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonunun düz kök kanallarına benzer olduğu düşünülmektedir (Psimma ve ark 2013).

1.6. İrrigasyon Solüsyonunun Ekstrüzyon Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Apikal ekstrüzyon miktarının kantitatif olarak ölçülmesi amacıyla araştırmacılar tarafından farklı in vitro çalışma düzenekleri ve yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu düzenekler arasında en fazla kabul gören ve daha sonra birçok çalışmada kullanılan sistem Myers ve Montgomery (1991) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde preparasyon yapılacak diş kauçuk bir stopper içinden geçirilerek sabitlenmektedir. Bu stopper dişin apeksi biriktirme kabının içinde asılı olacak şekilde ise kök ucundan dışarı itilen debris ve yıkama solüsyonlarının biriktirileceği cam bir kap üzerine yerleştirilir ve cam kabın ağzına sabitlenir. Kauçuk stopper cam kap üzerine yerleştirildikten sonra içinden bir enjektör geçirilmektedir. Böylelikle iç ve dış basınçların eşitlenmesi sağlanmaktadır. Deney düzeneği bu unsurlardan oluşmakla beraber, daha sonraları debris ve solüsyonun biriktirilmesinde bazı modifikasyonlar da yapılmıştır. İşlemden önce ve sonra içinde debris ve irrigasyon solüsyonu biriktirilen kap hassas terazi ile tartılarak aradaki fark saptanır ve kantitatif olarak ekstrüze olan madde miktarı elde edilir. Biriken debris miktarının belirlenmesi için, solüsyonun inkübatör aracılığıyla uzaklaştırılması gerekir. Sadece ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı ise, biriktirme kabının yanına 0.5 ml'lik kalibre edilmiş bir rehber kap yerleştirilerek ya da daha önce ventilasyon için yerleştirilen enjektör yardımıyla taşan sıvının çekilmesi belirlenebilir. Başka çalışmalar da ise taşan solüsyon miktarı yine aynı model kullanılarak mikropipetler yardımıyla ölçülmüştür. Araştırmacılar bu yöntemle debrisin yanında irrigasyon solüsyonu miktarını da kantitatif olarak belirlemişlerdir (Tinaz ve ark 2005, Kuştarcı ve ark 2008, Mohammadi 2009).

Altundaşar ve ark (2011) ise periapikal dokuyu taklit etmek için, her bir dişin kökünün ucuna, küp şeklinde bir çiçek köpüğü parçası yerleştirmiştir. Kemomekanik preparasyonun ardından, dişler kurutularak köpük küpleri düzenden ayrılmıştır. Her köpük küpünün ağırlığı, hassas terazi ile ölçülmüş, işlem yapılmadan önceki ağırlığın çıkarılmasıyla irrigasyon solüsyonu ve debris miktarı ölçülmüştür.

Ekstrüze olan irrigant miktarını belirlemek için ph değişimine duyarlı indikatörlerden de yararlanılabilir. Dişler kendiliğinden sertleşen akrilik rezin kullanılarak, plastik kutucuklar içerisindeki %0.1'lik m-creosol purple içeren

%0.2'lik agar jelle sabitlenmektedir. M-creosol purple, pH=7.4'ten pH=9.0'a yükseldikçe, sarıdan mora doğru renk değişimi gösteren bir indikatördür. pH=11.4 olan NaOCl'nin ekstrüzyonu ile jel içerisinde mora doğru bir renk değişimi gözlenir. M-creosol purple dışında başka asit baz indikatörleri de kullanılabilir (Jamleh ve ark 2016). İrrigasyon solüsyonunun difüze olması amacıyla her bir örnek için eşit süre beklenildikten sonra, sabit mesafeden dijital kamera aracılığıyla agar jel fotoğraflanır. Standartlaştırılmış fotoğraflar aracılığıyla renk değişikliği meydana gelen alan piksel cinsinden, Adobe Photoshop 7 programı kullanılarak, analiz edilmektedir (Mitchell ve ark 2010, İriboz ve ark 2015, Yost ve ark 2015).

Psimma ve ark (2013) yaptığı çalışmada ise elektrolit konsantrasyonundan faydanmıştır. Her bir diş alt kısmı kesilmiş plastik şişelerin içerisine kendiliğinden sertleşen akrilik rezin kullanılarak sabitlenmiş, kökün apikal 5 mm'lik kısmı akrilik rezin içerisine gömülmemiştir. Periapikal lezyonun taklit edilmesi ve irrigasyon solüsyonunun birikmesi için içerisine distile su koyulmuş plastik şişeler kullanılmıştır. Bu şekilde hazırlanan her örnek özel olarak tasarlanmış, deney düzeneğine monte edilmiştir. İrrigasyon için kullanılacak her bir iğne konumunun sabitlenmesi için T konnektöre takılmıştır. Bir teflon tüp yardımıyla, infüzyon pompasındaki şırınga T konnektöre sabitlenmiştir. Şişenin içerisindeki elektrolit konsantrasyonu, nokta iletkenlik probu (Voloudakis ve ark 1999, Moisidis ve Kastrinakis 2010) kullanılarak iyodometrik titrasyon ve/veya iyon kromatografisi aracılığıyla belirlenmiş ardından ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı hesaplanmıştır (Psimma ve ark 2013).

Ekstrüze olan irrigasyon solüsyonunun miktarını belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri de spektrofotometrik analizdir. Spektrofotometre, ışık kaynağının dalga boyunu ve yoğunluğunu ölçebilen bir fotometredir. Kontrol veya kalibrasyona bağlı olarak, hangi maddelerin ne kadar bulunduğu dalga boyları hesaplamaları ile karar verilebilir (Yamazaki ve ark 1992). Bu yöntemde ekstrüze olan irrigantın her bir örneğine, indikatör eşit miktarda ilave edilir. Standartlar hazırlanırken ise, eşit miktarda indikatör bilinen miktarda NaOCl'nin içine ilave edilir. Ardından örnekler vortekslenir (karıştırılır). Her numuneden belli bir miktar 96 oyuklu plakaya pipetlenir ve spektrofotometre ile okunur. Küçük miktarlardaki (0.5µl) NaOCl bile, renk değişikliği ile kolayca tespit edilebilir. Küçük hacimler için (<30 µl), renk artan

miktarda NaOCl ile yoğunlaşırken, büyük miktarlar konvansiyonel olarak ölçülebilir (Rodríguez-Figueroa ve ark 2014). Spektrofotometrik analizde indikatör olarak iyodin (Kıvanç ve ark 2015), m-creosol purple (Rodríguez-Figueroa ve ark 2014), taurin (Azim ve ark 2018) kullanılabilir.

Peeters ve ark (2008) ise, periapikal lezyonlu açık apeksli dişlerde yaptıkları in-vivo çalışmada, kontrast madde ve radyografi kombinasyonunu kullanarak, çeşitli irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin, solüsyonun apikal ekstrüzyonuna etkisini değerlendirmişlerdir. Iomeprol, suda çözünen, non-toksik, steril, yeni nesil noniyonik intravasküler kontrast maddedir. Nöroradyoloji, anjiyografi ve bilgisayarlı aksiyal tomografide kontrast ajan olarak yaygın kullanılır; ancak diş hekimliğinde nadiren kullanılmaktadır. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışmada, periapikal dokularda radyografik olarak değerlendirmeyi sağlayan bir kontrast madde olarak iomeprolü %2,5 NaOCl ile karıştırılarak kullanılmıştır (Peeters ve ark 2018).

1.7. Apikal Ekstrüzyonun Klinik ve Biyolojik Önemi

Irrigasyon solüsyonlarının, kök kanalı içerisindeki dentin duvarına teması amaçlanmış olmasına rağmen, istenmeden de olsa apeksten taşarak periapikal doku ile temasa geçebilmektedir (Hauman ve Love 2003). Taşkın preparasyon, enfekte debrisin ve irrigasyon solüsyonlarının apikal ekstrüzyonu, periapikal alanda akut immun yanıtın uyarılmasına neden olan en önemli faktör olarak görülmektedir. Özellikle asemptomatik, periapikal lezyonlu nekrotik dişlerde, enfekte edici endodontik mikrobiyaya ve periradiküler dokulardaki konakçı savunma arasında bir denge vardır. Kemomekanik preparasyon sırasındaki apikal ekstrüzyon bu dengeyi bozar (Siqueira Jr 2003). Kök kanal preparasyonu sırasında apikal ekstrüzyonla ilişkili veya bunun sonucu olarak ortaya çıkan en önemli komplikasyonlardan biri, hem hasta hem de diş hekimi için arzu edilmeyen bir olay olan ve bazı yazarlar tarafından “flare-up” olarak tanımlanan seanslar arası alevlenmeler ve postoperatif ağrıdır (Seltzer ve Naidorf 1985, Alamassi 2017).

Düşük konsantrasyonda NaOCl vital dokular için non-toksiktir ve kan dolaşımı ile uzaklaştırılabilir (Harrison ve ark 1983). Fakat yüksek konsantrasyonlarda son derecede toksik olabilmektedir (Spangberg ve ark 1973) ve temasta doku tahrişine yol açma eğilimindedir (Dakin 1915). Heggars ve ark (1991), *in-vitro* ve *in-vivo* modellerde NaOCl'nin bakterisidal özelliklerine göre yara

iyileşmesini incelemişlerdir. Bakterisidal olduğu, ancak doku için toksik olmadığı %0.025 NaOCl'nin en güvenli konsantrasyon olduğu sonucuna varmışlardır (Heggors ve ark 1991).

NaOCl'nin kök apeksinin dışına taşması sonucu gelişen ani ağrı, çok hızlı gelişen şişlik, sızıntı şeklinde durmayan kanama NaOCl kazasının en belirgin bulguları olsa da, bazı durumlarda sekonder enfeksiyon ve parestezi ile karakterize şiddetli doku reaksiyonları görülebilmektedir (Reeh ve Messer 1989, Ehrich ve ark 1993). Aynı zamanda, NaOCl'e karşı gelişen aşırı duyarlılık reaksiyonlarına ait vaka raporları mevcuttur (Kaufman ve Keila 1989, Çalışkan ve ark 1994, Dandakis ve ark 2000, Hülsmann ve Hahn 2000). ABD'de endodontistler ile yapılan bir anket çalışmasında, % 42'si en az bir kez NaOCl kazası yaşadığı belirtse de (Kleier ve ark 2008), bu kazaların görülme sıklığının nadir olduğu da bildirilmiştir (Crincoli ve ark 2008) . Periapikal lezyonun görüldüğü nekrotik vakalarda ve maksiller dişlerde mandibular dişlere göre daha yaygın olmakla birlikte ilgili dişin prognozu NaOCl kazasından olumsuz etkilenmez (Kleier ve ark 2008).

Apikal foramenden taşan, şelasyon ajanlarının inflamatuvar doku reaksiyonuna neden olup olmayacağı konusunda çok fazla tartışma vardır. Yapılan klinik bir çalışmada, vital ve nekrotik pulpaları olan dişlerde, %15'lik EDTA'nın (pH=7.3) insan periapikal dokusu ve pulpal doku üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Apikal daralım kasıtlı olarak bozulup, EDTA'nın ekstrüze olmasının sağlandığı bu çalışmada, 14 aylık takip süresinden sonra hiçbir periapikal doku hasarı tespit edilememiştir. Histolojik incelemede normal olarak rejenere olmuş alveolar kemik ve yeni fonksiyonel periodontal ligament lifleri saptanmıştır (Ostby 1957). Başka bir çalışmada, %10'luk EDTA ve %15'lik EDTAC solüsyonlarının ratlara enjeksiyonundan sonra, %15'lik EDTAC'ın daha fazla doku reaksiyonuna neden olduğu gösterilmiştir (Patterson 1963). EDTA'nın yıkama solüsyonu olarak kullanıldığı 200 klinik vakanın hiçbirinde periapikal doku hasarı meydana gelmemiştir. Sonraki çalışmalar EDTA'nın kolajeni yok edemediğini göstermiştir (Lindemann ve ark 1985).

Önceki bulguların aksine, bazı çalışmalar %15'lik EDTA-Na çözeltisinin in vitro toksik etkileri olduğu (Masillomani ve ark 1981) ve EDTA-T çözeltisinin hücre büyümesini tamamen engellediği (Scelza ve ark 2001) sonucuna varmışlardır.

%15'lik EDTA ve EDTAC (pH 7.3) çözeltilerinin dokuyu ciddi düzeyde tahriş etme kapasitesine sahip olduğu gösterilmiştir. Aynı zamanda, %15'lik ve %17'lik EDTA'nın, %2.25'lik NaOCl ile birlikte kullanıldığında ciddi sitotoksik etkiler oluşturduğu, her iki solüsyonun sadece %1'lik çözeltilerinin kabul edilebilir reaksiyonlar yarattığı tespit edilmiştir (Koulaouzidou ve ark 1999). EDTA'nın tüm konsantrasyonlarda, oksijenli su ve NaOCl'den daha fazla sitotoksik etki yarattığı, kemomekanik preparasyon sırasında ekstrüzyondan kaçınılması gerektiği belirtilmiştir (Serper ve ark 2001).



2. GEREÇ VE YÖNTEM

Farklı iğne dizaynı ve iğne yerleştirme derinliklerinin kök kanalının apikal üçlü temizliği ve irrigantların apikal ekstrüzyonu üzerine etkilerinin değerlendirildiği mevcut tez çalışmasının etik kurul onayı Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Etik Kurulu'nun 24/10/2019 tarih ve 2019/06 sayılı kararı ile alındı (Ek-1). Çalışmada örneklerin hazırlanması Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Merkezi'nde, SEM incelemeleri Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde ve apikal ekstrüzyon miktarları tayini Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Laboratuvarlarında gerçekleştirildi.

2.1. Çalışmada Kullanılacak Örneklerin Seçimi

Çalışmada; debris ve smear tabaka uzaklaştırma etkinliklerinin değerlendirilmesi için 160 adet, final irrigasyonu sırasında oluşan apikal ekstrüzyonun değerlendirilmesi için 20 adet olmak üzere toplam 180 adet ortodontik ya da periodontal nedenlerle çekilmiş ve kök gelişimini tamamlamış tek köklü insan premolar dişleri kullanıldı.

Dişlerin çalışmaya dahil edilme kriterleri:

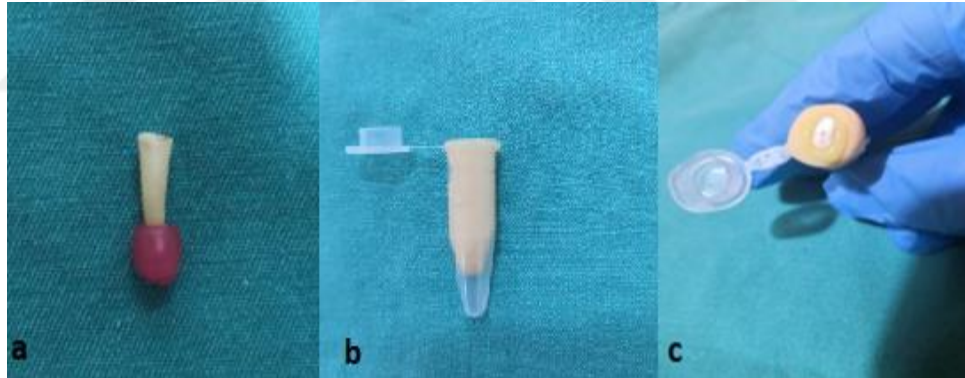
- Tek köklü ve yuvarlak bir kök kanalının varlığı
- Gözle görülür kök çürüğü, restorasyon, çatlak ve/veya kırık olmaması
- İnternal / eksternal rezorpsiyon veya kalsifikasyon belirtilerinin olmaması
- Önceden kök kanal tedavisi yapılmamış dişler
- 5°-10°'den daha fazla eğriliği olmayan kökler (Schneider'e göre 5°-10°'den daha fazla eğriliği olmayan kökler düz olarak kabul edilmektedir. Tek ve düz kanal varlığını doğrulamak, kalsifiye kök kanalına sahip dişleri çalışma dışı bırakmak ve kök kanal boyutlarını değerlendirmek için preoperatif meziodistal ve bukkolingual radyografiler alındı)

Dişler, üzerlerindeki organik kalıntıları gidermek için %2.5'lik NaOCl içinde iki gün boyunca oda sıcaklığında bekletildi. Bu süre sonunda diş taşı ve yumuşak doku kalıntıları mekanik temizlemeyle uzaklaştırıldı ve daha sonra kullanılıncaya kadar timol çözeltisi içerisinde bekletildi.

2.2. Kök Kanal Preparasyonu için Örneklerin Hazırlanması

Standardizasyonu sağlamak amacıyla öncelikle tüm dişler, apikal bölgeden itibaren boyları $13 \pm 0,5$ mm olacak şekilde, su soğutması altında, ince grenli elmas separe (Horico Dental, Berlin, Almanya) kullanılarak kronlarından ayrıldı. Tüm örneklerde #10 K-tipi el eğesi (VDW, Münih, Almanya) ile apikal açıklık kontrol edildi. #10 K-tipi eğenin, apikal foramenin en fazla 1 mm ötesine ilerlemesine izin veren kökler seçildi. Apikal çapı daha büyük olan kökler çalışma dışı bırakıldı. Daha sonra apikal foramenden eğenin çıktığı nokta (anatomik apeks) ile örneğin koronal kısmı arasında ölçülen boydan 0,5 mm çıkarılarak çalışma boyu belirlendi. Aynı eğe şekillendirme boyunca apikal açıklığı korumak amacıyla kullanıldı.

Köklerin apeksi kapalı bir kök kanal sistemi oluşturup, vapor-lock efekti ve periapikal direnci taklit etmek amacıyla mum ile kaplandı (Şekil 2.2.1.a) ve ardından silikon ölçü maddesi ile eppendorf tüpleri içerisine yerleştirildi (Şekil 2.2.1.b). Silikon-diş ara yüzeyi, irrigasyon solüsyonu sızıntısını önlemek amacıyla, akışkan kompozit ile kapatıldı (Şekil 2.2.1.c).



Şekil 2.2.1. a) Köklerin apeksinin mum ile kaplanması b) Apeksi mum ile kaplanmış köklerin silikon ölçü maddesi ile eppendorf tüpleri içerisine yerleştirilmesi c) Silikon-diş ara yüzeyinin akışkan kompozit ile kapatılması

2.3. Debris ve Smear Tabaka Uzaklaştırma Etkinliklerinin Değerlendirilmesi için Grupların Oluşturulması ve Örneklerin Şekillendirilmesi

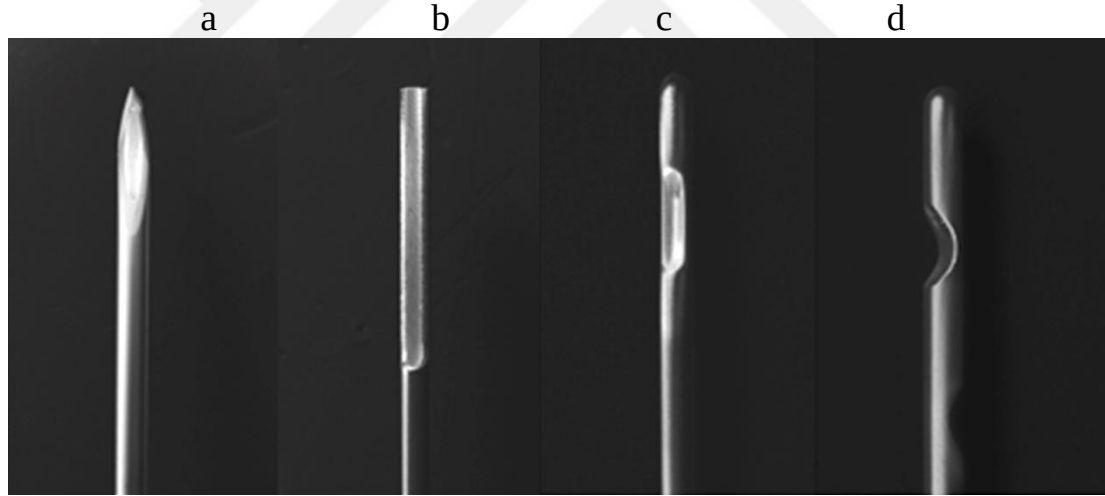
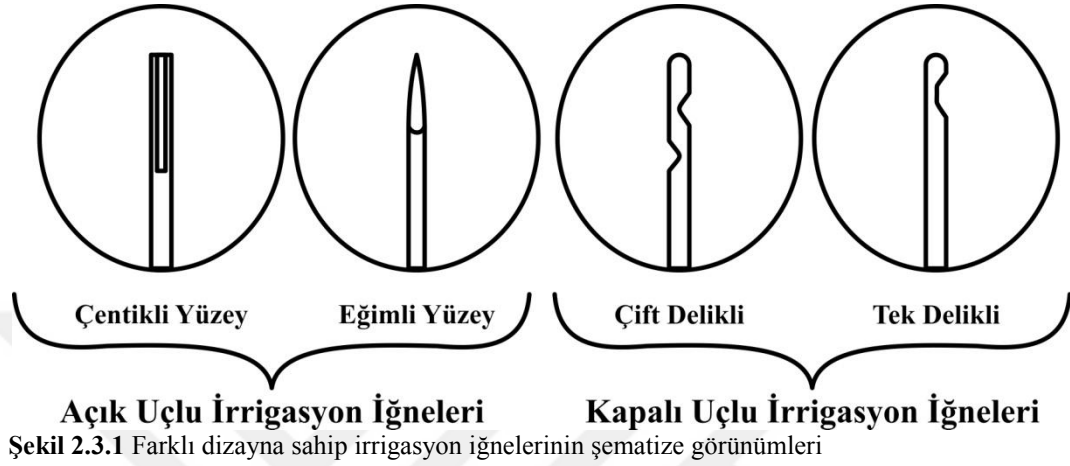
Kökler; preparasyonda ve final irrigasyonunda kullanılacak irrigasyon iğnesinin dizaynına göre 4 farklı gruba ayrıldı (n=80) (Şekil 2.3.1):

Grup 1: Açık uçlu eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğnesi (BD Microlance™ 3, ABD)

Grup 2: Açık uçlu çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğnesi (Appli-Vac, Racine, ABD)

Grup 3: Kapalı uçlu tek delikli irrigasyon iğnesi (NaviTip, KerrHawe, Bioggio, İsviçre)

Grup 4: Kapalı uçlu çift delikli irrigasyon iğnesi (C-K ENDO, Neco, Londra, İngiltere)



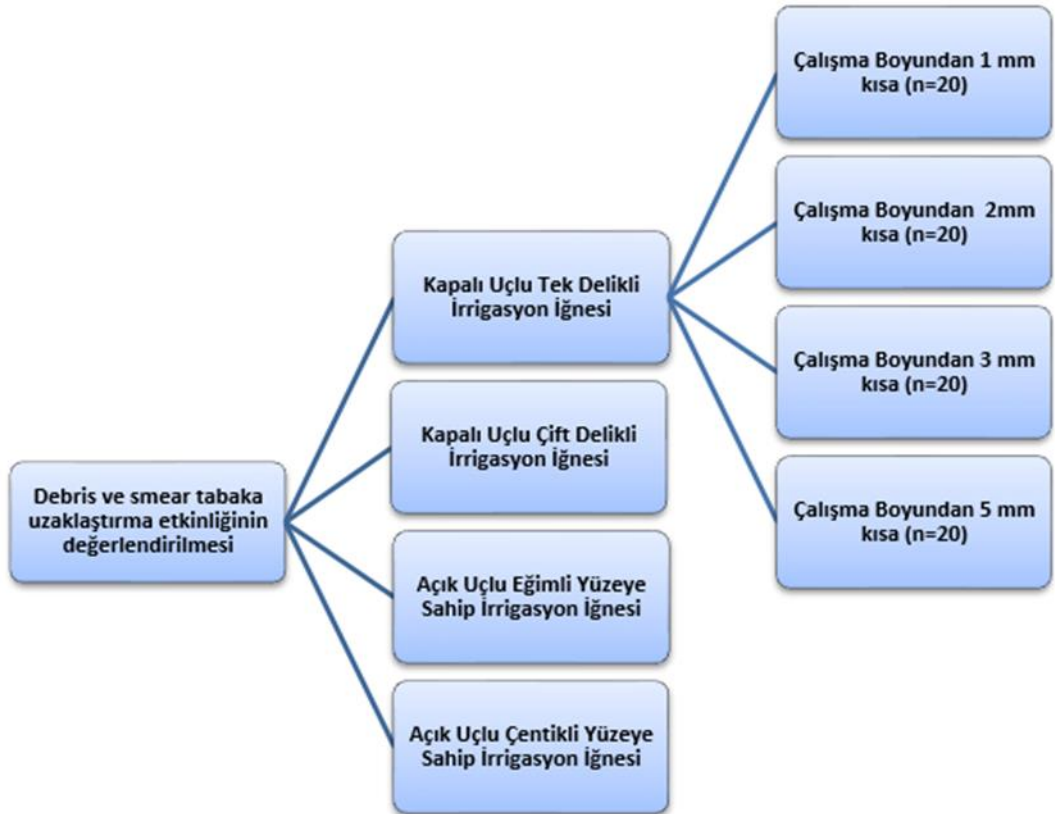
Şekil 2.3.2. İrrigasyon sırasında kullanılan farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin SEM görüntüleri (x50). (a, b) Açık uçlu irrigasyon iğneleri a) Eğimli yüzey b) Çentikli yüzey (c, d) Kapalı uçlu irrigasyon iğneleri c) Tek delikli d) Çift delikli

Belirtilen dört çalışma grubunda, irrigasyon iğneleri (30 G) çalışma boyundan 1, 2, 3 ve 5 mm kısa olacak şekilde kullanılmak üzere, kendi içerisinde rastgele seçilerek 4 alt gruba daha ayrıldı (n=20) (Tablo 2.3.1). Şekillendirme işlemi boyunca her eğe arasında 2 ml %5'lik NaOCl (İmident, Konya, Türkiye) ile irrigasyon yapıldı. İrrigasyon boyunca, şırınga içerisindeki yani iğne girişindeki akış hızı, şırıngalı infüzyon pompası kullanılarak 4 ml/dk olacak şekilde sabit tutuldu.



Şekil 2.3.3. İrrigasyon esnasında solüsyonun sabit akış hızında verilebilmesi için kullanılan şırıngalı infüzyon pompası

Tablo 2.3.1. Debris ve smear tabaka uzaklaştırma etkinliklerinin değerlendirilmesi için oluşturulan gruplar

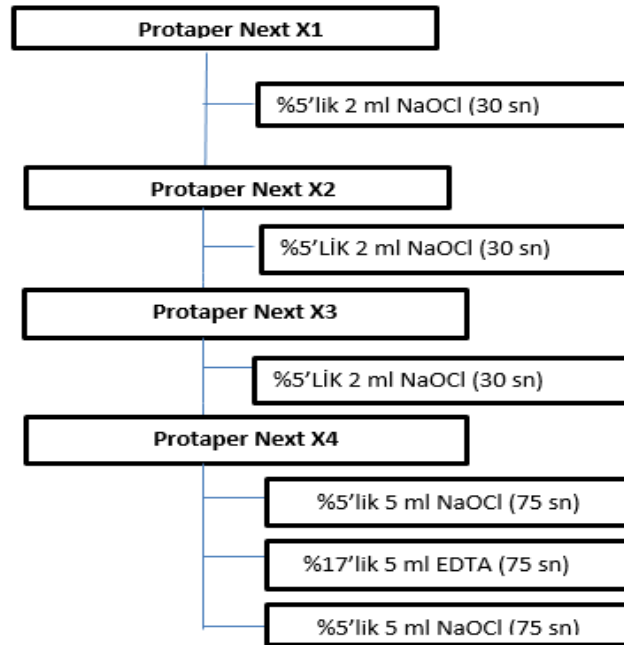


Preparasyon sırasında, VDW Silver tork kontrollü endodontik motor (VDW, M n h, Almanya) ve ProTaper Next (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) döner alet sistemi üretici firma talimatlarına uygun olarak kullanılarak, crown-down tekniği ile her bir örneğin apikal  apı X4 (ISO #40, taper 0.06) olacak şekilde kök kanal  ekillendirmeleri tamamlandı.

2.4. Smear Tabaka ve Debris Uzaklaştırılması için Final İrrigasyon Protokolünün Uygulanması

Smear tabaka ve debris uzaklaştırma etkinliklerinin inceleneceği örneklerde, final irrigasyonda 5 ml %5'lik NaOCl, ardından 5 ml %17'lik EDTA (Canalpro™, Coltene Whaledent, Zürih, İsviçre) ve tekrar 5 ml %5'lik NaOCl kullanıldı (Tablo 2.4.1). Kök kanal şekillendirmesi ve final irrigasyonu sırasında, farklı dizayna sahip irrigasyon iğneleri (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek ve çift delikli)  alı ma boyundan 1, 2, 3 ve 5 mm kısa olacak şekilde irrigasyon iğnesinin apikal sınırı korunarak, 1-2 mm genliklerle ileri-geri hareket ettirilerek kullanıldı (Tablo 2.3.1).

Tablo 2.4.1 Smear tabaka ve debrisin uzaklaştırılması için kullanılan irrigasyon protokolü



İşlemlerden sonra her bir kökte, kök kanalında kalan solüsyonlar 2 ml distile su ile uzaklaştırıldı. Ardından kökler eşit sayıda (3 adet) kullanılan #X4 paper-

pointler (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ile kurutuldu. Bu işlemlerin tamamlanmasından sonra apikal kısmı mum ile kaplı olan kökler, silikon ölçü maddesi içerisindeki eppendorf tüplerinden çıkarıldı.

2.5. Örneklerin Scanning Electron Microscope (SEM)' da İncelenmek Üzere Hazırlanması

Köklerin bukkal ve lingual yüzeyleri perfore edilmeden uzun eksenleri boyunca elmas disk yardımıyla ince oluklar açıldı. Daha sonra ince oluklara yerleştirilen keskin bir spatül yardımıyla kökler ikiye ayrıldı.

Tüm örnekler, 50°C'de 48 saat etüv cihazında (Nüve Inkübatör EN 120, Ankara, Türkiye) dehidrate edildi. Smear tabaka ve debrisin SEM (EVO LS10, Zeiss, Oberkochen, Almanya)'de değerlendirilmesi amacıyla, kaplama cihazı (Cressington sputter coater 108 auto, Cressington MTM-20, Elektronen-Optik Service, Dortmund, Almanya) kullanılarak, örnekler vakum altında, 90 angstrom (Å) kalınlığında altın kaplama yapıldı.

2.6. SEM'de Örneklerin Değerlendirilmesi

İkiye ayrılan kök parçalarının rastgele seçilen bir yarısında kök kanalına ve apikale eşit mesafelerde olacak şekilde değerlendirme yapılacak ortak alan belirlendi. Daha sonra her bir örneğin apikal üçlüsündeki bu alanlardan x300 ve x1000 büyütmede görüntüler alındı.

Smear Tabaka ve Debris için SEM İncelemeleri ve Skorum

Kök kanalının apikal üçlüsündeki smear tabaka ve debris skorlamaları SEM görüntüleri üzerinde farklı mesleki deneyime sahip iki kör operatör tarafından yapıldı. Smear tabaka skorlamaları için x1000, debris skorlamaları için x300 büyütmede alınan görüntüler kullanıldı.

Smear tabaka ve debris değerlendirmeleri Parente ve ark (2010) tarafından oluşturulup, Çapar ve Arı Aydınbelge (2017) tarafından modifiye edilen skorlamalara göre yapıldı.

Smear tabaka skorum:

Skor 1: Smear tabakası yok ya da çok az miktarda ($\leq 5\%$) ve dentin tübülleri tamamına yakın açık

Skor 2: Az miktarda smear tabakası ($5\% < \leq 35\%$) mevcut ve dentin tübüllerinin bir kısmı açık

Skor 3: Bir miktar smear tabakası mevcut ($35\% < \leq 65\%$) ve dentin tübüllerinin bir kısmı açık

Skor 4: Kök kanal duvarlarının çoğunu kapsayan smear tabakası mevcut ($65\% < \leq 95\%$) ve dentin tübülleri nadir olarak açık

Skor 5: Kök kanal duvarlarının tamamını ya da tamamına yakını kapsayan smear tabakası mevcut ($95\% < \leq 100\%$) ve dentin tübülleri tıkalıdır.

Debris skorlaması:

Skor 1: Debris birikimi yok ya da kök kanal duvarının çok az bir kısmında ($\leq 5\%$) birikmiş küçük debris tanecikleri

Skor 2: Kök kanal duvarının az bir kısmında ($5\% < \leq 35\%$) biriken debris toplulukları

Skor 3: Kök kanal duvarının bir kısmında ($35\% < \leq 65\%$) birikmiş olan debris toplulukları

Skor 4: Kök kanal duvarının büyük çoğunluğunda ($65\% < \leq 95\%$) birikmiş debris toplulukları

Skor 5: Kök kanal duvarının tamamı ya da tamamına yakını ($\geq 95\%$) kaplayan debris toplulukları mevcut

Smear tabaka ve debris skorlamalarından sonra, skorlamaları yapan bağımsız operatörler arasındaki uyum da istatistiksel olarak değerlendirildi.

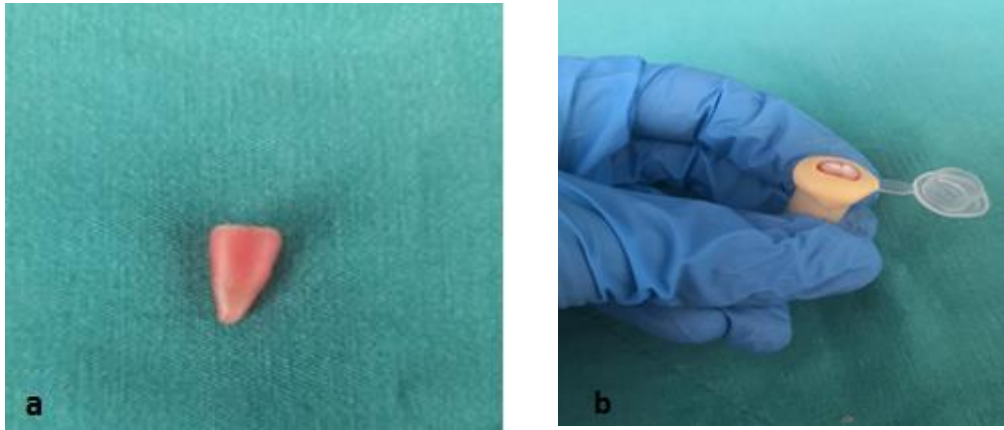
2.7. Final İrrigasyonu Sırasında Oluşan Apikal Ekstrüzyon Miktarlarının Değerlendirilmesi için Örneklerin ve Deney Düzeneklerinin Hazırlanması.

Kök kanal sisteminin şekillendirilmesi tamamlandıktan sonra final irrigasyonu yapılmadan apikal kısımları mum ile kaplı olan kökler (Şekil 2.2.1), silikon ölçü maddesi içerisindeki eppendorf tüplerinden çıkarıldı. Köklerin apikal forameni etrafındaki 1 mm'lik alan dışındaki tüm kök yüzeyleri iki kat şeffaf oje ile kaplandı.

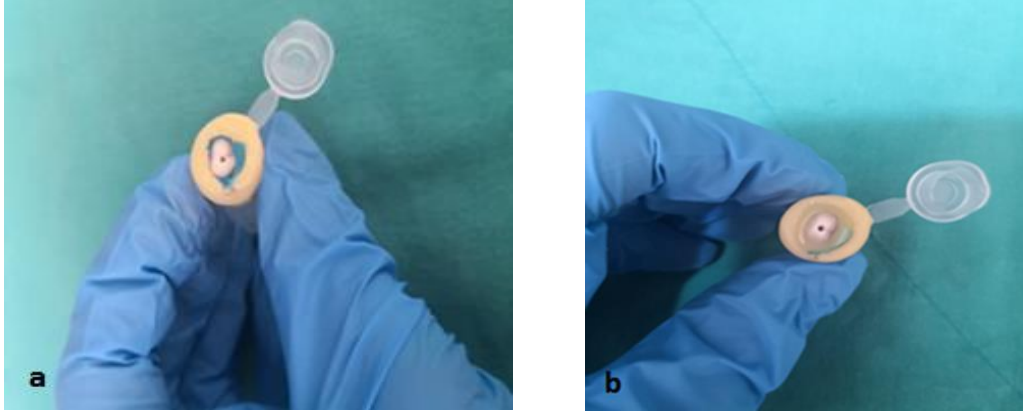
Apikal ekstrüzyon miktarlarının belirlenmesinde periodontal ligament ve alveolar kemiğin oluşturduğu alveolar soketin taklit edildiği kapalı sistem ve taklit edilmediği açık sistem olmak üzere iki farklı deney düzeneği kullanıldı.

Kapalı Sistem Deney Düzeneği

Kök kanal preparasyonu tamamlanmış olan köklerin dış yüzeyi ince bir tabaka kırmızı mum ile kaplandı (Şekil 2.7.1.a). Ardından, yeni karıştırılarak eppendorf tüpü içerisine yerleştirilmiş olan yüksek viskoziteli hidrofobik silikon ölçü materyali (Zetaplus, Zhermack, Rovigo, İtalya) içerisine konumlandırıldı (Şekil 2.7.1.b). Silikonun sertleşmesini takiben kök, silikon içerisinden çıkarılarak hem kök etrafındaki hem de silikon içinde oluşan boşluktaki mum sıcak su ile uzaklaştırıldı. Daha sonra; her bir kökün etrafı periodontal doku direncini simüle etmek amacıyla, düşük viskoziteye sahip hidrofobik silikon ölçü materyali (Zetaplus, Zhermack, Rovigo, İtalya) ile kaplanarak, alınan ilk ölçü içerisine yerleştirildi (Şekil 2.7.2.a). Böylece tüm kök yüzeyinin ince bir tabaka silikon ile kaplanması sağlandı. Apikal foramenin silikon materyali ile tıkanmadığından emin olmak için daha sonra kök oluşturulan yapay soketten çıkarılıp apikal açıklığı #10 numaralı K-tipi ege ile kontrol edilerek tekrar yerine yerleştirildi. Koronal kısımda kök ile silikon arasından irrigasyon solüsyonunun sızmasını önlemek için kök-silikon ara yüzeyi akışkan kompozit (Nova Compo SF, Imicryl, Konya, Türkiye) ile kapatıldı (Şekil 2.7.2.b).



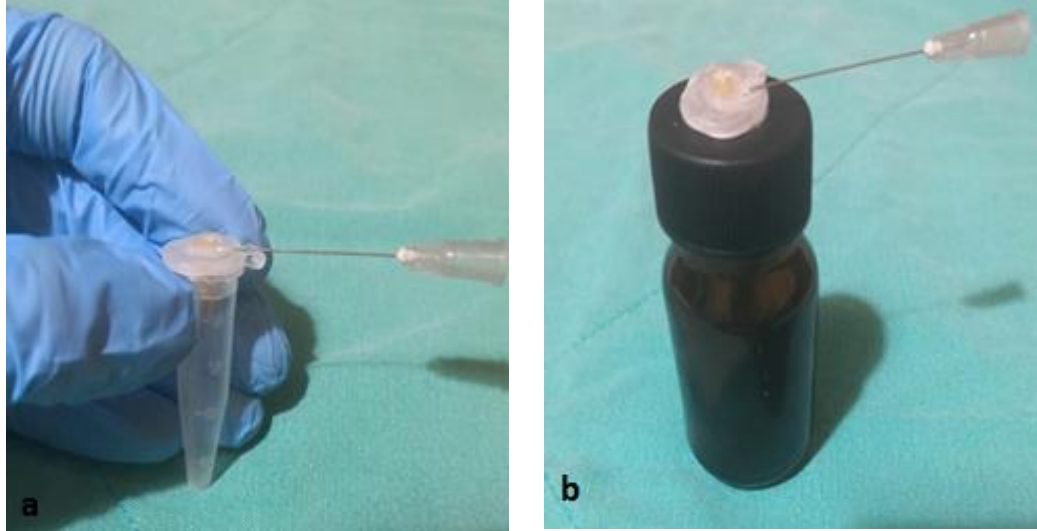
Şekil 2.7.1. a) Köklerin dış yüzeyinin ince tabaka kırmızı mum ile kaplanması **b)** Mum ile kaplanmış köklerin eppendorf tüpü içindeki yüksek viskoziteye sahip silikon ölçü maddesi içerisine yerleştirilmesi



Şekil 2.7.2. a) Mumun uzaklaştırılmasının ardından, kökün düşük viskoziteli silikon ölçü maddesi içerisine yerleştirilmesi **b)** Akışkan kompozit ile diş-silikon ara yüzeyinin kapatılması

Açık Sistem Deney Düzeneği

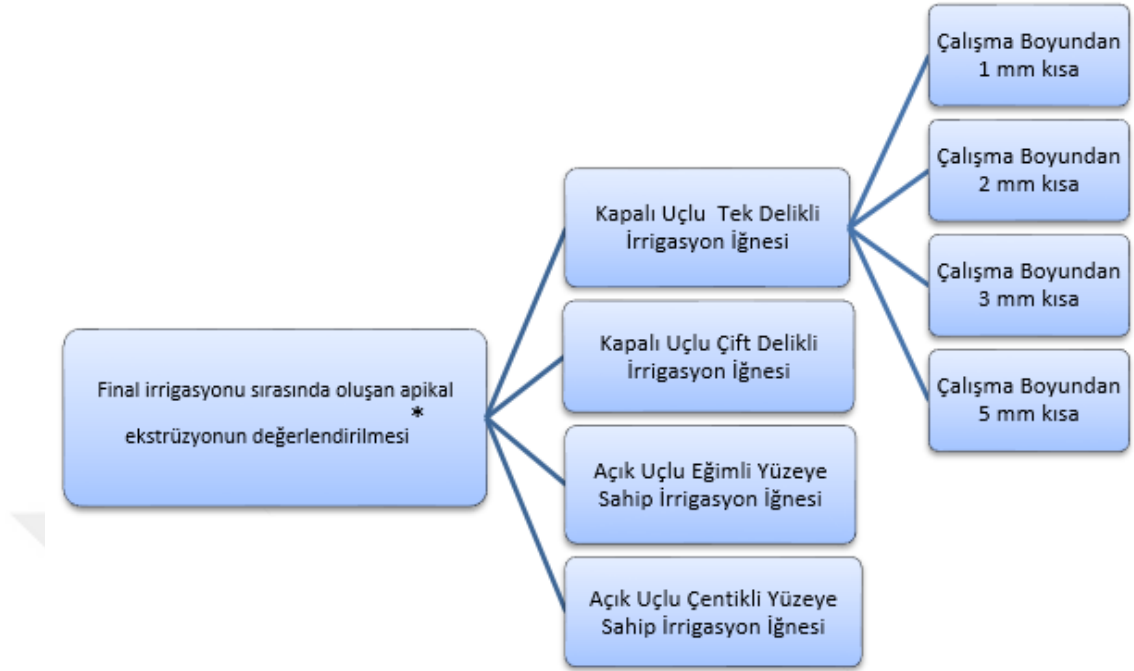
Deney düzeneği hazırlanırken Myers ve Montgomery (1991) tarafından geliştirilen düzenek esas alındı. Kök kanal preparasyonu tamamlanmış olan kökler sıcak bir alet yardımıyla, üzerinde delik açılan eppendorf tüplerinin kapaklarına parmak basıncıyla yerleştirildi (Şekil 2.7.3.a). Diş ile kapak arasındaki boşluklar siyanoakrilat (Pattex Hızlı Yapıştırıcı, Türk Henkel, İstanbul, Türkiye) yardımıyla sızdırmaz bir biçimde doldurularak kök kapağa sıkıca sabitlendi. Böylece kapak kapatıldığında kökün apikal kısmının eppendorf tüpü içerisinde kalması ve taşan solüsyonun burada toplanması amaçlandı. Tüp içindeki hava basıncı ve dış ortam hava basıncını dengelemek amacıyla tüp içerisinde sabit kalacak şekilde 27 G irrigasyon iğnesi kapaklara yerleştirildi. Hazırlanan tüplerin sabitlenmesi ve dış etkenlerden korunması için tüpler daha sonra cam şişelerin kapaklarında önceden hazırlanan uygun boşluklara oturtuldu ve böylece açık sistem deney düzeneği elde edildi (Şekil 2.7.3.b).



Şekil 2.7.3. a) Kök kanal preparasyonu tamamlanmış olan köklerin, üzerine delik açılan eppendorf tüpü kapağına yerleştirilmesi **b)** Eppendorf tüpünün cam şişenin kapağına yerleştirilerek açık sistem deney düzeneğinin hazırlanması

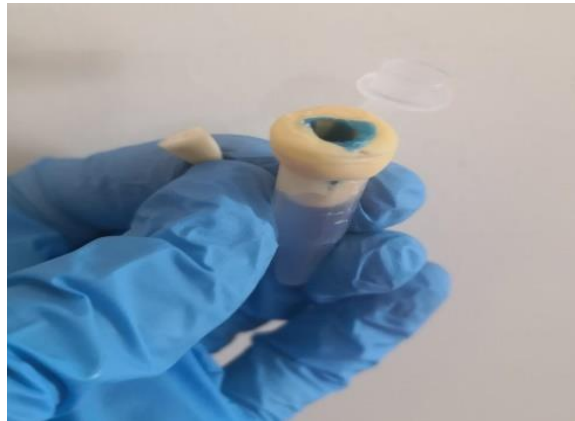
Her iki deney düzeneğinde de, farklı dizayna sahip irrigasyon iğneleri (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek ve çift delikli) ait olduğu araştırma grubuna göre çalışma boyundan 1-mm, 2-mm, 3-mm ve 5-mm kısa kullanılacak şekilde kendi içerisinde 4 alt gruba ayrıldı (Tablo 2.7.1). İrrigasyon iğneleri; ait olduğu çalışma grubundaki apikal uzaklığa bağlı kalacak şekilde, 1-2 mm genliklerle ileri-geri hareket ettirilerek kullanıldı. Final irrigasyonu esnasında 15 ml %5'lik NaOCl solüsyonu 4 ml/dk'lık sabit akış hızı ile kök kanal sistemine verildi. Solüsyonun akış hızının sabit tutulması için şırıngalı infüzyon pompası kullanıldı.

Tablo 2.7.1. Final irrigasyonunda oluşan apikal ekstrüzyonun değerlendirilmesi için grupların belirlenmesi (* örnekleri standardize edebilmek amacıyla, her bir grup için n=20 olacak şekilde aynı dişler kullanıldı)



2.8. Final Irrigasyonu Sırasında Oluşan Apikal Ekstrüzyon Miktarının Belirlenmesi

Kapalı sistem deney düzeneğinde NaOCl ile yapılan final irrigasyonunun ardından kök, düşük viskoziteli silikon ile taklit edilen alveoler soketten çıkarıldı (Şekil 2.8.1). Soket içinde kalan taşmış NaOCl solüsyonu üzerine her bir örnek için ölçüm öncesi standart 1 ml distile su ilave edilerek tüm solüsyon bir mikropipet aracılığıyla eppendorf tüpüne aktarıldı. Daha sonra tüp, taşan NaOCl miktarını Na^+ ve Cl^- iyonları molaritesi üzerinden μl olarak belirlemek üzere Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyokimya Laboratuvarında bulunan otoanalizör cihazında (Beckman Coulter AU 680, Japonya) analiz edildi.



Şekil 2.8.1. Kökün düşük viskoziteli silikon ile taklit edildiği alveoler soketten çıkarılması

İyon selektif elektrot (ISE) otoanalizör cihazında otomatik olarak solüsyondaki Na^+ ve Cl^- iyon molariteleri (mol/L) belirlendi. Ardından elde edilen Na^+ iyon molaritesi aşağıda belirtilen formüle yerleştirilerek taşan NaOCl hacmi μl olarak hesaplandı. Hesaplama Na^+ iyon molaritesi esas alındı ancak her ölçümde mutlaka Cl^- iyon molaritesi de sonucu kontrol edip doğrulamak amacıyla kullanıldı (Azim ve ark 2018).

$$X = \frac{(Y \cdot 10^{-6} / 20) / 74}{Y \cdot 10^{-6} + 1000 \cdot 10^{-6}}$$

X: Taşan NaOCl hacmi (μl), Y: Na^+ iyonlarının molarite (mol/L) değeri

Açık sistem deney düzeğinde her bir örnekte taşan solüsyon hacmi direkt olarak bir mikropipet aracılığıyla ml olarak ölçüldü. Bunun için; aynı kök üzerinde 3 kez uygulama yapıp elde edilen ortalama değer kullanıldı.

2.9. Verilerin İstatistiksel Analizi

Çalışmadan elde edilen verileri analiz etmek için, değerlerin normal dağılıma uygunluğu ve varyans eşitliğine bakılarak, parametrik veya parametrik olmayan testlerin uygulanabilirliğine karar verildi. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi kullanılarak değerlendirildi.

Yapılan Kolmogorov-Smirnov testi sonucunda, final irrigasyonu sırasında oluşan apikal ekstrüzyon miktarlarının değerlendirilmesi ile elde edilen veriler normal dağılım gösterdi. Analiz için parametrik testlerden iki yönlü varyans analizi (two-way ANOVA) , ikili karşılaştırmalar için bağımsız iki örneklem t testi, ikiden fazla grup için tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) testleri kullanıldı.

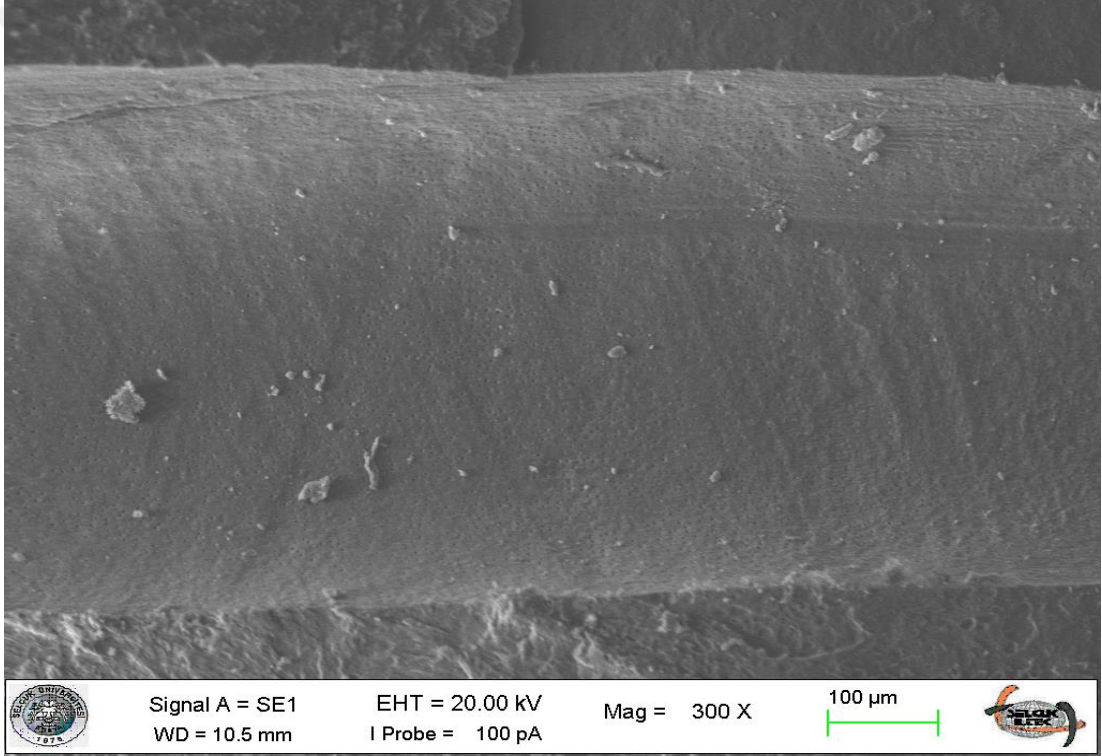
Debris ve smear tabakası skorlamaları, normal dağılım göstermediğinden, farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin etkinliklerini kıyaslamak için Kruskal-Wallis testi, ikili karşılaştırmalar için ise Mann-Whitney U testi kullanıldı. Skorum sırasında, iki operatör arasındaki skorum uyumu, kappa uyum analizi ile değerlendirildi.

İstatistiksel analizler SPSS 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) paket programı kullanılarak yapıldı. Elde edilen veriler %95'lik güven aralığında ($p < 0.05$) değerlendirildi.

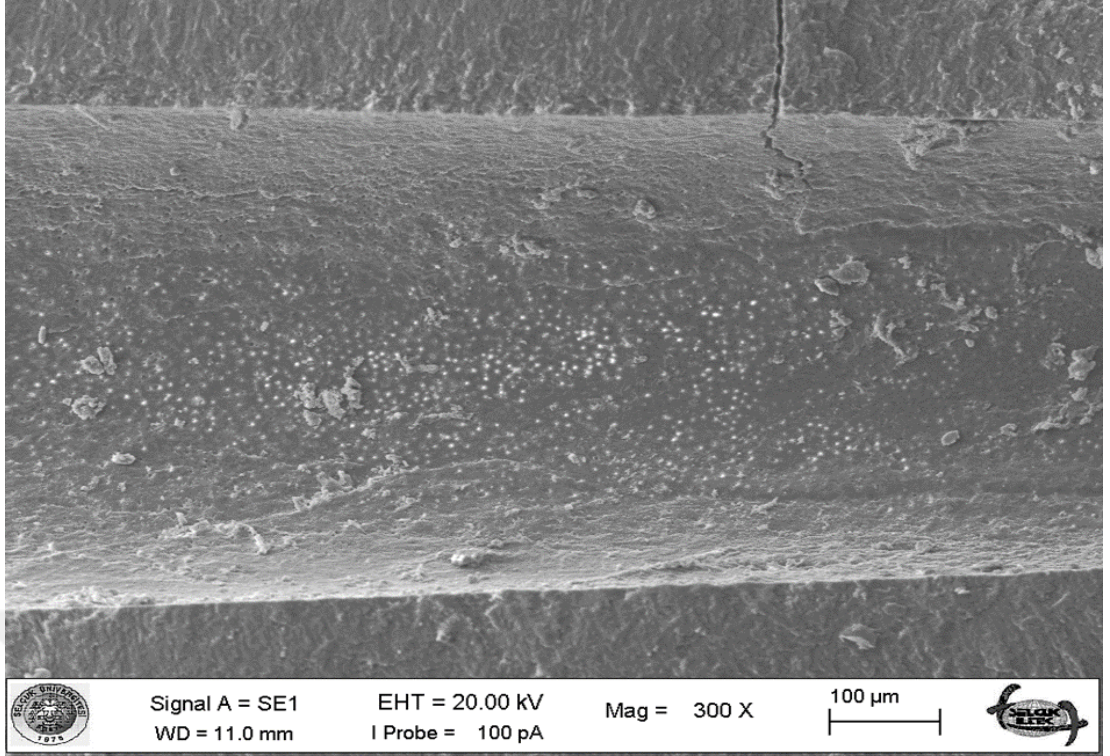
3.BULGULAR

3.1. Smear Tabaka ve Debris Uzaklaştırma Etkinliklerinin Değerlendirilmesine Ait SEM Görüntüleri

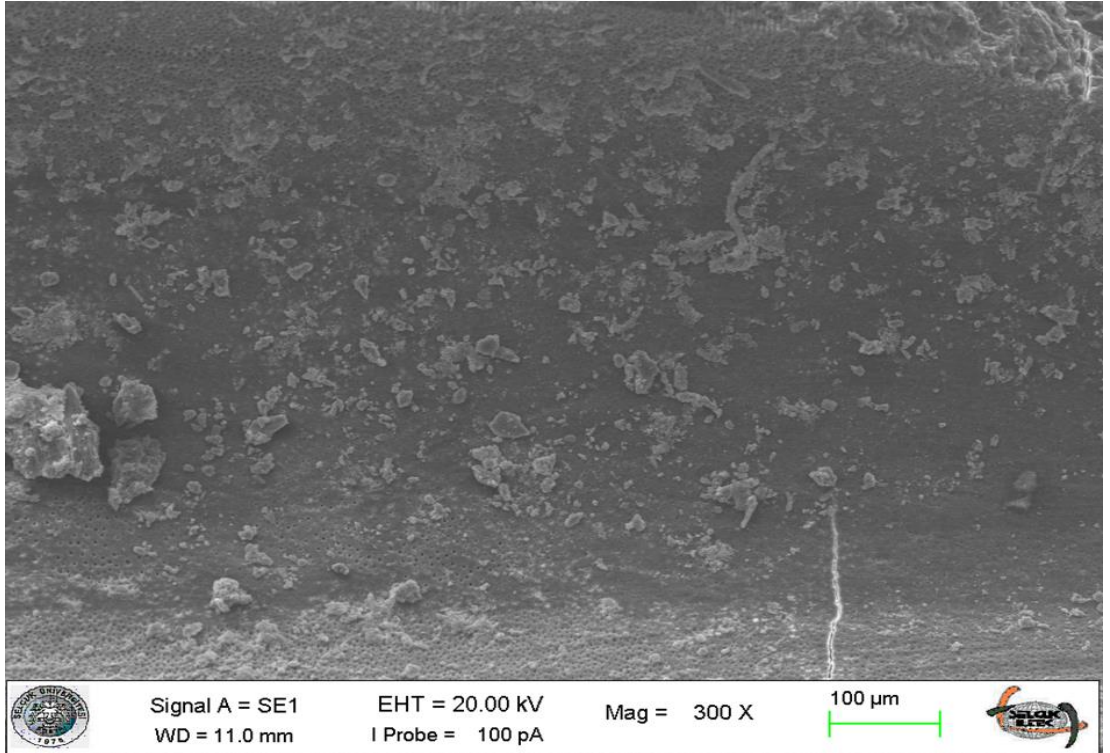
Kemomekanik preparasyonun ardından 4 farklı dizayna (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek ve çift delikli) sahip irrigasyon iğnesi, 4 farklı yerleştirme derinliklerinde (çalışma boyundan 1, 2, 3 ve 5 mm kısa) kullanılarak farklı mesleki deneyime sahip iki operatör tarafından smear tabakası ve debris skorlaması yapıldı. Debris skorlamalarına ait görüntüler **Şekil 3.1.1.** , **Şekil 3.1.2.** , **Şekil 3.1.3.** ve **Şekil 3.1.4.**'te gösterilmiştir. Çalışmamızda apikal uçluden debris uzaklaştırma etkinliği değerlendirilirken skor:5 seviyesi gözlemlenmemiştir.



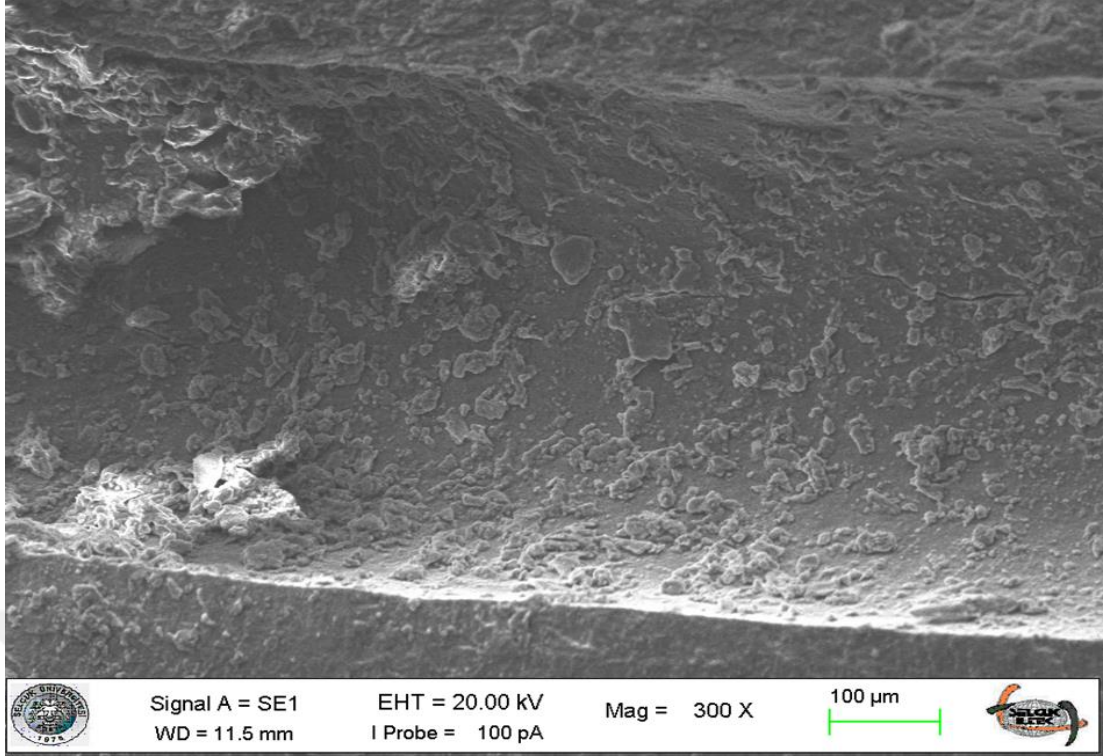
Şekil 3.1.1. Skor:1 Kök kanal duvarlarının çok az bir kısmında ($\leq 5\%$) birikmiş küçük debris tanecikleri mevcut ($\times 300$)



Şekil 3.1.2. Skor:2 Kök kanal duvarlarının bir kısmında ($5\% < \leq 35\%$) birikmiş olan debris toplulukları mevcut ($\times 300$)

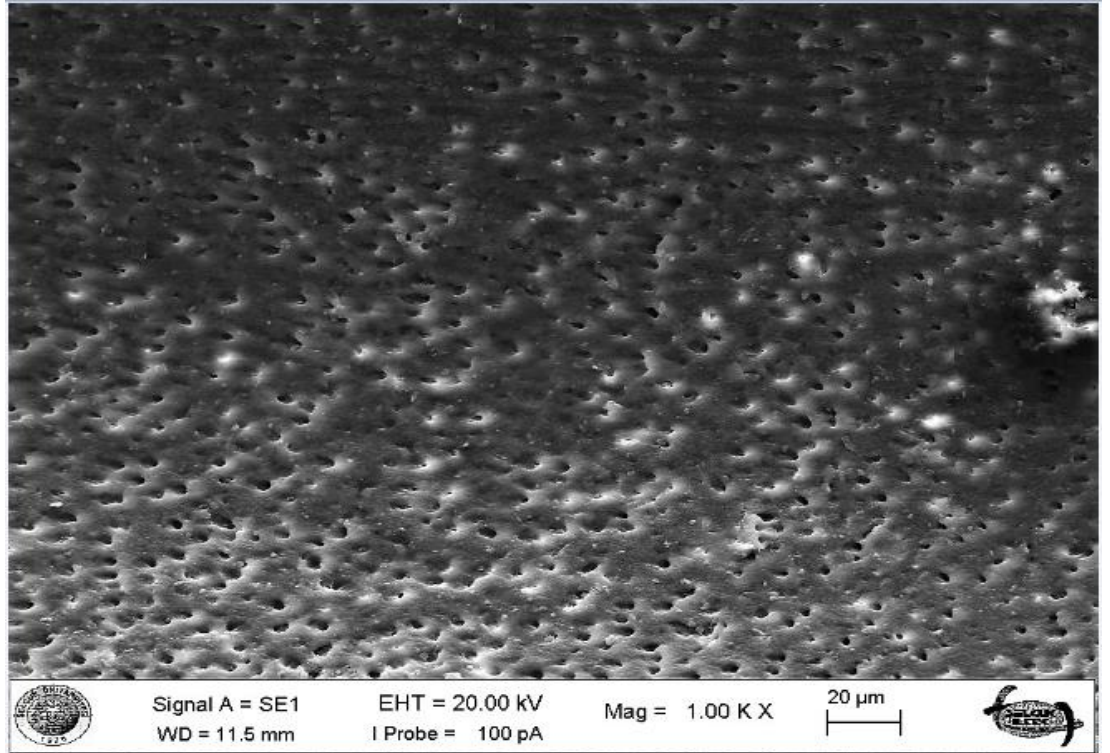


Şekil 3.1.3. Skor:3 Kök kanal duvarlarının büyük çoğunluğunda ($35\% < \leq 65\%$) birikmiş debris toplulukları mevcut ($\times 300$)

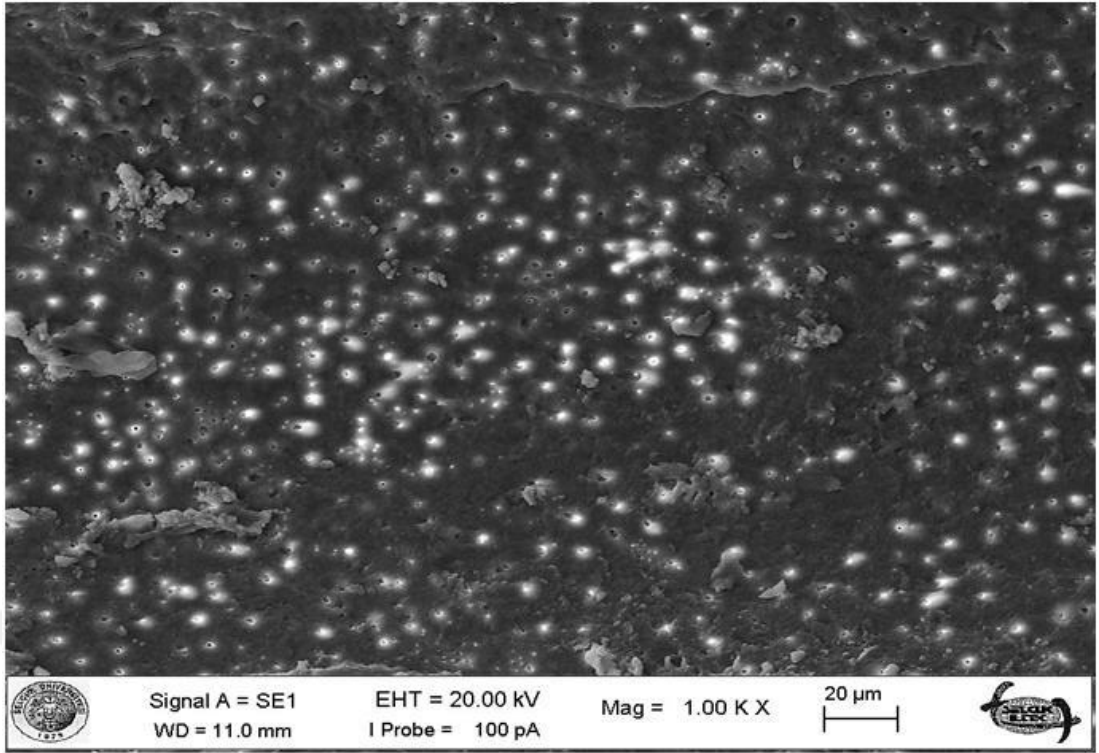


Şekil 3.1.4. Skor:4 Kök kanal duvarlarının büyük çoğunluğunda ($65\% < \leq 95\%$) birikmiş debris toplulukları mevcut ($\times 300$)

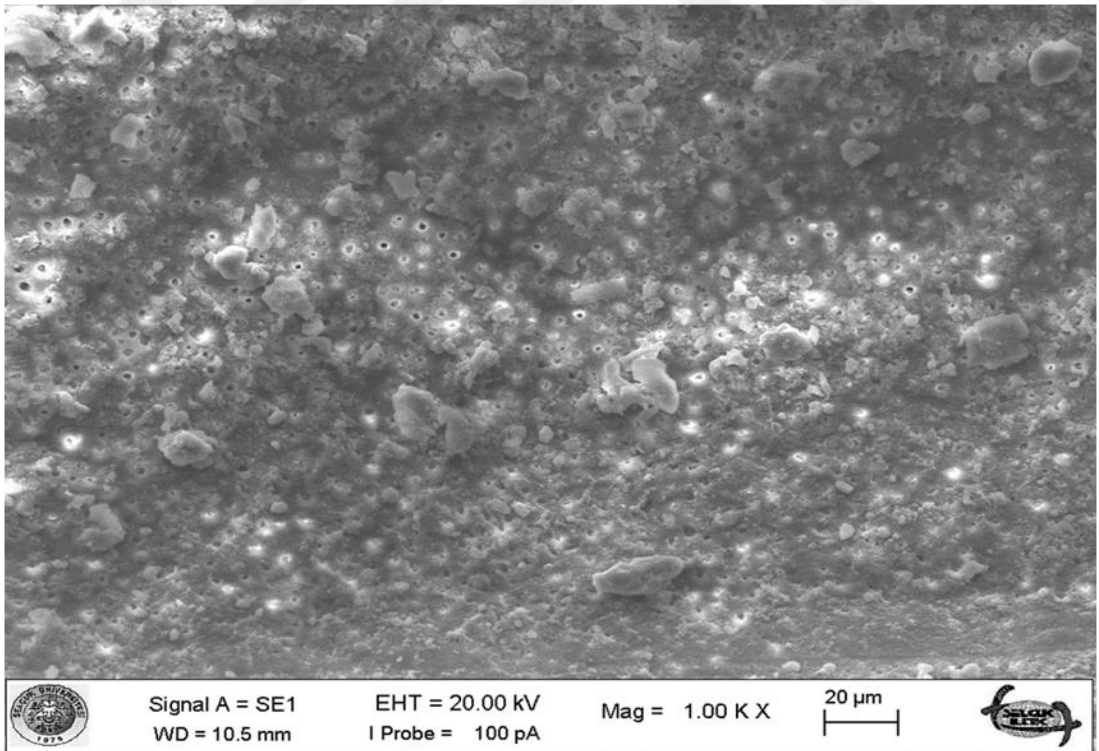
Smear tabakası uzaklaştırma etkinliklerine ait skorlama görüntüleri **Şekil 3.1.5.** , **Şekil 3.1.6.** **Şekil 3.1.7.** , **Şekil 3.1.8.** ve **Şekil 3.1.9.**'da gösterilmiştir.



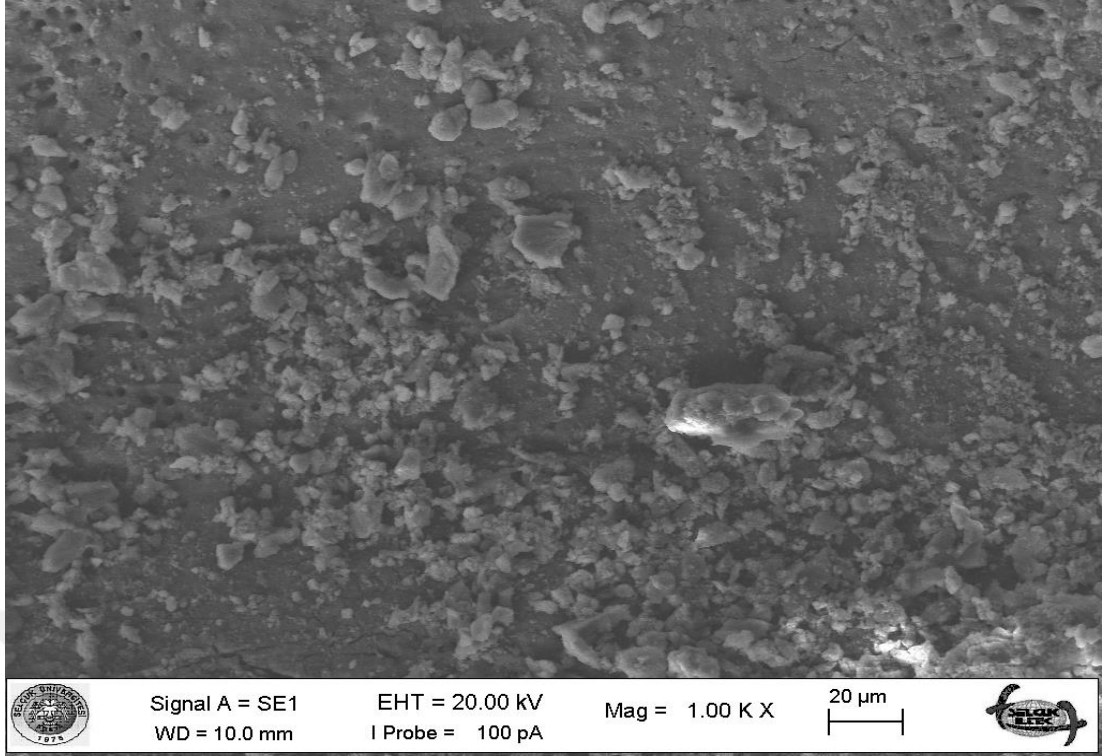
Şekil 3.1.5. Skor:1 Smear tabakası yok ya da çok az miktarda ($\leq 5\%$) ve dentin tübülleri tamamına yakını açık ($\times 1000$)



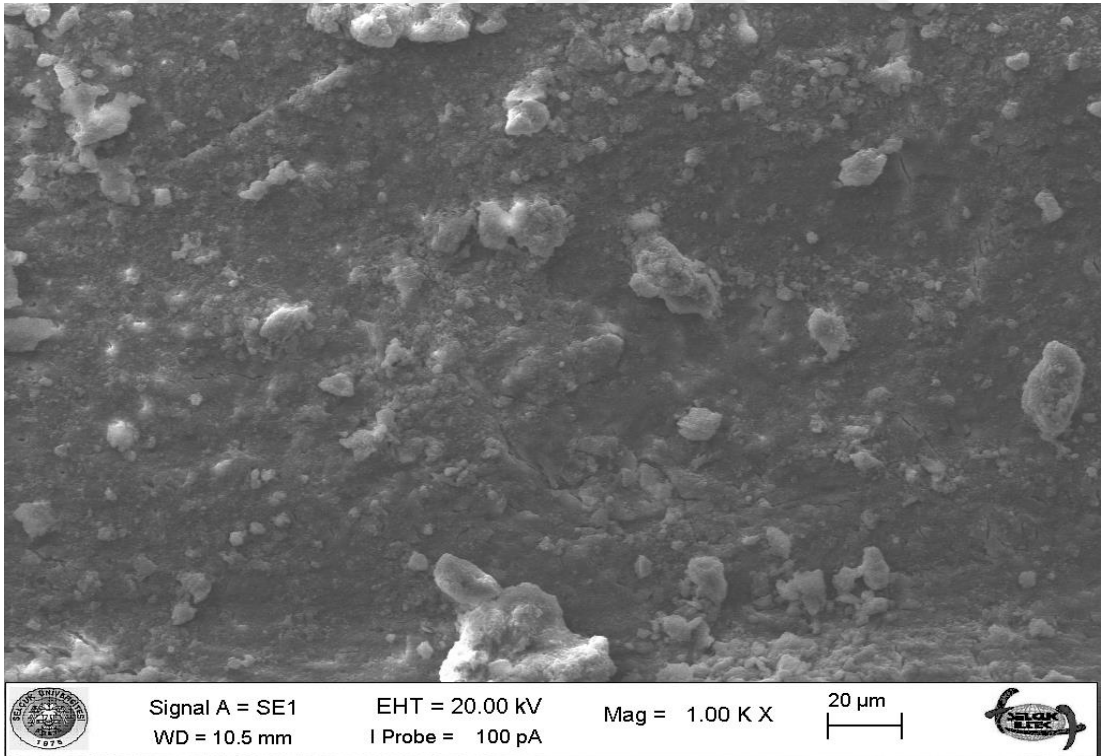
Şekil 3.1.6. Skor:2 Az miktarda smear tabakası ($5\% < - \leq 35\%$) mevcut ve dentin tübüllerinin bir kısmı açık ($\times 1000$)



Şekil 3.1.7. Skor:3 Bir miktar smear tabakası mevcut ($35\% < - \leq 65\%$) ve dentin tübüllerinin bir kısmı açık ise ($\times 1000$)



Şekil 3.1.8. Skor:4 Kök kanal duvarlarının çoğunu kapsayan smear tabakası mevcut ($65\% < - \leq 95\%$) ve dentin tübülleri nadir olarak açık ($\times 1000$)



Şekil 3.1.9. Skor:5 Kök kanal duvarlarının tamamını ya da tamamına yakını kapsayan smear tabakası mevcut ($95\% < - \leq 100\%$) ve dentin tübülleri tıkalı ($\times 1000$)

3.2. Smear Tabaka ve Debris Uzaklaştırma Etkinlik Skorlamalarında Operatörler Arasındaki Uyumun Değerlendirilmesi

Farklı mesleki deneyime sahip iki operatör arasındaki smear tabakası ve debrisin uzaklaştırma etkinliğinin skorlaması sırasındaki uyum, *Kappa Uyum Analizi* ile değerlendirildi. Smear tabakasının değerlendirilmesinde %94.2, debrisin değerlendirilmesinde ise %93.2 uyum düzeyi tespit edildi ($p<0.05$). Çizelge 3.2.1 ve Çizelge 3.2.2’de istatistiksel analize ait sonuçlar gösterilmektedir.

Çizelge 3.2.1. Smear tabaka uzaklaştırma etkinliği skorlamalarında operatörler arasındaki uyumun değerlendirilmesi

	2. OPERATÖR					Toplam
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	
1,00	2	0	0	0	0	2
2,00	0	18	1	0	0	19
3,00	0	4	50	1	0	55
4,00	0	0	1	78	3	82
5,00	0	0	0	2	160	162
Toplam	2	22	52	81	163	320

Kappa Uyum değeri=0.942, P değeri=0,000

Çizelge 3.2.2. Debris uzaklaştırma etkinliği skorlanmalarında operatörler arasındaki uyumun değerlendirilmesi

	2. OPERATÖR				Toplam
	1,00	2,00	3,00	4,00	
1,00	183	4	0	0	187
2,00	3	97	1	0	101
3,00	0	4	25	0	29
4,00	0	0	0	3	3
Toplam	186	105	26	3	320

Kappa Uyum değeri=0.932, P değeri=0,000

3.3. Smear Tabaka Uzaklaştırma Etkinliğinin Değerlendirilmesine ait Bulgular

İrrigasyon iğnelerinin (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek delikli ve çift delikli) çalışma boyundan farklı uzaklıklarda (1, 2, 3 ve 5 mm) kullanılmasının smear tabaka uzaklaştırma etkinlikleri açısından değerlendirilmesi için Kruskal-Wallis testi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu elde edilen her bir gruba ait

ortalama ve standart sapma (Ort±SS) değerleri Çizelge 3.3.1’de gösterilmiştir.

Tüm irrigasyon iğneleri (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek delikli ve çift delikli), çalışma boyundan 1, 2, 3 mm kısa olacak şekilde konumlandırıldıklarında smear tabaka uzaklaştırılması açısından benzer etkinlik gösterdi ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p>0,05$). Aynı şekilde, tüm irrigasyon iğneleri (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek delikli ve çift delikli) çalışma boyundan 5 mm kısa yerleştirme derinliğinde birbirine benzer ($p>0,05$) ve çalışma boyundan 1, 2, 3 mm kısa konumlandırılmasına göre daha yüksek smear tabaka skorları oluşturdu ($p<0,05$).

Çizelge 3.3.1. Irrigasyon iğneleri farklı yerleştirme derinliklerinde kullanıldıklarında smear tabaka uzaklaştırma etkinliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (n=20)

İğne Dizaynı	Çalışma Boyundan Uzaklık	Ort±SS*	p değeri (İğne Dizaynı)	p değeri (Çalışma Boyundan Uzaklık)
Açık Uçlu Eğimli Yüzey	1 mm	3,850±1,039 ^a	0,164	0,00
	2 mm	3,950±0,944 ^a		
	3 mm	3,950±0,998 ^a		
	5 mm	4,700±0,571 ^b		
Açık Uçlu Çentikli Yüzey	1 mm	4,050±1,099 ^a		
	2 mm	3,700±1,301 ^a		
	3 mm	4,050±0,998 ^a		
	5 mm	4,350±0,812 ^b		
Kapalı Uçlu Tek Delikli	1 mm	3,800±0,951 ^a		
	2 mm	4,250±0,910 ^a		
	3 mm	4,400±0,882 ^a		
	5 mm	4,800±0,523 ^b		
Kapalı Uçlu Çift Delikli	1 mm	4,050±1,099 ^a		
	2 mm	4,200±1,005 ^a		
	3 mm	4,300±0,923 ^a		
	5 mm	4,750±0,444 ^b		

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

Smear tabaka uzaklaştırma etkinliği açısından, aynı yerleştirme derinliğinde kullanılan, farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerine (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek ve çift delikli) ait skorlarla yapılan Kruskal-Wallis testine ait ortalama ve standart sapma (Ort±SS) değerleri Çizelge 3.3.2’de gösterilmektedir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, aynı yerleştirme derinliğinde kullanılan tüm iğne dizaynları smear tabakanın uzaklaştırılmasında benzer etkinlik gösterdi ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p>0,05$).

Çizelge 3.3.2. Aynı yerleştirme derinliklerinde kullanılan farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin smear tabaka uzaklaştırma etkinliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (n=20)

Çalışma boyundan uzaklık	İğne Dizaynı	Ort±SS*	p değeri (İğne Dizaynı)	p değeri (Çalışma Boyundan Uzaklık)
1 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey	3,850±1,039 ^a	0,164	0,00
	Açık Uçlu Çentikli Yüzey	4,050±1,099 ^a		
	Kapalı Uçlu Tek Delikli	3,800±0,951 ^a		
	Kapalı Uçlu Çift Delikli	4,050±1,099 ^a		
2 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey	3,950±0,944 ^a		
	Açık Uçlu Çentikli Yüzey	3,700±1,301 ^a		
	Kapalı Uçlu Tek Delikli	4,250±0,910 ^a		
	Kapalı Uçlu Çift Delikli	4,200±1,005 ^a		
3 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey	3,950±0,998 ^a		
	Açık Uçlu Çentikli Yüzey	4,050±0,998 ^a		
	Kapalı Uçlu Tek Delikli	4,400±0,882 ^a		
	Kapalı Uçlu Çift Delikli	4,300±0,923 ^a		
5 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey	4,700±0,571 ^b		
	Açık Uçlu Çentikli Yüzey	4,350±0,812 ^b		
	Kapalı Uçlu Tek Delikli	4,800±0,523 ^b		
	Kapalı Uçlu Çift Delikli	4,750±0,444 ^b		

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

Farklı irrigasyon iğnelerinin, yerleştirme derinliklerine bakılmaksızın smear tabaka uzaklaştırma etkinliklerine ait skorlarla yapılan Kruskal-Wallis testi sonucu elde edilen bulgular Çizelge 3.3.3'te gösterilmektedir.

Farklı dizayna sahip tüm irrigasyon iğnelerinin, smear tabaka uzaklaştırma etkinlikleri değerlendirildiğinde birbirine benzer etkinlik gösterdiği belirlendi ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p>0,05$).

Çizelge 3.3.3. Farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin yerleştirme derinliği önemsenmeksizin smear tabaka skorlarına etkisinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi (n=80)

İğne Dizaynı	Ort±SS*	Ki-kare değeri p değeri
Açık Uçlu Eğimli Yüzey	4,112±0,954 ^a	5,114 0,164
Açık Uçlu Çentikli Yüzey	4,037±1,072 ^a	
Kapalı Uçlu Tek Delikli	4,312±0,894 ^a	
Kapalı Uçlu Çift Delikli	4,325±0,924 ^a	

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

İrrigasyon iğnelerinin dizaynı önemsenmeksizin, yerleştirme derinliklerinin smear tabaka uzaklaştırma etkinliğine ait skorlarla yapılan Kruskal-Wallis testi sonucu elde edilen bulgular Çizelge 3.3.4'te gösterilmektedir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, tüm irrigasyon iğneleri 1 mm, 2 mm, 3 mm’de birbirine benzer smear tabaka skorları oluşturdu ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p>0,05$). Aynı şekilde tüm irrigasyon iğneleri, 5 mm’de birbirine benzer ($p>0,05$), çalışma boyundan 1, 2, 3 mm kısa yerleştirme derinliğinde kullanılmasına göre daha yüksek smear tabaka skorları meydana getirdi ($p<0,05$).

Çizelge 3.3.4. Irrigasyon iğnesi dizaynı önemsensemeksizin, yerleştirme derinliklerinin smear tabaka skorlarına etkisinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi (n=80)

Çalışma Boyundan Uzaklık	Ort±SS*	Ki-kare değeri p değeri
1 mm	3,937±1,035 ^a	26,115 0,00
2 mm	4,025±1,055 ^a	
3 mm	4,175±0,951 ^a	
5 mm	4,650±0,618 ^b	

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

Açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzeye sahip) ve kapalı uçlu (tek delikli ve çift delikli) irrigasyon iğnelerinin smear tabaka uzaklaştırma etkinlikleri, Mann-whitney U testi ile değerlendirildi. Elde edilen bulgular Çizelge 3.3.5’de gösterilmiştir.

Açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) ve kapalı uçlu (tek ve çift delikli) irrigasyon iğneleri aynı yerleştirme derinliklerinde kullanıldıklarında, genel değerlendirme de örneklem sayısının artmasına bağlı olarak smear tabakanın uzaklaştırılmasında açık uçlu irrigasyon iğnelerinin (eğimli ve çentikli yüzey) kapalı uçlu (tek ve çift delikli) irrigasyon iğnelerine göre daha etkili olduğu sonucuna varıldı ($p<0,05$).

Çizelge 3.3.5. Aynı yerleştirme derinliğinde kullanılan kapalı (tek veya çift delikli) ve açık (eğimli veya çentikli yüzey) uçlu irrigasyon iğnelerinin smear tabaka skorlarına etkilerinin istatistiksel olarak incelenmesi

Çalışma boyundan uzaklık	n	İğne Dizaynı	Ort±SS*	p değeri (İğne Dizaynı)	T değeri (İğne Dizaynı)
1 mm	40	Açık Uçlu Kapalı Uçlu	3,950±1,060 ^a 3,925±1,022 ^a	0,856	-0,182
2 mm	40	Açık Uçlu Kapalı Uçlu	3,825±1,129 ^a 4,225±0,946 ^a	0,102	-1,636
3 mm	40	Açık Uçlu Kapalı Uçlu	4,000±0,987 ^a 4,350±0,892 ^a	0,089	-1,702
5 mm	40	Açık Uçlu Kapalı Uçlu	4,525±0,715 ^b 4,775±0,479 ^b	0,101	-1,638
Genel	160	Açık Uçlu Kapalı Uçlu	4,075±1,012 ^c 4,318±0,906 ^d	0,025	-2,246

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

3.4. Debris Uzaklaştırma Etkinliğinin Değerlendirilmesine ait Bulgular

İrrigasyon iğnelerinin (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek delikli ve çift delikli) çalışma boyundan 1, 2, 3 ve 5 mm kısa yerleştirme derinliklerinde kullanılmasının debris skorlarına etkisi Kruskal-Wallis testi ile değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucu elde edilen her bir gruba ait ortalama ve standart sapma (Ort±SS) değerleri Çizelge 3.4.1’de gösterilmiştir.

Açık uçlu eğimli ve çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğneleri, çalışma boyundan 1, 2, 3 mm kısa yerleştirme derinliğinde kullanıldıklarında benzer etkinlik oluşturdıkları gözlemlendi ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p>0,05$). Çalışma boyundan 5 mm kısa yerleştirildiklerinde ise açık uçlu eğimli ve çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğneleri yine birbirine benzer ($p>0,05$) ancak 1, 2, 3 mm’ye göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek debris skorları gösterdi ($p<0,05$).

Kapalı uçlu tek ve çift delikli irrigasyon iğneleri, çalışma boyundan 1, 2, 3 mm kısa yerleştirme derinliğinde kullanıldıklarında birbirine benzer etkinlik oluşturdu ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p>0,05$). Çalışma boyundan 5 mm kısa yerleştirildiklerinde ise kapalı uçlu tek ve çift delikli irrigasyon iğneleri yine birbirine benzer ($p>0,05$) ancak 1, 2, 3 mm’ye göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek debris skorları gösterdi ($p<0,05$).

Çizelge 3.4.1. Aynı yerleştirme derinliklerinde farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin debris uzaklaştırma etkinliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (n=20)

Çalışma boyundan uzaklık	İğne Dizaynı	Ort±SS*	p değeri (İğne Dizaynı)	p değeri (Çalışma Boyundan Uzaklık)
1 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	1,200±0,410 ^a 1,250±0,550 ^a 1,600±0,470 ^b 1,700±0,732 ^b	0,00	0,01
2 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	1,225±0,449 ^a 1,150±0,366 ^a 1,550±0,686 ^b 1,900±0,640 ^b		
3 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	1,300±0,470 ^a 1,512±0,812 ^a 1,650±0,750 ^b 1,750±0,638 ^b		
5 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	1,400±0,550 ^c 1,850±0,825 ^c 2,075±0,735 ^d 2,150±0,875 ^d		

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

Debris uzaklaştırma etkinlikleri açısından, farklı yerleştirme derinliklerinde kullanılan, aynı dizayna sahip irrigasyon iğnelerine (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek ve çift delikli) ait skorlarla yapılan Kruskal-Wallis testine ait ortalama ve standart sapma ($Ort \pm SS$) değerleri Çizelge 3.4.2’de gösterilmektedir.

İrrigasyon iğneleri çalışma boyundan 1, 2, 3 mm kısa yerleştirildiklerinde açık uçlu eğimli ve çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğneleri birbirine benzer debris skorları oluşturdu ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p > 0,05$). Açık uçlu eğimli ve çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğneleri çalışma boyundan 5 mm kısa yerleştirildiklerinde ise yine birbirine benzer ($p > 0,05$) ve 1, 2, 3 mm’ye göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek debris skorları gösterdi ($p < 0,05$).

İrrigasyon iğneleri çalışma boyundan 1, 2, 3 mm kısa yerleştirildiklerinde kapalı uçlu tek ve çift delikli irrigasyon iğneleri birbirine benzer debris skorları oluşturdu ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p > 0,05$). Kapalı uçlu tek ve çift delikli irrigasyon iğneleri çalışma boyundan 5 mm kısa yerleştirildiklerinde ise yine birbirine benzer ($p > 0,05$) ve 1, 2, 3 mm’ye göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek debris skorları gösterdi ($p < 0,05$).

Çizelge 3.4.2. İrrigasyon iğneleri farklı yerleştirme derinliklerinde kullanıldıklarında debris uzaklaştırma etkinliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (n=20)

İğne Dizaynı	Çalışma boyundan uzaklık	Ort±SS*	p değeri (İğne Dizaynı)	p değeri (Çalışma Boyundan Uzaklık)
Açık Uçlu Eğimli Yüzey	1 mm	1,200±0,410 ^a	0,00	0,01
	2 mm	1,225±0,449 ^a		
	3 mm	1,300±0,470 ^a		
	5 mm	1,400±0,550 ^b		
Açık Uçlu Çentikli Yüzey	1 mm	1,250±0,550 ^a		
	2 mm	1,150±0,366 ^a		
	3 mm	1,512±0,812 ^a		
	5 mm	1,850±0,825 ^b		
Kapalı Uçlu Tek Delikli	1 mm	1,600±0,680 ^c		
	2 mm	1,550±0,686 ^c		
	3 mm	1,650±0,750 ^c		
	5 mm	2,075±0,735 ^d		
Kapalı Uçlu Çift Delikli	1 mm	1,700±0,732 ^c		
	2 mm	1,900±0,640 ^c		
	3 mm	1,750±0,638 ^c		
	5 mm	2,150±0,875 ^d		

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

Farklı uç dizaynına sahip irrigasyon iğnelerinin, yerleştirme derinliğine bakılmaksızın debris uzaklaştırma etkinliklerine ait skorlarla yapılan Kruskal-Wallis testi sonucu elde edilen bulgular Çizelge 3.4.3’de gösterilmektedir.

Yerleştirme derinlikleri önemsenmeksizin açık uçlu eğimli ve çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğneleri birbirine benzer debris skorları gösterdi ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p>0,05$). Kapalı uçlu tek ve çift delikli irrigasyon iğnelerinde de birbirine benzer debris skorları gözlemlendi ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p>0,05$). Fakat açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) irrigasyon iğneleri, kapalı uçlu (tek ve çift delikli) irrigasyon iğnelerine göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha düşük debris skorları oluşturdu ($p<0,05$).

Çizelge 3.4.3. Yerleştirme derinlikleri önemsenmeksizin farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin debris skorlarına etkilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi (n=80)

İğne Dizaynı	Ort±SS*	Ki-kare değeri p değeri
Açık Uçlu Eğimli Yüzey	1,187±0,392 ^a	68,612 0,00
Açık Uçlu Çentikli Yüzey	1,225±0,449 ^a	
Kapalı Uçlu Tek Delikli	1,812±0,812 ^b	
Kapalı Uçlu Çift Delikli	1,875±0,735 ^b	

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

İrrigasyon iğnelerinin, dizaynına bakılmaksızın, farklı yerleştirme derinliklerinde kullanılmasının, debris uzaklaştırma etkinliğine ait skorlar Kruskal-

Wallis testi ile değerlendirildi. Elde edilen bulgular Çizelge 3.4.4’de gösterilmektedir.

İrrigasyon iğneleri çalışma boyundan 1, 2, 3 mm kısa yerleştirme derinliğinde kullanıldıklarında birbirine benzer debris skorları gözlemlendi ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p>0,05$). Çalışma boyundan 5 mm kısa yerleştirildiklerinde ise 1, 2, 3 mm’ye göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek debris skorları gösterdi ($p<0,05$).

Çizelge 3.4.4. İğne dizaynı önemsenmeksizin farklı yerleştirme derinliklerinde kullanılan iğnelerin debris skorlarına etkilerinin istatistiksel karşılaştırılması (n=80)

Çalışma Boyundan Uzaklık	Ort±SS*	Ki-kare değeri p değeri
1 mm	1,420±0,631 ^a	11,416 0,01
2 mm	1,435±0,633 ^a	
3 mm	1,450±0,593 ^a	
5 mm	1,785±0,852 ^b	

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

3.5. Apikal Ekstrüzyon Miktarlarının Değerlendirilmesine ait Bulgular

Farklı uç dizaynına sahip irrigasyon iğnelerinin (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek ve çift delikli), farklı yerleştirme derinliklerinde (çalışma boyundan 1, 2, 3 ve 5 mm kısa) kullanılmasının apikal ekstrüzyon miktarına etkileri açık ve kapalı sistem olmak üzere iki farklı deney düzeneği ile değerlendirildi.

Açık Sistem Deney Düzenğinde Apikal Ekstrüzyon Miktarlarının Değerlendirilmesine ait Bulgular

Açık sistem deney düzeninde, aynı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek ve çift delikli) farklı yerleştirme derinliklerinde (çalışma boyundan 1, 2, 3 ve 5 mm kısa) kullanılmasının apikal ekstrüzyona etkisi iki yönlü varyans analizi ile değerlendirildi. İstatistiksel analiz sonuçları Çizelge 3.5.1’de gösterilmiştir.

Yapılan istatistiksel analize göre, açık uçlu eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğnelerinin çalışma boyundan 1 mm kısa kullanılmaları istatistiksel olarak anlamlı şekilde en yüksek hacimde irrigasyon solüsyonu taşmasına yol açtı ($p<0,05$). Kapalı uçlu tek ve çift delikli irrigasyon iğneleri ise çalışma boyundan 5 mm kısa kullanıldıklarında birbirine benzer ($p>0,05$) ve istatistiksel olarak anlamlı şekilde en az miktarda irrigasyon solüsyonu taşmasına neden oldu ($p<0,05$).

Tüm iğne dizaynlarında, çalışma boyundan 1 mm kısa yerleştirme derinliğinde fazla miktarda irrigasyon solüsyonu taşarken, 2 mm’de ikinci en fazla, 3 mm’de üçüncü en fazla solüsyon taşıdı. Son olarak 5 mm’de en az miktarda solüsyonun taşıdığı gözlemlendi ($p<0,05$).

Çizelge 3.5.1. Açık sistem deney düzeneğinde aynı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin farklı yerleştirme derinliklerinde kullanılmalarının apikal ekstrüzyona etkilerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması(n=20)

İğne Dizaynı	Çalışma Boyundan Uzaklık	Ort±SS(ml)*	p değeri (İğne Dizaynı)	p değeri (Çalışma Boyundan Uzaklık)	p değeri (Etkileşimi)
Açık Uçlu Eğimli Yüzey	1 mm 2 mm 3 mm 5 mm	3,430±0,178 ^a 3,245±0,187 ^b 3,110±0,148 ^c 2,625±0,158 ^d	0,00	0,00	0,03
Açık Uçlu Çentikli Yüzey	1 mm 2 mm 3 mm 5 mm	3,242±0,184 ^e 3,030±0,175 ^f 2,880±0,185 ^g 2,425±0,151 ^h			
Kapalı Uçlu Tek Delikli	1 mm 2 mm 3 mm 5 mm	2,590±0,148 ⁱ 2,525±0,151 ^j 2,225±0,137 ^k 1,680±0,147 ^l			
Kapalı Uçlu Çift Delikli	1 mm 2 mm 3 mm 5 mm	2,560±0,163 ^j 2,485±0,153 ⁱ 2,190±0,155 ^k 1,690±0,148 ^l			

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

Farklı dizayna sahip irrigasyon iğneleri (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek ve çift delikli) aynı yerleştirme derinliklerinde kullanıldıklarında taşan solüsyon miktarı, iki yönlü varyans analizi ile değerlendirildi. İstatistiksel analiz sonuçları Çizelge 3.5.2’de gösterilmiştir.

Tüm benzer yerleştirme derinliklerinde açık uçlu eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğneleri açık uçlu çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğnelerine göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha fazla miktarda irrigasyon solüsyonu taşmasına neden oldu ($p<0,05$). Kapalı uçlu tek ve çift delikli irrigasyon iğnelerinin ise birbirine benzer ($p>0,05$) fakat açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) irrigasyon iğnelerine göre daha az miktarda irrigasyon solüsyon taşıdığı görüldü ($p<0,05$).

Çizelge 3.5.2. Açık sistem deney düzeneğinde farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin aynı yerleştirme derinliklerinde kullanılmalarının apikal ekstrüzyona etkilerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması(n=20)

Çalışma Boyundan Uzaklık	İğne Dizaynı	Ort±SS(ml)*	p değeri (İğne Dizaynı)	p değeri (Çalışma Boyundan Uzaklık)	p değeri (Etkileşim)
1 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	3,430±0,178 ^a 3,242±0,184 ^b 2,590±0,148 ^c 2,560±0,163 ^c	0,00	0,00	0,03
2 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	3,245±0,187 ^d 3,030±0,175 ^e 2,525±0,151 ^f 2,485±0,153 ^f			
3 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	3,110±0,148 ^g 2,880±0,185 ^h 2,225±0,137 ⁱ 2,190±0,155 ⁱ			
5 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	2,625±0,158 ^j 2,425±0,151 ^k 1,680±0,147 ^l 1,690±0,148 ^l			

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

Kapalı Sistem Deney Düzeneğinde Apikal Ekstrüzyon Miktarlarının Değerlendirilmesine Ait Bulgular

Kapalı sistem deney düzeneğinde, aynı dizayna sahip irrigasyon iğneleri (açık uçlu eğimli veya çentikli yüzey, kapalı uç tek veya çift delikli), farklı yerleştirme derinliklerinde (çalışma boyundan 1, 2, 3 ve 5 mm kısa) kullanıldıklarında taşan solüsyon miktarına etkileri iki yönlü varyans analizi ile değerlendirildi. İstatistiksel analiz sonuçları Çizelge 3.5.3’de gösterilmiştir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, açık uçlu eğimli ve çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğneleri çalışma boyundan 1 mm kısa kullanıldıklarında birbirine benzer ($p>0,05$) ve istatistiksel olarak anlamlı şekilde en yüksek miktarda irrigasyon solüsyonu taşmasına yol açtı ($p<0,05$). Kapalı uçlu tek ve çift delikli irrigasyon iğnelerinin çalışma boyundan 5 mm kısa kullanılması, istatistiksel olarak anlamlı şekilde birbirine benzer ($p>0,05$) ve en az miktarda solüsyonu taşmasına neden oldukları tespit edildi.

Tüm iğne dizaynlarında, çalışma boyundan 1 mm kısa yerleştirme derinliğinde en fazla miktarda irrigasyon solüsyonu taşarken, 2 mm’de ikinci en fazla, 3 mm’de üçüncü en fazla solüsyon taşıdı. Son olarak 5 mm’de en az miktarda solüsyonun taşıdığı gözlemlendi ($p<0,05$).

Çizelge 3.5.3. Kapalı sistem deney düzeneğinde aynı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin farklı yerleştirme derinliklerinde kullanılmalarının taşan solüsyon miktarına etkilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi(n=20)

İğne	Çalışma Boyundan Uzaklık	Ort±SS(μl) *	p değeri (İğne Dizaynı)	p değeri (Çalışma Boyundan Uzaklık)	p değeri (Etkileşim)
Açık Uçlu Eğimli Yüzey	1 mm 2 mm 3 mm 5 mm	40,700±5,731 ^a 38,600±5,490 ^b 34,250±4,821 ^c 12,750±2,935 ^d	0,00	0,00	0,00
Açık Uçlu Çentikli Yüzey	1 mm 2 mm 3 mm 5 mm	40,000±5,150 ^a 38,300±5,322 ^b 33,950±4,430 ^c 12,500±2,605 ^d			
Kapalı Uçlu Tek Delikli	1 mm 2 mm 3 mm 5 mm	24,200±3,254 ^e 14,500±2,502 ^f 8,850±2,621 ^g 2,600±2,945 ^h			
Kapalı Uçlu Çift Delikli	1 mm 2 mm 3 mm 5 mm	24,650±3,453 ^e 14,400±2,643 ^f 8,800±2,462 ^g 2,500±2,892 ^h			

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

Tüm irrigasyon iğnelerinin (açık uçlu eğimli ve çentikli yüzey, kapalı uçlu tek ve çift delikli), aynı yerleştirme derinliklerinde (çalışma boyundan 1, 2, 3 ve 5 mm kısa) kullanılmalarının taşan solüsyon miktarlarına etkileri iki yönlü varyans analizi ile değerlendirildi. İstatistiksel analiz sonuçları Çizelge 3.5.4'te gösterilmektedir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, tüm yerleştirme derinliklerinde açık uçlu eğimli ve çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğneleri birbirine benzer ($p>0,005$) ve istatistiksel olarak anlamlı şekilde en yüksek hacimde irrigasyon solüsyonunun taşmasına neden oldu ($p<0,05$). Kapalı uçlu tek delikli ve çift delikli irrigasyon iğneleri de tüm yerleştirme derinliklerinde birbirine benzer ($p>0,05$) fakat açık uçlu irrigasyon iğnelerine (eğimli ve çentikli yüzey) göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha az miktarda solüsyon taşmasına neden oldu ($p<0,05$).

Çizelge 3.5.4. Kapalı sistem deney düzeneğinde farklı dizayna sahip irrigasyon iğnelerinin aynı yerleştirme derinliklerinde kullanılmalarının apikal ekstrüzyona etkilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi(n=20)

Çalışma Boyundan Uzaklık	İğne Dizaynı	Ort±SS(µl)*	p değeri (İğne Dizaynı)	p değeri (Çalışma Boyundan Uzaklık)	p değeri (Etkileşim)
1 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	40,700±5,731 ^a 40,000±5,150 ^a 24,200±3,254 ^b 24,650±3,453 ^b	0,00	0,00	0,00
2 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	38,600±5,490 ^c 38,300±5,322 ^c 14,500±2,502 ^d 14,400±2,643 ^d			
3 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	34,250±4,921 ^e 33,950±4,430 ^e 8,850±2,621 ^f 8,800±2,462 ^f			
5 mm	Açık Uçlu Eğimli Yüzey Açık Uçlu Çentikli Yüzey Kapalı Uçlu Tek Delikli Kapalı Uçlu Çift Delikli	12,750±2,935 ^g 12,500±2,605 ^g 2,600±2,945 ^h 2,500±2,892 ^h			

* Farklı harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır.

4. TARTIŞMA

İrrigasyon, kök kanal tedavisinin başarısını etkileyen en önemli aşamalardan biridir. Kök kanalındaki debris ve smear tabakanın tamamen uzaklaştırılması ve sonrasında yapılacak kök kanal dolgusuyla, dişin ağız içerisinde uzun süre fonksiyonunu koruması ve sekonder enfeksiyonların önüne geçilmesi amaçlanır. Sekonder enfeksiyon oluştuğunda ise, yapılan kök kanal tedavisinin yenilenmesi gerekebilir. Ancak yeniden yapılacak olan kök kanal tedavisi ilk defa yapılacak olan kök kanal tedavisine göre başarı olasılığı daha düşük, daha uzun seanslar gerektirebilen ve nispeten zor bir tedavi şeklidir (Chércoles-Ruiz ve ark 2017, Esposito ve ark 2017). Bu tedavilere duyulan gereksinim, apikal debris ve smear tabakanın etkili şekilde uzaklaştırılması ile azalabilir. Kök kanal tedavisi sırasında özellikle apikal bölgedeki debris ve smear tabakasının uzaklaştırılması, başarı oranı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Bergenholtz 2016, Siqueira Jr ve ark 2018).

Yeterli bir irrigasyon ile özellikle temizlenmesi kök kanal sisteminin diğer bölgelerine göre daha zor olan apikal üçlüdeki smear tabaka ve debrisin uzaklaştırılması amaçlanır (Haapasalo ve ark 2010). Apikal üçlü temizliği için, irrigasyon iğnesinin apikale yakın konumlandırılması gerekir ancak bu durum irrigasyon solüsyonunun periapikal dokulara taşmasına neden olabilir (Psimma ve ark 2013). Kök kanal preparasyonu ve irrigasyon sırasında meydana gelen debris ve irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu, enflamatuvar yanıtı neden olarak periradiküler enflamasyon ile sonuçlanabilir. Aynı zamanda şiddetli yumuşak doku tahrişine ve nekrozuna neden olarak süngerimsi kemiğin bütünlüğünü de bozabilir. Birçok vaka raporu NaOCI'nin apikal ekstrüzyonunun biyolojik dokularda ciddi reaksiyonlara neden olabileceğini doğrulamaktadır (Ehrich ve ark 1993, Bosch-Aranda ve ark 2012, Boutsoukis ve ark 2013). Sonuç olarak kök kanal irrigasyonu, özellikle apikal üçlüde etkili irrigasyon sağlanarak smear tabaka ve debrisin uzaklaştırılması yanı sıra bu gibi istenmeyen durumların önüne geçilmesi de amaçlanmaktadır.

Geleneksel iğne irrigasyonu endodontistler ve pratisyen diş hekimleri tarafından en sık kullanılan irrigasyon yöntemidir (Dutner ve ark 2012, Willershausen ve ark 2015). Piyasada farklı dizayna sahip pek çok irrigasyon iğnesi mevcuttur. İrrigasyon iğnelerinin dizaynı, kullanılan irrigasyon solüsyonunun farklı akış dinamiği sergilemesine neden olarak kök kanalının temizliğini ve solüsyon ekstrüzyonunu etkileyebilmektedir. İrrigasyon iğneleri dizaynının apikal ekstrüzyona etkisini

değerlendiren az sayıda çalışma mevcuttur. Çalışmaların birçoğunda, iğne irrigasyonu diğer irrigasyon ve aktivasyon yöntemleriyle kıyaslanmıştır (Mitchell ve ark 2010, İriboz ve ark 2015, Yost ve ark 2015). Araştırmamızda bu çalışmalardan farklı olarak, farklı uç dizaynına sahip irrigasyon iğneleri farklı yerleştirme derinliklerinde kullanılarak apikal üçlüdeki temizleme etkinlikleri ve taşan solüsyon miktarlarına etkileri değerlendirilmiştir.

Çalışmaya dahil edilecek dişler seçilirken benzer boyut ve ebatta olmalarına özellikle dikkat edilmiş; çalışma boyu ve ilk apikal boyut belirlenirken #10 numaralı K-tipi el eğesi apikal foramenden gözükmünceye kadar kanal içerisinde ilerletilmiş, bu eğenin apikal foramenin ötesine en fazla 1 mm ilerlemesine izin veren kökler seçilmiş, apikal çapı daha büyük olan kökler çalışma dışı bırakılmıştır.

Apikal preparasyon büyüklüğü; irrigasyon solüsyonunun yer değiştirme miktarını, kanal duvarında oluşan kayma gerilimini ve apikal foramende oluşan basıncı büyük oranda etkiler. Apikal boyutun #25'ten büyük olduğu durumlarda, iğne irrigasyonu etkinliğinin arttığı gösterilmiş ve aynı zamanda irrigasyon solüsyonunun kanal girişine doğru etkili bir şekilde geri akışını sağlayabilmek için irrigasyon iğnesi ve kanal duvarı arasında yeterince boşluk olması gerektiği savunulmuştur (Hsieh ve ark 2007, Boutsoukis ve ark 2010a). Yapılan bir çalışmada, kök kanalı #35'ten #40'a genişletildiğinde apikal üçlüye ulaşan irrigasyon solüsyonu hacminde %44'lük bir artış olduğu tespit edilmiştir (Brunson ve ark 2010). Minimum apikal preparasyon boyutu veya koniklik konusunda fikir birliği olmamakla birlikte; ISO #35 veya #40 boyutunda yapılan preparasyonun hem pozitif hem de negatif basınç sistemleri için klinik olarak yeterli miktarda irrigasyon solüsyonu sirkülasyonuna izin verdiği gösterilmiştir (Brunson ve ark 2010). Preparasyon boyutu arttıkça irrigasyon iğnesinin çalışma boyuna yaklaşma miktarı da artmaktadır. Bu durum irrigasyon solüsyonu akışını doğrudan etkilemektedir. Irrigasyon iğnesinin apikalden 1-2 mm uzağa yerleştirilebilmesi için apikalde en az #35 ya da #40'a kadar genişletilme yapılması gerektiği savunulmaktadır (Usman ve ark 2004, Huang ve ark 2008). Salzgeber ve Brilliant (1977) apikal boyut #35 olacak şekilde preparasyon yapıldığında irrigasyon solüsyonunun apikale ulaştığını, daha büyük preparasyonlarda solüsyonların periapikal dokulara nüfuz edebileceğini belirtmişlerdir. Çalışmamızda irrigasyon iğnelerinin istenilen yerleştirme derinliklerinde rahatça konumlandırılabilmesinin yanı sıra, mandibular premolar dişlerin ortalama apikal boyutları da göz önünde bulundurularak, örneklerde apikal kök kanal boyutu standart #40, 0.06 taper olacak

şekilde preparasyon yapılmıştır.

Kemomekanik preparasyon sırasında kök kanalının apikal üçte birine ya da çalışma boyuna ulaşabilen nispeten küçük çaplı irrigasyon iğnelerinin (28G, 30G veya 31G) kullanımı önerilmiştir (Abou-Rass ve Piccinino 1982, Sedgley ve ark 2005, Zehnder 2006). Küçük çaplı irrigasyon iğneleri kök kanal sisteminin daha apikalinde konumlandırılabilceğinden, bu bölgelerde de irrigasyon solüsyonunun yer değiştirmesi ve temizleme etkinliği arttırılabilir (Senia ve ark 1971, Chow 1983). Bu nedenle çalışmamızda farklı uç dizaynına sahip 30 G'lik irrigasyon iğneleri kullanımı tercih edilmiştir.

Mikroorganizmaları öldürme yeteneği ve organik doku çözücü özelliği nedeniyle %5'lik NaOCl, mekanik preparasyon sırasında ve son yıkamada en sık kullanılan irrigasyon solüsyonudur (Clegg ve ark 2006, Dunavant ve ark 2006). %17'lik EDTA ise, smear tabakanın inorganik bileşenini uzaklaştırmak için sık kullanılan şelasyon ajanıdır. Smear tabakanın etkili bir şekilde uzaklaştırılması için EDTA ve NaOCl'nin dönüşümlü kullanımı önerilmiş, solüsyonların kök kanal sistemine ulaşması sağlanırsa NaOCl ve EDTA'nın dönüşümlü kullanımının smear tabakasını ve debris uzaklaştırmada etkili olduğu gösterilmiştir (Baumgartner ve Mader 1987). Bu nedenle çalışmamızda da smear tabaka ve debrisin uzaklaştırılması amacıyla %5'lik NaOCl ve %17'lik EDTA kullanılmıştır.

Kök kanal irrigasyonunda kullanılacak solüsyonların hacmi, uygulama zamanları ve kullanılacak aktivasyon yöntemi konularında henüz bir fikir birliği yoktur (Ahmad ve ark 1987, Gu ve ark 2009). Şelasyon ajanlarının kök kanal duvarları ile temas halinde kalması için gerekli sürenin 30 sn ile 10 dk arasında değiştiği bildirilmiştir (Garberoglio ve Becce 1994). Ancak %17'lik EDTA solüsyonunun, 1 ve 10 dk'lık uygulama sürelerine ilişkin bir çalışmada, 1 dk'lık uygulama süresiyle elde edilen smear tabaka uzaklaştırma yeteneğinin kabul edilebilir olduğu ve aşırı erozyon, dentinal tübül açıklıklarının genişlemesi ve dentinin bozulması gibi zararlı sonuçları önlediği gösterilmiştir (Calt ve Serper 2002, Darda ve ark 2014). Yapılan diğer bazı çalışmalarda da 1 ve 3 dk boyunca uygulanan EDTA ve NaOCl ile kanal irrigasyonunun düz köklerin kanal duvarlarından smear tabaka çıkarılmasında eşit derecede etkili olduğu gözlemlenmiştir (Kuah ve ark 2009, Abarajithan ve ark 2011). Goel ve Tewari (2009) fırçayla kaplanmış irrigasyon iğnesiyle (NaviTip FX), %2.5'lik NaOCl ve %17'lik EDTA solüsyonunun kök kanalına 1 dk boyunca uygulanmasının etkili debridman sağladığını göstermişlerdir.

Bir başka çalışmada ise kanal başına 5 ml %17'lik EDTA ile final irrigasyonunun smear tabakasını etkili biçimde uzaklaştırdığı ve dentin tübüllerinin çoğunun açık olduğu bildirilmiştir (Mello ve ark 2008). Teixeira ve ark (2005), 3 ml %15'lik EDTA ve ardından 3 ml %1'lik NaOCl ile 1dk, 2dk, 3dk süreyle yapılan final irrigasyonlarının smear tabakasının uzaklaştırılmasında birbirine benzer ve yeterli etki oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmamızda bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar da göz önüne alınarak smear tabaka ve debris uzaklaştırma etkinliklerinin incelendiği örneklerde, preparasyon boyunca her ege arasında 2 ml NaOCl (30 sn), final irrigasyonu sırasında ise 5 ml NaOCl (75 sn) ardından 5 ml EDTA (75 sn) ve son olarak tekrar 5 ml NaOCl (75 sn) ile irrigasyon yapılmıştır.

İrrigasyon esnasında duvar kayma geriliminin yüksek olduğu bölgelerde etkili debridman sağlandığı gösterilmiştir (Goode ve ark 2013). İğne irrigasyonu sırasında duvar kayma geriliminin en yüksek olduğu alan iğne ucuna yakın küçük ve sınırlı bir bölümdür (Shen ve ark 2010, Boutsoukis ve ark 2010e). İrrigasyon iğnesinin kök kanal sisteminin apikalinde küçük genliklerle ileri-geri hareketi iğne etkinliğinin geniş bir alana yayılmasını sağlarken aynı zamanda iğnenin kök kanalında sıkışması da önlenir (Willershausen ve ark 2015, Hu ve ark 2019). Bu nedenle çalışmamızda kök kanal sisteminin şekillendirilmesi ve final irrigasyonu sırasında irrigasyon iğneleri; çalışma boyundan 1 mm, 2 mm, 3 mm ve 5 mm kısa olacak şekilde apikal uzaklık korunarak 1-2 mm genliklerle ileri-geri hareket ettirilerek kullanılmıştır.

Smear tabaka ve debris uzaklaştırılmasına dair yapılan çalışmalarda kök ucu genellikle mum, silikon ölçü maddesi, yeşil stenç veya hızlı sertleşen yapıştırıcı maddelerle kaplanarak kapalı irrigasyon sistemi oluşturulmaktadır (Senia ve ark 1971, Mader ve ark 1984, Kho ve Baumgartner 2006). *İn-vitro* olarak bu şekilde oluşturulan kapalı irrigasyon modellerinin kullanılması ile, apikal foramenin ve dişin dış yüzeyinin periodontal ligament tarafından çevrelediği ve ayrıca alveolar kemiğe gömüldüğü *in-vivo* şartların taklit edilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca burada periapikal direncin simüle edilmesi yanı sıra vapor-lock etkisi oluşması da sağlanarak klinik durum daha iyi yansıtılmaya çalışılmaktadır (Gutarts ve ark 2005, Burleson ve ark 2007). Bu nedenle irrigasyon iğneleri uç dizaynının ve yerleştirme derinliklerinin smear tabaka ve debris uzaklaştırılmasına etkilerinin incelendiği çalışmamızda örneklerin kök ucu mum ile kapatılarak silikon ölçü maddesine gömülmüş ve bu şekilde mümkün olduğunca klinik koşullar taklit edilmeye çalışılmıştır.

İrrigasyon sistemleri ve solüsyonların dentin, mikroorganizmalar, biyofilm ve

doku artıkları üzerine etkilerinin incelendiği birçok çalışma mevcuttur. Çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM), mikro bilgisayarlı tomografi (μ CT), konfokal lazer taramalı mikroskop (CLSM), atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS), X-ışını difraktomisi (XRD), fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) gibi çeşitli mikroskobik araçlar kullanılmaktadır. Mevcut çalışmamızda da, kök kanal duvarlarının apikalindeki debris ve smear tabakasını görüntülemek için; yüksek büyütme oranı ile görüntüleme imkanı sağlayan ve dentin yüzeyleri hakkında bilgi elde etmek için halen yaygın olarak tercih edilen SEM analizi kullanıldı (Abarajithan ve ark 2011, De-Deus ve ark 2015). Önceki çalışmalara benzer şekilde smear tabakasını değerlendirmek için $\times 1000$, debris değerlendirmek için $\times 300$ büyütme SEM görüntüleri elde edilerek skorlandı (Çapar ve Ari Aydınbelge 2014, Akyuz Ekim ve Erdemir 2015, Ozbay ve Erdemir 2018).

Literatürde smear tabaka ve debris değerlendirmeleri için 3'lü (Torabinejad ve ark 2003), 4'lü (Takeda ve ark 1999) veya 5'li (Goel ve Tewari 2009) olmak üzere birçok skorum sistemi kullanılmış ve bu skorum sistemlerinin birçoğunda smear tabaka ve debris miktarları yüzde olarak belirtilmemiştir (Mayer ve ark 2002, Zmener ve ark 2009, Caron ve ark 2010). George ve ark (2008) smear tabaka uzaklaştırma etkinliği ve dentin tübüllerinin incelenmesi için geleneksel SEM skorumları ile dijital görüntü analizini kıyaslamış ve bu farklı değerlendirmeler arasında yüksek uyum olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmamızda skorumlardaki duyarlılığı arttırabilmek amacıyla smear tabaka ve debris miktarlarının belirli yüzdelere ifade edildiği Parente ve ark (2010) tarafından oluşturulup Çapar ve Ari Aydınbelge (2014) tarafından modifiye edilen 5'li skorum sistemi kullanılmıştır.

Hülsmann ve ark (2005); tüm kök kanal dentin yüzeyi göz önünde bulundurulduğunda SEM'de incelenen dentin yüzey alanının çok küçük bir alan olması, smear tabakanın büyük oranda uzaklaştırıldığı dentin yüzeyinin araştırmacı tarafından daha net ayırt edilebilmesi ve araştırmacıların bu alanları seçmekle ilgili önyargılı olma ihtimalleri gibi nedenlerle SEM değerlendirmelerinin nispeten subjektif olduğunu bildirmişlerdir. Mevcut çalışmamızda bu durumu en aza indirebilmek için yapılan bazı çalışmalara benzer şekilde, kök kanalına ve apikale eşit mesafelerdeki noktalardan $\times 50$ büyütmede SEM görüntüleri alınarak, değerlendirme yapılacak alanlar önceden belirlenmiştir (Zhu ve ark 2013, Andrabi ve ark 2014, Ayraanci ve ark 2016). Buna ilaveten ayrıca farklı mesleki deneyime sahip birbirinden

bağımsız iki kör operatör arasındaki uyumu değerlendirmek için kappa analizi de yapılmıştır. Sonuç itibariyle operatörler arasında smear tabaka değerlendirilmesinde %94.2, debris değerlendirilmesinde ise %93.2 oranlarında olmak üzere istatistiksel olarak anlamlı uyum olduğu tespit edilmiştir.

Akış hızı; apikal ekstrüzyon miktarını, solüsyonunun kök kanal sistemi içerisindeki yer değiştirmesini, debris ve smear tabakas uzaklaştırılmasını etkileyebilen önemli bir parametredir (Park ve ark 2013, Chang ve ark 2015). Akış hızını belirleyen faktörlerden birisi ise klinisyenin baş parmağı ile pistonu uyguladığı basınçtır (Boutsioukis ve ark 2007a). *İn-vitro* araştırmalarda akış hızı şırıngalı infüzyon pompası ile standardize edilmeye çalışılsa da, klinik olarak bunu sağlamak güçtür ve bu nedenle de etkili ve güvenli bir irrigasyon için gerekli optimum akış hızı konusunda da fikir birliği mevcut değildir (Williams ve ark. 1995). Yapılan birçok çalışmada, akış hızı sabit tutulmaya çalışılsa da, iğne çapı ve dizaynlarının akış hızına etkisi dikkate alınmamıştır (Moser ve Heuer 1982, Lee ve ark 2004, Sedgley ve ark 2005). Çalışmamızda şırınga içerisindeki yani iğne girişindeki solüsyon akış hızı, şırıngalı infüzyon pompası kullanılarak 4 ml/dk olacak şekilde sabit tutulmuştur. Bu şekilde değişken sayısı azaltılarak apikalden taşan solüsyon miktarının sadece farklı iğne ucu ve farklı iğne konumu açısından değerlendirilmesine olanak sağlamaya çalışılmıştır.

Yapılan bazı apikal ekstrüzyon çalışmalarında, NaOCl kullanımının sodyum kristallerinin çökmesine neden olarak apikalden taşan debris ve solüsyon miktarını etkileyebileceği öne sürülerek, irrigasyon solüsyonu olarak distile su tercih edilmiştir (Caron ve ark 2010, De-Deus ve ark 2010). Ancak; irrigasyon solüsyonlarının akışı, yoğunluk ve viskozite gibi fiziksel özelliklerden etkilense de (White 1979, Tilton 1999) yaygın olarak kullanılan irrigasyon solüsyonlarının çoğu seyreltilmiş sulu çözeltiler olduğundan viskozite ve yoğunlukları distile su ile çok benzerdir (Guerisoli ve ark 1998). Tanalp ve ark (2014) da klinik koşulları yansıtmak için bu tür çalışmalarda rutin olarak kullanılan irrigasyon solüsyonlarının kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu değerlendirmeler gözönüne alınarak mevcut çalışmamızda apikal ekstrüzyon miktarlarının değerlendirilmesi amacıyla NaOCl solüsyonu kullanıldı. Kapalı sistem deney düzeneğinde açık sisteme göre çok daha düşük hacimlerde irrigasyon solüsyonu taşması taşan miktarın açık sistemde olduğu gibi direkt mikropipetle ml olarak ölçülmesini zorlaştırdığından, irrigasyon solüsyonu olarak NaOCl kullanılması aynı zamanda; taşan küçük miktarlardaki solüsyon içinden Na^+ ve

Cl⁻ iyon yoğunlukları tayinine olanak sağlamış ve bu yolla taşan solüsyon miktarlarının µl olarak belirlenmesi de mümkün olmuştur.

İrrigasyon solüsyonu nekrotik pulpal dişlerde, vital pulpal dişlere göre kök kanal boşluğuna daha hızlı penetre olmaktadır. Vital pulpa dokusuna sahip dişlerde irrigasyon solüsyonunun preparasyon yapılan alanda sınırlı kaldığı, nekrotik pulpal ve lezyonlu dişlerin aksine ekstrüzyonu engellediği gösterilmiştir (Salzgeber ve Brilliant 1977). Çalışmamızda dişin pulpal durumunun *in-vitro* olarak taklit edilmesi güç olduğundan ve tüm dişler *in-vitro* eşit şartlarda değerlendirildiğinden bu klinik durum gözardı edilmiştir.

İrrigasyon solüsyonu ve debrisin apikal ekstrüzyon miktarlarının değerlendirildiği çalışmaların çoğu *in-vitro* düzeneklerle yapılmıştır. Bu çalışmalarda kök çevresinde bariyer görevi yapan doğal yapıları taklit etmek için; *çiçek köpüğü* (Hachmeister ve ark 2002, Martin ve ark 2007, Stefopoulos ve ark 2008, Altundasar ve ark 2011), *%1,5'lik agar jel* (Mitchell ve ark 2010, Lu ve ark 2013, İriboz ve ark 2015), *düşük viskoziteli silikon* (Rodríguez-Figueroa ve ark 2014, Azim ve ark 2018) gibi farklı materyaller kullanılmıştır. İnsan periodontal ligamenti 1000-1100 kg/m³ yoğunluğa sahip iken, %1.5'lik agar jel de 1045 kg/m³ ile periapikal dokulara benzer yoğunluk sergilemektedir (Lu ve ark 2013). Fakat agar jelin manüplasyonundaki zorluklar daha az tercih edilmesine neden olmuştur (Mitchell ve ark 2010). Çiçek köpüğü ise daha çok açık apekse sahip dişlerde düşük periapikal doku direncinin taklit edilmesi için kullanılmıştır (Hachmeister ve ark 2002, Martin ve ark 2007, Stefopoulos ve ark 2008). Ayrıca bu materyalin taşan debris ve irrigasyon solüsyonu emme potansiyeli olduğundan apikal ekstrüzyon değerlendirilirken sonuçları etkileyebilme dezavantajı da bulunmaktadır.

Düşük viskoziteli silikon ölçü maddesinin elastik modülü periodontal ligamente benzer olacak şekilde 0,25 MPa'dır (Jamani ve ark 1989). İnsanlarda, periodontal ligament aralığının elastik modülü 0.12-0.96 MPa arasında değişmektedir (Yoshida ve ark 2001). Tüm bunlar gözönüne alınarak mevcut çalışmamızda, apikal ekstrüzyon miktarlarının değerlendirilmesinde periapikal dokuların taklit edilmesi amacıyla diğerlerine göre daha uygun bir materyal olarak görüldüğünden, düşük viskoziteli silikon kullanılmıştır.

Araştırmacıların birçoğu periapikal bölgenin taklit edilmediği çalışmalarda (Kuştarcı ve ark 2008, Alkahtani ve ark 2014, Arruda-Vasconcelos ve ark 2019)

apikal ekstrüzyon miktarının kantitatif olarak ölçülmesine izin veren Myers ve Montgomery modelini tercih etmişlerdir (Myers ve Montgomery 1991). Mevcut çalışmamızda taşan solüsyon miktarları klinik şartlar sağlanmaya çalışılarak periapikal doku direncinin taklit edildiği (kapalı sistem) ve taklit edilmediği (açık sistem) iki farklı deney düzeneği kullanılarak değerlendirilmiştir. Kapalı sistem deney düzeneğinde taşan solüsyon miktarları Na^+ ve Cl^- iyonları molaritesinden faydalanılarak μl olarak hesaplanırken; açık sistem deney düzeneğinde taşan miktarlar mikropipet aracılığıyla direkt ml olarak ölçülmüştür.

Apikal ekstrüzyonun en önemli nedenleri akış hızı ve buna bağlı olarak apikalde oluşan basınçtır (Ram 1977, Druttman ve Stock 1989, Tinaz ve ark 2005). Psimma ve ark (2003) apikal ekstrüzyon üzerinde bunlara ilaveten periapikal doku şartlarının da oldukça belirleyici olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Nitekim taşan irrigasyon solüsyonu miktarının artması ya da azalmasında etkili olabilecek periapikal doku şartlarına bağlı farklı klinik durumlar söz konusu olabilir. Örneğin; sağlıklı periodontal dokulara sahip kapalı apeksli dişlerde periapikal doku ve alveoler kemik, irrigasyon solüsyonunun apikal foramen dışına taşmasına direnç göstererek ekstrüzyon olasılığının azalmasına yardım ederken; fistül bulunan kronik enfeksiyonlu dişlerde, periapikal lezyon varlığında ve kök ucunun maksiller sinus gibi azalmış dirence sahip bir anatomik yapı ile komşuluğu söz konusu olduğunda periapikal direnç nispeten daha az olacağından solüsyonun ekstrüzyon olasılığı daha fazla olacaktır (Zairi ve Lambrianidis 2008, Boutsoukis ve ark 2013, Guivarc'h ve ark 2017). Bu nedenle çalışmamızda, bu tür farklı klinik durumları taklit edip elde edilen sonuçların klinik açıdan yorumlanmasını kolaylaştırmak amacıyla periapikal doku direncinin taklit edildiği (kapalı sistem) ve taklit edilmediği (açık sistem) iki farklı deney düzeneği kullanıldı.

İrrigasyon etkinliklerinin değerlendirildiği farklı pek çok çalışmada kök kanalının tüm seviyelerinin, açık sistem deney düzeneğinde kapalı sistem deney düzeneğine kıyasla belirgin derecede daha temiz olduğu ve özellikle apikal üçlüde bu durumun daha belirgin olduğu bildirilmiştir (Parente ve ark 2010, Susin ve ark 2010, Adcock ve ark 2011, Vera ve ark 2012). Araştırmacılara göre bunun en önemli nedenlerinden birisi vapor-lock etkisi olup; kapalı sistemlerde hava kabarcıkları kök kanalının apikal kısmında hapsolarak irrigasyon solüsyonu penetrasyonunu ve yer değiştirmesini engellemektedir. Bazı araştırmacılar aynı nedenle irrigasyon solüsyonlarının apikal foramenden periapikal dokuya taşmasının zorlaştığını da ileri

sürmüşlerdir (de Gregorio ve ark 2009, Gu ve ark 2009, Tay ve ark 2010) .

Bununla birlikte Boutsoukis ve ark (2014) yukarıda bahsedilen önceki çalışmaların aksine vapor-lock etkisinin irrigasyonun penetrasyon özelliğini ve yer değiştirmesini zorlaştırmasına rağmen kök kanal temizleme konusunda büyük sorun teşkil etmediğini ve iğne ile irrigasyonda; kök kanal boyutunun arttırılması, solüsyonunun akış hızının arttırılması, açık uçlu irrigasyon iğnesinin kullanılması, iğnenin çalışma boyuna yakın konumlandırılması ya da kapalı uçlu irrigasyon iğnesinin çalışma boyunda yüksek akış hızında (0,26 ml/sn) kısa süreli kullanılması ile vapor-lock etkisinin ortadan kaldırılarak yeterli etki yaratılabileceğini ileri sürmüşlerdir. Mevcut çalışmamızda hem açık hem de kapalı uçlu irrigasyon iğneleri çalışma boyundan 1, 2, 3 mm kısa yerleştirme derinliklerinde kendi aralarında benzer fakat çalışma boyu 5 mm kısa kullanılmalarına göre daha düşük debris ve smear tabaka skorları gösterdiler ($p<0,05$). Bunun bir sebebi de yukarıda bahsedildiği şekilde irrigasyon iğnelerinin apikale yakın konumlandırılmasıyla vapor-lock etkisinin azaltılmış olması olabilir.

Vinothkumar ve ark (2007) irrigasyon solüsyonu olarak serum fizyolojik kullandıkları ve irrigasyon iğnelerinin mekanik etkinliklerini değerlendirdikleri *in-vitro* bir çalışmada; bakterilerin kök kanal sisteminden temizlenmesinde kapalı uçlu tek delikli irrigasyon iğnelerinin, kapalı uçlu çift delikli ve açık uçlu eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğnelerine göre daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Kapalı uçlu çift delikli irrigasyon iğnelerinde yukarıdaki deliğin kısmi olarak koronale doğru ekstrüzyon yapması nedeniyle iğne ucundaki basıncı azalttığını ve sonuçta iğne etkinliğinin azalmasına neden olduğunu ileri sürmüşlerdir (Vinothkumar ve ark 2007). Kahn ve ark (1995) ise yapay olarak oluşturdukları kök kanal sisteminde boyanın uzaklaştırılması için kapalı uçlu tek delikli irrigasyon iğnesinin açık uçlu eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğnesine göre daha başarılı olduğunu ve bu etkinin kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinin yarattığı türbülans kaynaklandığı belirtmişlerdir. Bununla birlikte son yıllarda yapılan çalışmalar yukarıdaki bulguların aksine; açık uçlu irrigasyon iğnelerinin solüsyonunun apikalde yer değiştirmesi açısından daha başarılı olduğunu ileri sürmektedir (Shen ve ark 2010, Boutsoukis ve ark 2010e, Chen ve ark 2014). Çünkü hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve görüntüleme yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalarda yukarıda bahsedilen ve kök kanal irrigasyonu sırasında kapalı uçlu iğnelerde olduğu belirtilen türbülans gelişimi henüz deneysel olarak doğrulanmamıştır. Ayrıca; irrigasyon solüsyonu kök kanalına yüksek akış

hızlarında verildiğinde akış kararsız hale gelebilir ve türbülanslı ziyade büyük ölçüde laminar kalır (Boutsioukis ve ark 2009, Boutsioukis ve ark 2010d, Verhaagen ve ark 2012). Türbülanslı akışla oluşan girdap sıvının penetrasyonuna ve yer değiştirerek tazelenmesine yardımcı olarak daha etkili bir debridman sağlayabilir (Salzgeber ve Brilliant 1977). Ancak; kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinde, solüsyon bir girdaptan diğerine akabilse bile apikale doğru hız önemli ölçüde azalmakta ve düşük akış hızında irrigasyon solüsyonu penetrasyonu yavaşlamaktadır. Bu nedenle kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinin apikalinde ardarda oluşan girdaplar arasında solüsyonun yeterli miktarda yer değiştirmesinin mümkün olmadığı yani girdap oluşumunun yeterli miktarda yer değiştirmeyi garanti etmediği de ileri sürülmüştür (Boutsioukis ve ark 2009, Boutsioukis ve ark 2010d, Verhaagen ve ark 2012).

Sonuç itibariyle; iğne dizaynının apikal uçluden debris ve smear tabaka uzaklaştırma etkinliklerinin karşılaştırıldığı mevcut çalışmamızda yukarıda bahsedilen açık ve kapalı uçlu iğnelerin etkinlikleri konusunda yapılan son açıklamaları destekler özellikte; genel değerlendirmede apikal uçluden smear tabaka ve debris uzaklaştırılmasında açık uçlu irrigasyon iğneleri kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinden daha başarılı bulunmuştur ($p<0,05$).

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinden faydalanarak açık ve kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinin akış modellerini kıyaslayan bazı çalışmalara göre; kapalı uçlu tek delikli irrigasyon iğnelerinde, delikten çıkan irrigasyon solüsyonu yaklaşık 30° sapma ile apikalden ziyade kanal duvarına ve ardından da kanal girişine yönelen ters akış bölgeleri oluşturmakta aynı zamanda solüsyon, iğne ucu etrafında yanal olarak yayıldığından sınırlı apikal penetrasyon ve yer değiştirme özelliği göstermektedir (Boutsioukis ve ark 2010d, 2010e, Shen ve ark 2010). Açık uçlu irrigasyon iğneleri ise, solüsyonunun yüksek hızla ve doğrusal bir yol izleyerek yer değiştirmesine olanak sağlamaktadır (Verhaagen ve ark 2012). Açık ve kapalı uç dizaynına sahip iğnelerin akış modellerindeki bu farklılıklar iğnelerin temizleme özelliklerini ve taşan solüsyon miktarlarını etkileyebilir (Altundasar ve ark 2011, Velmurugan ve ark 2014, Silva ve ark 2016). Nitekim çalışmamızda da açık ve kapalı uçlu iğneler arasında hem temizleme özellikleri hem de apikal ekstrüzyon özellikleri açısından farklılıklar olduğu tespit edildi. Çalışma sonuçlarına göre; tüm yerleştirme derinliklerinde açık uçlu iğneler kapalı uçlu iğnelerden daha fazla miktarda solüsyon taşmasına ($p<0,05$) ve yine genel değerlendirmede tüm yerleştirme derinliklerinde apikal debris ve smear tabaka uzaklaştırma etkinlikleri açısından karşılaştırıldıklarında açık uçlu irrigasyon

iğneleri kapalı uçlu iğnelere göre daha etkili bulundu ($p<0,05$).

Araştırmacılara göre ayrıca; kapalı uçlu çift delikli iğnelerde apikale yakın olan delik toplam akışın %93,5'ini oluşturmakta ve koronale yakın olan delikten gelen solüsyonunun akış paterni üzerinde çok az etki göstermektedir (Boutsoukis ve ark 2010e). Mevcut çalışmamızda da benzer şekilde kapalı uçlu çift delikli irrigasyon iğnelerinin koronal kısmındaki ikinci deliğin taşan solüsyon miktarı ve temizleme etkinliğini değiştirmediği, kapalı uçlu tek delikli irrigasyon iğnesi ile benzer etkinlik gösterdiği tespit edildi ($p>0,05$).

Açık ve kapalı uç dizaynına sahip iğnelerin akış modellerinde yukarıda bahsedilen farklılıklar aynı zamanda taşan solüsyon miktarı ile aralarında doğru orantılı bir ilişkili olan apikalde oluşan basınç miktarını da etkileyebilir (Boutsoukis ve ark 2007a, Chen ve ark 2014). Yapılan bir çalışmaya göre, açık uçlu irrigasyon iğnesine yandan açılan deliklerin eklenmesi apikal basınçta %17-19 oranında azalmaya neden olurken, açık uçlu yandan açılan irrigasyon iğnesinin uç kısmının kapatılması apikal basıncı 2,5-3 kat azaltmaktadır (Shen ve ark 2010). Bu verileri destekler nitelikte mevcut çalışma sonuçlarımızda da hem açık hem de kapalı sistem deney düzeneklerinde açık uçlu iğnelerin kapalı uçlu iğnelere göre daha fazla miktarda solüsyon taşmasına neden olduğu belirlendi ($p<0,05$).

Shen ve ark (2010) açık uçlu eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğnesinin çentikli uca sahip olana göre apikal basıncı %7-10 oranında arttırdığını bildirirken; Boutsoukis ve ark (2010e), bu iki farklı uç dizaynına sahip irrigasyon iğneleri arasında apikal basınç açısından belirgin bir fark olmadığını ancak eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğnesinin kök kanalı içerisinde sıkışarak bağlanma olasılığı yüksek olduğu için kaza riskinin daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Mevcut çalışmamızda açık sistem deney düzeneğinde, eğimli uca sahip irrigasyon iğnelerinin çentikli uca sahip iğnelere göre daha fazla miktarda solüsyon taşmasına neden olduğu tespit edildi ($p<0,05$). Bu durumun olası nedeni; eğimli uca sahip iğnelerdeki eğimin mesafeyi uzatmasına bağlı olarak solüsyonunun iğne lümeni içerisindeki yüksek akış hızını daha uzun süre koruyarak çentikli uca sahip iğneye göre nispeten daha yüksek apikal basınç oluşturması olabilir (Shen ve ark 2010). Mevcut çalışmamızda kapalı sistem deney düzeneğinde ise açık sistemde elde edilen sonuçtan farklı olarak; açık uçlu eğimli ve çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğnelerinin benzer miktarda solüsyon taşmasına neden oldukları belirlendi ($p>0,05$). Açık ve kapalı sistem deney düzeneklerinde, açık uçlu eğimli ve çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğneleri

arasındaki bu farklılığın olası nedeni; kapalı sistemde oluşan yüksek periapikal direnç ile her iki irrigasyon iğnesinin apikal bölgede oluşturdıkları basınçlar arasındaki farkın birbirine yakın olması olabilir.

İrrigasyon esnasında yeterli hidrodinamik aktivasyon sağlanmaya çalışılırken aynı zamanda apikal basıncın düşük seviyede tutulması güçtür ve bu noktada solüsyonun taşmasını engelleyecek dizayna sahip bir iğne kullanımı oldukça önem kazanmaktadır (Boutsioukis ve ark 2010a, 2010c, 2010e). Yapılan çalışmalarda, açık uçlu düz yüzeye sahip irrigasyon iğnelerin kanalın apikaline sıkıştırarak bağlanmasının, solüsyonunun kanal girişine doğru geri akışını engelleyebileceği ve bu nedenle apikal basınçta aşırı artışa yol açarak muhtemel bir ekstrüzyona neden olabileceği belirtilmiştir (Boutsioukis ve ark 2010a, Chen ve ark 2014). Aynı çalışmalarda ayrıca, kapalı uçlu tek delikli irrigasyon iğnesinde, iğne ile kanal duvarı arasındaki boşluk azaldıkça bir başka deyişle kanal çapı daraldıkça, solüsyonun apikale doğru yer değiştirmesinin neredeyse imkansız hale geldiği ve ayrıca solüsyonunun yer değiştirdiği alanın iğnenin uç kısmının koronali ile sınırlı kalması nedeniyle kök ucunda oluşan basıncın sıfıra yaklaştığı da gözlemlenmiştir (Boutsioukis ve ark 2010a, Chen ve ark 2014). Bu nedenle özellikle dar kanallarda kapalı uçlu irrigasyon iğneleri güvenli bir irrigasyona izin verirken, açık uçlu irrigasyon iğnelerinin apikalde sıkışmasının ciddi problemlere yol açabileceği belirtilmiştir (Boutsioukis ve ark 2010a). Nitekim çalışma sonuçlarımız da; kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinin açık uçlu iğnelere göre daha az miktarda irrigasyon solüsyonu taşmasına neden olduklarını göstermiştir ($p<0,05$).

İrrigasyon iğnesinin çalışma boyuna yakın olarak konumlandırılması, solüsyonun apikal uçluda daha fazla miktarda ve etkili yer değiştirmesine olanak sağlar (Chow 1983, Sedgley ve ark 2005, Hsieh ve ark 2007). Açık uçlu irrigasyon iğnelerinde, solüsyon klinik olarak uygulanabilir maksimum akış hızında 2-2,5 mmlik etkili bir yer değiştirme sağlayabilirken bu miktar kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinde 1-1,5 mm olarak değişmektedir (Boutsioukis ve ark 2010e). Hsieh ve ark (2007) tarafından, termal görüntü analizi kullanılarak yapılan *in-vitro* bir çalışmada, 27 G açık uçlu eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğnesi apikal çapı #40 olan bir kanal içerisinde, apikalden 3 mm kısa olacak şekilde yerleştirildiğinde etkili bir irrigasyon sağlanırken, 6 mm kısa olacak şekilde konumlandırıldığında solüsyonun apikale bile ulaşmadığı belirlenmiştir. İrrigasyon iğnesi konumlandırmasının kanal içi bakteri sayısı azaltılmasına etkisinin değerlendirildiği bir başka çalışmada ise, iğnenin çalışma

boyundan 1 mm kısa yerleştirilmesi 5 mm kısa yerleştirmeye göre önemli derecede daha etkili bulunmuştur (Sedgley ve ark 2005). Bu bulgulara benzer şekilde mevcut çalışmamızda da irrigasyon iğneleri çalışma boyundan 5 mm kısa yerleştirildiklerinde en düşük debris ve smear tabaka skorları tespit edilmiştir ($p<0,05$).

İrrigasyon iğnelerinin apikale yakın olarak konumlandırılması solüsyonun etkili bir şekilde yer değiştirmesini sağlarken bir yandan da apikal foramende ortalama basıncın artmasına yol açmakta olup, bu durum ise, solüsyonun periapikal dokuya taşma riskinin artmasına neden olmaktadır (Boutsioukis ve ark 2010c, Psimma ve ark 2013, Shalan ve ark 2018). Mevcut çalışmamızda da bu sonucu destekler nitelikte; hem açık hem de kapalı sistem deney düzeneklerinin her ikisinde de, tüm irrigasyon iğnelerinde apikale yaklaştıkça taşan solüsyon miktarlarının arttığı gözlemlendi ($p<0,05$). Aynı zamanda irrigasyon iğneleri apikale yaklaşma miktarı ile orantılı olarak çalışma boyundan 1 mm kısa kullanıldıklarında en fazla, 5 mm kısa kullanıldıklarında en az miktarda solüsyon taşmasına neden oldular ($p<0,05$).

İrrigasyon solüsyonunun akışı sırasında solüsyon ile kök kanal duvarı arasında oluşan sürtünme kuvvetleri, duvardaki akış hızı büyüklüğüne bağlı olan duvar kayma gerilimine yol açarlar. Duvar kayma gerilimi; biyofilm, debris ve smear tabakanın kök kanal duvarlarından temizlenme miktarlarını belirleyen, artmasına bağlı olarak kök kanalının temizlenme özelliğinde artmasını sağlayan ve bu nedenle her bir iğne dizaynının debridman etkinliğinin göstergesi de sayılabilecek fiziksel bir parametredir (Gulabivala ve ark 2010). Yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde, kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinin oluşturduğu duvar kayma geriliminin açık uçlu irrigasyon iğnelerine göre daha yüksek olduğu ancak çok küçük bir alan ile sınırlı kaldığı gösterilmiştir (Boutsioukis ve ark 2010, Šnjarić ve ark 2012, Chen ve ark 2014). Çalışmamızda; tüm yerleştirme derinliklerinde, yapılan istatistiksel genel değerlendirmede örneklem sayısının artmasına bağlı olarak smear tabakanın uzaklaştırılmasında açık uçlu irrigasyon iğnelerinin kapalı uçlu irrigasyon iğnelerinden daha başarılı olduğu ve aynı sonucun debris için de geçerli olduğu sonucuna varılmıştır ($p<0,05$). Yukarıdaki veriler gözönüne alındığında bu durumun olası nedenlerinden biri; irrigasyon esnasında kapalı uçlu irrigasyon iğneleriyle oluşan yüksek duvar kayma gerilimlerinin açık uçlu iğnelerle elde edilene oranla daha sınırlı bir alanda kalıp yetersiz temizleme etkinliği oluşturmaları olabilir.

Kök kanal sisteminin konik formundan dolayı irrigasyon iğneleri çalışma boyundan uzaklaştıkça, kanal duvarı ile irrigasyon iğnesi arasındaki alan artacağından

duvar kayma gerilimi de azalır (Boutsioukis ve ark 2010b). Aynı zamanda solüsyonun koronale doğru yer değiştirebileceği alan artarken, apikale ulaşan irrigasyon solüsyonunun miktarı, hızı ve penetrasyonu da düşer ve bu durum taşan solüsyon miktarını da etkiler (Psimma ve ark 2013) Sonuç itibariyle bu durum; çalışmamızda irrigasyon iğne dizaynları önemsenmeksizin, tüm iğnelerin çalışma boyundan 5 mm kısa yerleştirilmelerinde en yüksek debris ve smear tabaka skorları ($p<0,05$) ve en az taşma miktarları ($p<0,05$) gözlemlenmesinin olası nedenlerinden birisi olabilir.

Chen ve ark (2014), irrigasyon solüsyonlarının akış hızının sabit tutulduğu *in-vitro* bir çalışmada, açık uçlu düz yüzeye sahip irrigasyon iğnesinde solüsyonunun maksimum akış hızının (7 m/sn), kapalı uçlu tek delikli irrigasyon iğnesine göre (1 m/sn) daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Irrigasyon solüsyonu, iğne ucundan uzaklaştıkça bu hız daha da düşmekte ve solüsyonunun penetrasyonu azalmaktadır. Açık uçlu irrigasyon iğneleri kullanıldığında, apikalde irrigasyon solüsyonunun akış hızı kapalı uçlu irrigasyon iğnelere göre daha yüksektir ve bu nedenle daha fazla değişim potansiyeli yarattığı söylenebilir (Verhaagen ve ark 2012, Chen ve ark 2014). Yüksek akış hızı, irrigasyon solüsyonunun hızla yenilenmesini sağlayarak solüsyonun mekanik temizleme etkinliği yanı sıra kimyasal etkinliğini de artırır (Boutsioukis ve van der Sluis 2015). Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda, açık uçlu irrigasyon iğnelerinin smear tabaka ve debrisin uzaklaştırılmasında kapalı uçlu iğnelere göre daha etkili ($p<0,05$) bulunmalarının bir nedeni de açık uçlu irrigasyon iğnelerinin sebep olduğu yüksek akış hızı özellikleri de olabilir.

Alkahtani ve ark (2014), açık uçlu düz yüzeye sahip irrigasyon iğnesi ile kapalı uçlu tek delikli irrigasyon iğnesinin debrisin uzaklaştırılmasına ve taşan solüsyon miktarına etkisini değerlendirmişlerdir. Açık uçlu irrigasyon iğnesi, apikal uçluda bile koronal ve orta uçluya göre daha temiz kök kanal dentin yüzeylerinin elde edilmesini sağlamıştır. Kapalı uçlu tek delikli irrigasyon iğnesinde ise en yüksek debris skorları apikal uçluda gözlemlenirken, koronal ve orta uçluda daha temiz dentin yüzeyleri elde edilmiştir. Fakat açık uçlu irrigasyon iğneleri kullanıldığında taşan solüsyon miktarı daha fazladır. Mevcut çalışmamızın sonuçlarında da benzer şekilde, açık uçlu irrigasyon iğneleri apikal uçludan debris uzaklaştırılmasında kapalı uçlu irrigasyon iğnelere göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha etkili bulunmuş ($p<0,05$), aynı zamanda açık uçlu irrigasyon iğneleri yine benzer şekilde daha fazla miktarda irrigasyon solüsyonu taşmasına neden olmuştur.

İrrigasyon solüsyonu ve/veya debris ekstrüzyon miktarının değerlendirildiği araştırmalar *in-vitro* olarak çalışılmaktadır (Romualdo ve ark 2017, Azim ve ark 2018). Bu komplikasyonun klinik etkilerini değerlendirmek için, periapikal dokuya taşan irrigasyon solüsyonu, debris ve mikroorganizmalar ile yakından ilişkili olan ve kök kanal tedavisi sonrasında görülen yaygın bir komplikasyon olarak gözlemlenen postoperatif ağrı çalışmaları da yapılmaktadır (Shresha ve ark 2018). Ancak bu çalışmalarda ağrı nedeninin multifaktöriyel olması nedeniyle, ekstrüzyonla ilgili net neden-sonuç ilişkisi ortaya koymak çok zordur (Sipavičiūtė ve Manelienė 2014, Shresha ve ark 2018). Topçuoğlu ve ark (2020), kapalı uçlu çift delikli ve açık uçlu eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğnelerinin postoperatif ağrıya etkilerini değerlendirdikleri bir klinik çalışmada, 24 saat sonunda, eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğneleri kullanıldığında, postoperatif ağrının şiddetinin kapalı uçlu irrigasyon iğnelerine göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir (Topçuoğlu ve ark 2020). Çalışmamızın sonuçlarına göre de, açık uçlu irrigasyon iğnelerinin kullanımı, kapalı uçlu irrigasyon iğneleri ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha fazla miktarda irrigasyon solüsyonu taşmasına neden olmuştur ($p<0,05$).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut tez çalışmamızda farklı dizayna sahip irrigasyon iğneleri, farklı yerleştirme derinliklerinde kullanıldıklarında taşan solüsyon miktarları ve apikal üçlünden debris ve smear tabaka uzaklaştırma etkinlikleri değerlendirilerek karşılaştırıldı.

Çalışma şartları gözönüne alınmak suretiyle; elde edilen sonuçlar ve bunlara bağlı öneriler aşağıda verilmiştir:

1- Açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) ve kapalı uçlu (tek ve çift delikli) irrigasyon iğnelerinin 1, 2, 3 ve 5 mm yerleştirme derinliklerinde kullanılmalarıyla *smear tabaka* uzaklaştırma etkinlikleri karşılaştırıldığında; tüm yerleştirme derinliklerinde açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) irrigasyon iğnelerinin kapalı uçlu (tek ve çift delikli) irrigasyon iğnelerine benzer etkinlik gösterdiği tespit edildi ($p>0,05$). Ancak bu sonuca ilave olarak yapılan istatistiksel genel değerlendirmede örneklem sayısının artmasına bağlı olarak smear tabakanın uzaklaştırılmasında açık uçlu irrigasyon iğnelerinin kapalı uçlu (tek ve çift delikli) irrigasyon iğnelerinden daha başarılı olduğu sonucuna varıldı ($p<0,05$). Buna göre genel anlamda kök kanal tedavisinde *smear tabakanın* etkili şekilde uzaklaştırılmasında kapalı uçlu (tek ve çift delikli) irrigasyon iğneleri yerine açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) irrigasyon iğnelerinin kullanımı tavsiye edilebilir.

2- Açık uçlu (eğimli veya çentikli yüzey) ve kapalı uçlu (tek veya çift delikli) irrigasyon iğneleri 1, 2, 3 ve 5 mm yerleştirme derinliklerinde kullanıldıklarında *debris* uzaklaştırma etkinlikleri açısından karşılaştırıldıklarında; tüm yerleştirme derinliklerinde açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) irrigasyon iğnelerinin kapalı uçlu (tek ve çift delikli) irrigasyon iğnelerine göre daha etkili olduğu tespit edildi ($p<0,05$). Bu sonuca bağlı olarak kök kanal sisteminden *debris* uzaklaştırılmasında da kapalı uçlu (tek ve çift delikli) irrigasyon iğneleri yerine açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) iğnelerin kullanımı önerilebilir.

3- Irrigasyon solüsyonlarının ekstrüzyon miktarlarının değerlendirildiği açık ve kapalı sistem deney düzeneklerinin her ikisinde de, iğnelerin çalışma boyundan 1, 2, 3 ve 5 mm kısa olarak konumlandırıldığı tüm yerleştirme derinliklerinde; açık uçlu

(eğimli ve çentikli yüzey) irrigasyon iğnelerinin kapalı uçlu (tek ve çift delikli) iğnelerden daha fazla solüsyon taşmasına neden olduğu gözlemlendi ($p<0,05$). Dolayısıyla klinik olarak irrigasyon solüsyonunun periapikal dokulara taşmasının önlenmesi açısından, açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) irrigasyon iğneleri yerine kapalı uçlu (tek ve çift delikli) irrigasyon iğneleri kullanımı tavsiye edilir.

4- Irrigasyon solüsyonlarının ekstrüzyon miktarlarının değerlendirildiği *açık sistem* deney düzeneğinde; açık uçlu eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğnesi, kullanılan diğer tüm iğne dizaynlarının her birinden daha yüksek hacimde solüsyon taşmasına neden oldu ($p<0,05$). Fakat *kapalı sistem* deney düzeneğinde bu sonuçtan farklı olarak; açık uçlu eğimli yüzeye sahip irrigasyon iğnesi ile çentikli yüzeye sahip irrigasyon iğnesi taşan solüsyon miktarı açısından benzer etkinlik gösterdi ($p>0,05$). Aynı zamanda açık sistem deney düzeneğinde farklı uç dizaynına sahip irrigasyon iğnelerinin herbiri tüm yerleştirme derinliklerinde, kapalı sistem deney düzeneğine kıyasla çok daha fazla miktarda solüsyon taşmasına neden oldu. Sonuç itibarıyla; açık ve kapalı sistem deney düzeneklerinde görülen bu farklılıklar nedeniyle, *in-vitro* araştırmalarda oluşturulan deney düzeneklerinin sonuçları etkileyebileceği gözönünde bulundurulmalı ve elde edilen sonuçlar farklı klinik şartlar göz önüne alınmak suretiyle dikkatle yorumlanmalıdır.

5- Tüm irrigasyon iğneleri farklı yerleştirme derinliklerinde kullanılarak *smear tabaka* ve *debris* uzaklaştırma özellikleri açısından karşılaştırıldıklarında ise; çalışma boyundan 1, 2 ve 3 mm kısa yerleştirme derinliklerinde birbirine benzer ($p>0,05$) ve 5 mm'ye göre daha düşük *smear tabaka* ve *debris* skorları elde edildi ($p<0,05$). Ayrıca; irrigasyon solüsyonlarının ekstrüzyon miktarlarının değerlendirildiği hem açık hem de kapalı sistem deney düzeneklerinde irrigasyon iğnelerinin tümü, çalışma boyundan 1-mm kısa yerleştirme derinliğinde en fazla miktarda solüsyon taşırken, 2-mm'de ikinci en fazla, 3-mm'de üçüncü en fazla miktarda solüsyon taşmasına neden oldu ($p<0,05$). Bir başka deyişle; tüm irrigasyon iğnelerinde apikale yaklaşıldıkça taşan solüsyon miktarının arttığı tespit edildi. Dolayısıyla her iki sonuç birlikte değerlendirildiğinde; *smear tabaka* ve *debris*in etkili bir şekilde uzaklaştırılmasıyla birlikte güvenli irrigasyonun da sağlanması açısından klinik olarak irrigasyon esnasında iğnelerin çalışma boyundan en fazla 3-mm kısa olacak şekilde konumlandırılması tavsiye edilebilir.

6- Yukarıda bahsedilen tüm sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde ise; apikal ekstrüzyonu önlemek açısından tüm derinliklerde kapalı uçlu (tek ve çift delikli) iğneler açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) iğnelere göre daha güvenli görünmekle birlikte, özellikle kök kanalının apikal smear tabaka ve debris temizliği açısından açık uçlu iğnelerin kapalı uçlulara göre nispeten daha başarılı olduğu belirlendi. Dolayısıyla, kök kanal preparasyonunun ilk aşamalarında açık uçlu (eğimli ve çentikli yüzey) irrigasyon iğnelerinin kullanılması ve özellikle apikale 3-mm yaklaşıldıktan sonra kapalı uçlu iğnelerle irrigasyona devam edilmesi solüsyonun periapikal dokulara taşmasının önlemesi ve aynı zamanda apikal uçluda etkili smear tabaka ve debris uzaklaştırılması açılarından optimum irrigasyon prosedürü olarak tavsiye edilebilir.



KAYNAKLAR

- Abarajithan M, Dham S, Velmurugan N, Valerian-Albuquerque D, Ballal S, Senthilkumar H, 2011. Comparison of Endovac irrigation system with conventional irrigation for removal of intracanal smear layer: an in vitro study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 112, 3, 407-11.
- Abou-Rass M, Oglesby SW, 1981. The effects of temperature, concentration, and tissue type on the solvent ability of sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 7, 8, 376-7.
- Abou-Rass M, Piccinino MV, 1982. The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 54, 3, 323-8.
- Adcock JM, Sidow SJ, Looney SW, Liu Y, McNally K, Lindsey K, Tay FR, 2011. Histologic evaluation of canal and isthmus debridement efficacies of two different irrigant delivery techniques in a closed system. *Journal of Endodontics*, 37, 4, 544-8.
- Ahmad M, Roy R, Kamarudin A, 1992. Observations of acoustic streaming fields around an oscillating ultrasonic file. *Dental Traumatology*, 8, 5, 189-94.
- Aktener BO, Bilkay U, 1993. Smear layer removal with different concentrations of EDTA-ethylenediamine mixtures. *Journal of Endodontics*, 19, 5, 228-31.
- Aktener BO, Cengiz T, Pişkin B, 1989. The penetration of smear material into dentinal tubules during instrumentation with surface-active reagents: A scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics*, 15, 12, 588-90.
- Akyuz Ekim SN, Erdemir A, 2015. Comparison of different irrigation activation techniques on smear layer removal: an in vitro study. *Microscopy Research and Technique*, 78, 3, 230-9.
- Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U, Saad AY, 2006. Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics*, 32, 12, 1181-4.
- Alamassi BY, 2017. Endodontic postoperative pain: etiology and related factors—An Update. *International Endodontic Journal*, 5, 2, 13-21.
- Aldeen RZ, Aljabban O, Milly H, Allouch A, Hamadah O, 2018. Effect of Er: YAG laser-activated irrigation on dentine debris removal from different parts of the root canal system: an in vitro study. *Dental and Medical Problems*, 55, 2, 133-8.
- Alkahtani A, Al Khudhairi TD, Anil S, 2014. A comparative study of the debridement efficacy and apical extrusion of dynamic and passive root canal irrigation systems. *BMC Oral Health*, 14, 1, 12.
- Altundasar E, Nagas E, Uyanik O, Serper A, 2011. Debris and irrigant extrusion potential of 2 rotary systems and irrigation needles. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 112, 4, e31-e5.
- Aminoshariae A, Kulild J, 2015. Master apical file size—smaller or larger: a systematic review of microbial reduction. *International Endodontic Journal*, 48, 11, 1007-22.
- Andersen M, Lund A, Andreasen J, Andreasen F, 1992. In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite. *Dental Traumatology*, 8, 3, 104-8.
- Andrabi SMUN, Kumar A, Zia A, Iftekhhar H, Alam S, Siddiqui S, 2014. Effect of passive ultrasonic irrigation and manual dynamic irrigation on smear layer removal from root canals in a closed apex in vitro model. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 5, 3, 188-93.
- Arruda-Vasconcelos R, Barbosa-Ribeiro M, Louzada LM, Mantovani GD, Gomes BP, 2019. Apically Extruded Debris Using Passive Ultrasonic Irrigation Associated with Different Root Canal Irrigants. *Brazilian Dental Journal*, 30, 4, 363-7.
- Arsilan D, Kustarci A, 2018. Efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming on apically extruded debris with different preparation systems in curved canals. *International Endodontic Journal*, 51, 65-72.
- Ayranci L, Arslan H, Akcay M, Capar I, Gok T, Saygili G, 2016. Effectiveness of laser-assisted irrigation and passive ultrasonic irrigation techniques on smear layer

- removal in middle and apical thirds. *The Journal of Scanning Microscopies*, 38, 2, 121-7.
- Azim AA, Aksel H, Jefferson MM, Huang GT-J, 2018. Comparison of sodium hypochlorite extrusion by five irrigation systems using an artificial root socket model and a quantitative chemical method. *Clinical Oral Investigations*, 22, 2, 1055-61.
- Baker NA, Eleazer PD, Averbach RE, Seltzer S, 1975. Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions. *Journal of Endodontics*, 1, 4, 127-35.
- Balto H, Al-Nazhan S, 2002. Accidental injection of sodium hypochlorite beyond the root apex. *Saudi Dental Journal*, 14, 1, 36-8.
- Bansode PV, Patil VM, 2019. Apical Vapour Lock Effect-Phenomenon related to Endodontic Irrigation—A Review. *International Journal of Advanced Research* 7, 4, 1531-1535.
- Barnes J, 1974. The production of inlay cavity bevels. *British Dental Journal*, 137, 10, 379.
- Barnhart BD, Chuang A, Dalle Lucca JJ, Roberts S, Liewehr F, Joyce AP, 2005. An in vitro evaluation of the cytotoxicity of various endodontic irrigants on human gingival fibroblasts. *Journal of Endodontics*, 31, 8, 613-5.
- Baser Can ED, Karapinar Kazandag M, Kaptan RF. Inadvertent apical extrusion of sodium hypochlorite with evaluation by dental volumetric tomography. *Case Report Dentistry* 2015, 2015, 247547.
- Baumgartner JC, Brown CM, Mader CL, Peters DD, Shulman JD, 1984. A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite, and citric acid. *Journal of Endodontics*, 10, 11, 525-31.
- Baumgartner JC, Cuenin PR, 1992. Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *Journal of Endodontics*, 18, 12, 605-12.
- Baumgartner JC, Mader CL, 1987. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *Journal of Endodontics*, 13, 4, 147-57.
- Beeson T, Hartwell G, Thornton J, Gunsolley J, 1998. Comparison of debris extruded apically in straight canals: conventional filing versus profile. 04 Taper series 29. *Journal of Endodontics*, 24, 1, 18-22.
- Berg MS, Jacobsen EL, BeGole EA, Remeikis NA, 1986. A comparison of five irrigating solutions: a scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics*, 12, 5, 192-7.
- Bergenholtz G, 2016. Assessment of treatment failure in endodontic therapy. *Journal of Oral Rehabilitation*, 43, 10, 753-8.
- Beus C, Safavi K, Stratton J, Kaufman B, 2012. Comparison of the effect of two endodontic irrigation protocols on the elimination of bacteria from root canal system: a prospective, randomized clinical trial. *Journal of Endodontics*, 38, 11, 1479-83.
- Blanken J, De Moor RJG, 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: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*, 41, 7, 514-9.
- Blanken JW, Verdaasdonk, RM, 2009. Laser treatment in root canals. Effective by explosive vapour bubbles. *Nederlands Tijdschrift voor Tandheelkunde*, 116, 7, 355-360.
- Bolfoni MR, Ferla MdS, Sposito OdS, Giardino L, Jacinto RdC, Pappen FG, 2014. Effect of a surfactant on the antimicrobial activity of sodium hypochlorite solutions. *Brazilian Dental Journal*, 25, 5, 416-9.
- Bolles JA, He J, Svoboda KK, Schneiderman E, Glickman GN, 2013. Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *Journal of Endodontics*, 39, 5, 708-11.
- Bortoluzzi EA, Carlon Jr D, Meghil MM, El-Awady AR, Niu L, Bergeron BE, Susin L, Cutler CW, Pashley DH, Tay FR, 2015. Efficacy of 3D conforming nickel titanium rotary instruments in eliminating canal wall bacteria from oval-shaped root canals. *Journal of Dentistry*, 43, 5, 597-604.

- Bosch-Aranda ML, Canalda-Sahli C, Figueiredo R, Gay-Escoda C, 2012. Complications following an accidental sodium hypochlorite extrusion: A report of two cases. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 4, 3, 194-198.
- Boutsioukis C, 2010. Application of a Computational Fluid Dynamics model to the study of root canal irrigation, Doctoral Dissertation. Thessaloniki, Greece: Aristotle University of Thessaloniki.
- Boutsioukis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van der Sluis L, 2010a. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady computational fluid dynamics model. *International Endodontic Journal*, 43, 10, 874-81.
- Boutsioukis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van Der Sluis L, 2010b. The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *International Endodontic Journal*, 43, 10, 909-16.
- Boutsioukis C, Kastrinakis E, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, van der Sluis L, 2014. Formation and removal of apical vapor lock during syringe irrigation: a combined experimental and computational fluid dynamics approach. *International Endodontic Journal*, 47, 2, 191-201.
- 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, 144-55.
- Boutsioukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E, Bekiaroglou P, 2007a. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *International Endodontic Journal*, 40, 7, 504-13.
- Boutsioukis C, Lambrianidis T, Vasiliadis L, 2007b. 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, 700-6.
- Boutsioukis C, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LW, 2010c. 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, 1664-8.
- Boutsioukis C, Psimma Z, Van der Sluis L, 2013. Factors affecting irrigant extrusion during root canal irrigation: a systematic review. *International Endodontic Journal*, 46, 7, 599-618.
- Boutsioukis C, van der Sluis LW, 2015. Endodontic Irrigation. In: *Syringe irrigation: blending endodontics and fluid dynamics*. Ed: Basrani B, first edition, Switzerland: Springer, p. 45-64.
- Boutsioukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van Der Sluis L, 2010d. Irrigant flow in the root canal: experimental validation of an unsteady Computational Fluid Dynamics model using high-speed imaging. *International Endodontic Journal*, 43, 5, 393-403.
- Boutsioukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LW, 2010e. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of Endodontics*, 36, 5, 875-9.
- Bowden JR, Ethunandan M, Brennan PA, 2006. Life-threatening airway obstruction secondary to hypochlorite extrusion during root canal treatment. *Oral surgery, Oral medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 101, 3, 402-4.
- Brännström M, 1984. Smear layer: Pathological and treatment considerations. *Operative Dentistry*, Suppl 3, 35-42.
- Braun A, Kappes D, Krause F, Jepsen S, 2005. Efficiency of a novel rinsing device for the removal of pulp tissue in vitro: R19. *International Endodontic Journal*, 38, 12, 923-4.
- 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, 275-82.

- Brown DC, Moore BK, Brown Jr CE, Newton CW, 1995. An in vitro study of apical extrusion of sodium hypochlorite during endodontic canal preparation. *Journal of Endodontics*, 21, 12, 587-91.
- Brown J, Doran J, 1975. An in vitro evaluation of the particle flotation capability of various irrigating solutions. *Journal California Dental Association*, 3, 3, 60-3.
- Brunson M, Heilborn C, Johnson DJ, Cohenca N, 2010. Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *Journal of Endodontics*, 36, 4, 721-4.
- Buchanan L, 1987. Working length and apical patency: the control factors. *The Endodontic Report*, Fall Winter, 16-20.
- Bukiet F, Couderc G, Camps J, Tassery H, Cuisinier F, About I, Charrier A, Candoni N, 2012. Wetting properties and critical micellar concentration of benzalkonium chloride mixed in sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 38, 11, 1525-9.
- Burleson A, Nusstein J, Reader A, Beck M, 2007. The in vivo evaluation of hand/rotary/ultrasound instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *Journal of Endodontics*, 33, 7, 782-7.
- Buurma HA, Buurma BJ, 2020. The effect of smear layer on bacterial penetration through roots obturated using zinc oxide eugenol-based sealer. *BMC Oral Health*, 20, 1, 1-7.
- Byström A, Claesson R, Sundqvist G, 1985. The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. *Dental Traumatology*, 1, 5, 170-5.
- Byström A, Sundqvist G, 1981. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scandinavian Journal of Dental Research*, 89, 4, 321.
- Byström A, Sundqvist G, 1983. Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 55, 3, 307-12.
- Cailleteau JG, Mullaney TP, 1997. Prevalence of teaching apical patency and various instrumentation and obturation techniques in United States dental schools. *Journal of Endodontics*, 23, 6, 394-6.
- Calışkan M, Türkün M, Alper S, 1994. Allergy to sodium hypochlorite during root canal therapy: a case report. *International Endodontic Journal*, 27, 3, 163-7.
- Calt S, Serper A, 2002. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *Journal of Endodontics*, 28, 1, 17-9.
- Cameron JA, 1988. The use of ultrasound for the removal of the smear layer. The effect of sodium hypochlorite concentration; SEM study. *Australian Dental Journal*, 33, 3, 193-200.
- Camoes IC, Salles MR, Fernando MVM, Freitas LF, Gomes CC (2009). Relationship between the size of patency file and apical extrusion of sodium hypochlorite. *Indian Journal of Dental Research*, 20, 4, 426.
- 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, 1361-6.
- Carrigan PJ, Morse DR, Furst ML, Sinai IH, 1984. A scanning electron microscopic evaluation of human dentinal tubules according to age and location. *Journal of Endodontics*, 10, 8, 359-63.
- Carvalho AS, Camargo CHR, Valera MC, Camargo SEA, Mancini MNG, 2008. Smear layer removal by auxiliary chemical substances in biomechanical preparation: a scanning electron microscope study. *Journal of Endodontics*, 34, 11, 1396-400.
- Cecic PA, Peters DD, Grower MF, 1984. The comparative efficiency of final endodontic cleansing procedures in removing a radioactive albumin from root canal systems. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 58, 3, 336-42.
- Cengiz T, Aktener B, Piskin B, 1990. The effect of dentinal tubule orientation on the removal of smear layer by root canal irrigants: a scanning electron microscopic study. *International Endodontic Journal*, 23, 3, 163-71.

- Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi J, Holz J, 1987. The influence of the smear layer on the sealing ability of canal obturation. *International Endodontic Journal*, 20, 5, 228-32.
- Chang JW, Cheung AW, Cheung GS, 2015. Effect of root canal dimensions, injection rate, and needle design on the apical extrusion of an irrigant: an in vitro study. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 6, 3, 221-7.
- Chapman C, Collee J, Beagrie G, 1968. A preliminary report on the correlation between apical infection and instrumentation in endodontics. *International endodontic journal*, 2, 1, 7-11.
- Chen JE, Nurbakhsh B, Layton G, Bussmann M, Kishen A, 2014. Irrigation dynamics associated with positive pressure, apical negative pressure and passive ultrasonic irrigations: a computational fluid dynamics analysis. *Australian Endodontic Journal*, 40, 2, 54-60.
- Chércoles-Ruiz A, Sanchez-Torres A, Gay-Escoda C, 2017. Endodontics, endodontic retreatment, and apical surgery versus tooth extraction and implant placement: a systematic review. *Journal of Endodontics*, 43, 5, 679-86.
- Chow T, 1983. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *Journal of Endodontics*, 9, 11, 475-9.
- Chugal N, Mallya SM, Kahler B, Lin LM, 2017. Endodontic treatment outcomes. *Dental Clinics*, 61, 1, 59-80.
- Clark-Holke D, Drake D, Walton R, Rivera E, Guthmiller JM, 2003. Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer. *Journal of Dentistry*, 31, 4, 275-81.
- Clegg M, Vertucci F, Walker C, Belanger M, Britto L, 2006. The effect of exposure to irrigant solutions on apical dentin biofilms in vitro. *Journal of Endodontics*, 32, 5, 434-7.
- Crincoli V, Scivetti M, Di Bisceglie MB, Pilolli GP, Favia G, 2008. Unusual case of adverse reaction in the use of sodium hypochlorite during endodontic treatment: A case report. *Quintessence International*, 39, 2, 70-73.
- Czonstkowsky M, Wilson EG, Holstein F, 1990. The smear layer in endodontics. *Dental Clinics of North America*, 34, 1, 13-25.
- Çapar İD, Ari Aydinbelge H, 2014. Effectiveness of various irrigation activation protocols and the self-adjusting file system on smear layer and debris removal. *Scanning: The Journal of Scanning Microscopies*, 36, 6, 640-7.
- Dakin HD, 1915. On the use of certain antiseptic substances in the treatment of infected wounds. *British Medical Journal*, 2, 2852, 318-320.
- Dandakis C, Lambrianidis T, Boura P, 2000. Immunologic evaluation of dental patient with history of hypersensitivity reaction to sodium hypochlorite. *Dental Traumatology: Case report*, 16, 4, 184-187.
- Darda S, Madria K, Jamenis R, Heda A, Khanna A, Sardar L, 2014. An in-vitro evaluation of effect of EDTAC on root dentin with respect to time. *Journal of International Oral Health*, 6, 2, 22-27.
- De-Deus G, Belladonna FG, Silva EJNL, Marins JR, Souza EM, Perez R, Lopes RT, Versiani MA, Paciornik S, Neves AdA, 2015. Micro-CT evaluation of non-instrumented canal areas with different enlargements performed by NiTi systems. *Brazilian Dental Journal*, 26, 6, 624-9.
- De-Deus G, Brandão MC, Barino B, Di Giorgi K, Fidel RAS, Luna AS, 2010. Assessment of apically extruded debris produced by the single-file ProTaper F2 technique under reciprocating movement. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 110, 3, 390-4.
- 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, 891-5.
- de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N, 2010. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into

- simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *Journal of Endodontics*, 36, 7, 1216-21.
- De Moor RJG, Blanken J, Meire M, Verdaasdonk R, 2009. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 2: evaluation of the efficacy. *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*, 41, 7, 520-3.
- de Paz LC, 2007. Redefining the persistent infection in root canals: possible role of biofilm communities. *Journal of Endodontics*, 33, 6, 652-62.
- de Souza Filho FJ, Benatti O, de Almeida OP, 1987. Influence of the enlargement of the apical foramen in periapical repair of contaminated teeth of dog. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 64, 4, 480-4.
- del Carpio-Perochena AE, Bramante CM, Duarte MA, Cavenago BC, Villas-Boas MH, Graeff MS, Bernardineli N, de Andrade FB, Ordinola-Zapata R, 2011. Biofilm dissolution and cleaning ability of different irrigant solutions on intraorally infected dentin. *Journal of Endodontics*, 37, 8, 1134-8.
- Desai P, Himel V, 2009. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *Journal of Endodontics*, 35, 4, 545-9.
- Diamond A, 1984. The smear layer: a review of restorative progress. *Journal of Pedodontics*, 8, 3, 219-226.
- DiVito E, Lloyd A, 2012. ER: YAG laser for 3-dimensional debridement of canal systems: use of photon-induced photoacoustic streaming. *Dentistry Today*, 31, 11, 122, 4-7.
- DiVito E, Peters OA, 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, 273-80.
- Doğanay Yıldız E, Dinçer B, Fidan ME, 2020. Effect of different laser-assisted irrigation activation techniques on apical debris extrusion. *Acta Odontologica Scandinavica*, 78, 5, 332-336.
- Druttman A, Stock C, 1989. An in vitro comparison of ultrasonic and conventional methods of irrigant replacement. *International Endodontic Journal*, 22, 4, 174-8.
- Dunavant TR, Regan JD, Glickman GN, Solomon ES, Honeyman AL, 2006. Comparative evaluation of endodontic irrigants against *Enterococcus faecalis* biofilms. *Journal of Endodontics*, 32, 6, 527-31.
- Dutner J, Mines P, Anderson A, 2012. Irrigation trends among American Association of Endodontists members: a web-based survey. *Journal of Endodontics*, 38, 1, 37-40.
- Economides N, Liolios E, Kolokuris I, Beltes P, 1999. Long-term evaluation of the influence of smear layer removal on the sealing ability of different sealers. *Journal of Endodontics*, 25, 2, 123-5.
- Ehrich DG, Brian Jr JD, Walker WA, 1993. Sodium hypochlorite accident: inadvertent injection into the maxillary sinus. *Journal of Endodontics*, 19, 4, 180-2.
- Eick JD, Wilko RA, Anderson CH, Sorensen SE, 1970. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. *Journal of Dental Research*, 49, 6, 1359-68.
- Elnaghy AM, Mandorah A, Elsaka SE, 2017. Effectiveness of XP-endo Finisher, EndoActivator, and File agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study. *Odontology*, 105, 2, 178-83.
- Endodontists AAE, 2003. Glossary of endodontic terms, 7th ed., Chicago, IL, American Association of Endodontists, p. 9-12.
- Esenaliev RO, Oraevsky AA, Letokhov VS, Karabutov AA, Malinsky TV, 1993. Studies of acoustical and shock waves in the pulsed laser ablation of biotissue. *Lasers in Surgery and Medicine*, 13, 4, 470-84.
- Esposito M, Tallarico M, Trullenque-Eriksson A, Gianserra R, 2017. Endodontic retreatment vs dental implants of teeth with an uncertain endodontic prognosis: 1-year results from a randomised controlled trial. *European Journal of Oral Implantology*, 10, 3, 293-308.

- Estrela C, Estrela CR, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD, 2002. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian Dental Journal*, 13, 2, 113-7.
- Falk KW, Sedgley CM, 2005. The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro. *Journal of Endodontics*, 31, 10, 742-5.
- Ford TP, Roberts G, 1990. Tissue response to glass ionomer retrograde root fillings. *International Endodontic Journal*, 23, 5, 233-8.
- Fornari V, Silva-Sousa Y, Vanni J, Pécora J, Versiani M, Sousa-Neto M, 2010. Histological evaluation of the effectiveness of increased apical enlargement for cleaning the apical third of curved canals. *International Endodontic Journal*, 43, 11, 988-94.
- Foster KH, Kulild JC, Weller RN, 1993. Effect of smear layer removal on the diffusion of calcium hydroxide through radicular dentin. *Journal of Endodontics*, 19, 3, 136-40.
- Fraser J, 1974. Chelating agents: their softening effect on root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 37, 5, 803-11.
- Fukumoto Y, Kikuchi I, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H, 2006. An ex vivo evaluation of a new root canal irrigation technique with intracanal aspiration. *International Endodontic Journal*, 39, 2, 93-9.
- Gallottini L, 2017. Shaping of the root canal system: A multistep technique. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 18, 9, 851-5.
- Galvan DA, Ciarlone AE, Pashley DH, Kulild JC, Primack PD, Simpson MD, 1994. Effect of smear layer removal on the diffusion permeability of human roots. *Journal of Endodontics*, 20, 2, 83-6.
- Gambarini G, 1999. Shaping and cleaning the root canal system: a scanning electron microscopic evaluation of a new instrumentation and irrigation technique. *Journal of Endodontics*, 25, 12, 800-3.
- Gao Y, Haapasalo M, Shen Y, Wu H, Li B, Ruse ND, Zhou X, 2009. Development and validation of a three-dimensional computational fluid dynamics model of root canal irrigation. *Journal of Endodontics*, 35, 9, 1282-7.
- Garberoglio R, Becce C, 1994. Smear layer removal by root canal irrigants: a comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 78, 3, 359-67.
- Garip Y, Sazak H, Gunday M, Hatipoglu S, 2010. Evaluation of smear layer removal after use of a canal brush: an SEM study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 110, 2, 62-6.
- Gary Glassman D, 2011. Safety and efficacy considerations in endodontic irrigation. *Dental Economics*, 101, 1, 1-15.
- Genc Sen O, Kaya M, 2018. Comparative safety of needle, EndoActivator, and Laser-activated irrigation in overinstrumented root canals. *Photomedicine and Laser Surgery*, 36, 4, 198-202.
- George R, Rutley EB, Walsh LJ, 2008. Evaluation of smear layer: a comparison of automated image analysis versus expert observers. *Journal of Endodontics*, 34, 8, 999-1002.
- George R, Walsh LJ, 2008. Apical extrusion of root canal irrigants when using Er: YAG and Er, Cr: YSGG lasers with optical fibers: an in vitro dye study. *Journal of Endodontics*, 34, 6, 706-8.
- George S, Kishen A, Song P, 2005. The role of environmental changes on monospecies biofilm formation on root canal wall by *Enterococcus faecalis*. *Journal of Endodontics*, 31, 12, 867-72.
- Gernhardt C, Eppendorf K, Kozlowski A, Brandt M, 2004. Toxicity of concentrated sodium hypochlorite used as an endodontic irrigant. *International Endodontic Journal*, 37, 4, 272-80.
- Gilboe DB, Svare CW, Thayer KE, Drennon DG, 1980. Dentinal smearing: an investigation of the phenomenon. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 44, 3, 310-6.
- Goel S, Tewari S, 2009. Smear layer removal with passive ultrasonic irrigation and the NaviTip FX: a scanning electron microscopic study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 108, 3, 465-70.

- Goldman LB, Goldman M, Kronman JH, Lin PS, 1979. Scanning electron microscope study of a new irrigation method in endodontic treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 48, 1, 79-83.
- Goldman M, Kronman JH, Goldman LB, Clausen H, Grady J, 1976. New method of irrigation during endodontic treatment. *Journal of Endodontics*, 2, 9, 257-60.
- Goode N, Khan S, Eid AA, Niu L-n, Gosier J, Susin LF, Pashley DH, Tay FR, 2013. Wall shear stress effects of different endodontic irrigation techniques and systems. *Journal of Dentistry*, 41, 7, 636-41.
- Goodman A, Reader A, Beck M, Melfi R, Meyers W, 1985. An in vitro comparison of the efficacy of the stepback technique versus a step-back/ultrasonic technique in human mandibular molars. *Journal of Endodontics*, 11, 6, 249-56.
- Gopikrishna V, Swamy Sibi DA, Kumar ARP, Narayanan L, 2016. An in vivo assessment of the influence of needle gauges on endodontic irrigation flow rate. *Journal of Conservative Dentistry*, 19, 2, 189-193.
- Grossman, L. I. 1943, Irrigation of root canals. *The Journal of the American Dental Association*, 30, 23, 1915-1917.
- Gu L-s, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR, 2009. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of Endodontics*, 35, 6, 791-804.
- Guerisoli DMZ, Silva R, Pécora JD, 1998. Evaluation of some physico-chemical properties of different concentrations of sodium hypochlorite solutions. *Brazilian Dental Journal*, 3, 2, 21-3.
- Guivarc'h M, Ordioni U, Ahmed HMA, Cohen S, Catherine J-H, Bukiet F, 2017. Sodium hypochlorite accident: a systematic review. *Journal of Endodontics*, 43, 1, 16-24.
- Gulabivala K, Ng Y, Gilbertson M, Eames I, 2010. The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiological Measurement*, 31, 12, R49.
- Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng YL, 2005. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics*, 10, 1, 103-22.
- Guneser MB, Arslan D, Dincer AN, Er G, 2017. Effect of sodium hypochlorite irrigation with or without surfactants on the bond strength of an epoxy-based sealer to dentin. *Clinical Oral Investigations*, 21, 4, 1259-65.
- 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, 166-70.
- Gutknecht N, an Gogswaardt D, Conrads G, Apel C, Schubert C, Lampert F, 2000. Diode laser radiation and its bactericidal effect in root canal wall dentin. *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery*, 18, 2, 57-60.
- Haapasalo H, Sirén E, Waltimo T, Orstavik D, Haapasalo M, 2000. Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study. *International Endodontic Journal*, 33, 2, 126-31.
- Haapasalo M, Endal U, Zandi H, Coil JM, 2005. Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontic Topics*, 10, 1, 77-102.
- Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y, 2010. Irrigation in endodontics. *Dental Clinics*, 54, 2, 291-312.
- Hachmeister DR, Schindler WG, Walker III WA, Thomas DD, 2002. The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *Journal of Endodontics*, 28, 5, 386-90.
- Hand RE, Smith ML, Harrison JW, 1978. Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 4, 2, 60-4.
- Harrison JW, Baumgartner JC, Svec TA, 1983. Incidence of pain associated with clinical factors during and after root canal therapy. Part 1. Interappointment pain. *Journal of Endodontics*, 9, 9, 384-7.
- Hasselgren G, Olsson B, Cvek M, 1988. Effects of calcium hydroxide and sodium hypochlorite on the dissolution of necrotic porcine muscle tissue. *Journal of Endodontics*, 14, 3, 125-7.

- Hauman C, Love R, 2003. Biocompatibility of dental materials used in contemporary endodontic therapy: a review. Part 1. Intracanal drugs and substances. *International Endodontic Journal*, 36, 2, 75-85.
- Hauser V, Braun A, Frentzen M, 2007. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo®). *International Endodontic Journal*, 40, 8, 644-52.
- Heggers JP, Sazy J, Stenberg B, Strock L, McCauley R, Herndon D, Robson M, 1991. Bactericidal and wound-healing properties of sodium hypochlorite solutions: the 1991 Lindberg Award. *The Journal of Burn care & Rehabilitation*, 12, 5, 420-4.
- Hinrichs RE, Walker III WA, Schindler WG, 1998. A comparison of amounts of apically extruded debris using handpiece-driven nickel-titanium instrument systems. *Journal of Endodontics*, 24, 2, 102-6.
- Hmud R, Kahler WA, Walsh LJ, 2010. Temperature changes accompanying near infrared diode laser endodontic treatment of wet canals. *Journal of Endodontics*, 36, 5, 908-11.
- Hsieh Y, Gau C, Kung Wu S, Shen E, Hsu P, Fu E, 2007. Dynamic recording of irrigating fluid distribution in root canals using thermal image analysis. *International Endodontic Journal*, 40, 1, 11-7.
- Hu S, Duan L, Wan Q, Wang J, 2019. Evaluation of needle movement effect on root canal irrigation using a computational fluid dynamics model. *Biomedical Engineering Online*, 18, 1, 1-15.
- Huang F-M, Yang S-F, Chang Y-C, 2008. Up-regulation of gelatinases and tissue type plasminogen activator by root canal sealers in human osteoblastic cells. *Journal of Endodontics*, 34, 3, 291-4.
- Huang TY, Gulabivala K, Ng YL, 2008. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *International Endodontic Journal*, 41, 1, 60-71.
- Huang X, Ling J, Wei X, Gu L, 2007. Quantitative evaluation of debris extruded apically by using ProTaper Universal Tulsa rotary system in endodontic retreatment. *Journal of Endodontics*, 33, 9, 1102-5.
- Huque J, Kota K, Yamaga M, Iwaku M, Hoshino E, 1998. Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite. *International Endodontic Journal*, 31, 4, 242-50.
- Hülsmann M, Hahn W, 2000. Complications during root canal irrigation—literature review and case reports. *International Endodontic Journal*, 33, 3, 186-93.
- 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, 810-30.
- Hülsmann M, Heckendorff M, Schäfers F, 2002. Comparative in-vitro evaluation of three chelator pastes. *International Endodontic Journal*, 35, 8, 668-79.
- Hülsmann M, Peters OA, Dummer PM, 2005. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics*, 10, 1, 30-76.
- İriboz E, Bayraktar K, Türkaydın D, Tarçın B, 2015. Comparison of apical extrusion of sodium hypochlorite using 4 different root canal irrigation techniques. *Journal of Endodontics*, 41, 3, 380-4.
- ISO 9626 (2001) Stainless Steel Needle Tubing for Manufacture of Medical Devices. Amendment 1. Geneva: International Organization for Standardization, 1–5.
- Jaiswal N, Sinha D-J, Singh U-P, Singh K, Jandial U-A, Goel S, 2017. Evaluation of antibacterial efficacy of chitosan, chlorhexidine, propolis and sodium hypochlorite on *Enterococcus faecalis* biofilm: An in vitro study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 9, 9, 1066-1074.
- Jamani K, Harrington E, Wilson H, 1989. Rigidity of elastomeric impression materials. *Journal of Oral Rehabilitation*, 16, 3, 241-8.

- Jamleh A, Fukumoto Y, Takatomo Y, Kobayashi C, Suda H, Adorno CG, 2016. A comparison between two negative pressure irrigation techniques in simulated immature tooth: an ex vivo study. *Clinical Oral Investigations*, 20, 1, 125-31.
- Jasrotia A, Bhagat K, Bhagat N, Bhagat RK, 2019. Comparison of five different irrigation techniques on smear layer removal in apical thirds of root canals of mandibular first premolar: A scanning electron microscopic study. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 9, 6, 630-636.
- Jiménez LL, Domínguez JA, Ciordia MV, Aumedes TV, 2015. Atomic force microscopy visualization of injuries in *Enterococcus faecalis* surface caused by Er,Cr:YSGG and diode lasers. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 20, 1, 45-51.
- Jodaikin A, Austin J, 1981. Smear layer removal with chelating agents after cavity preparation. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 46, 2, 171-4.
- Johnson G, Brännström M, 1974. The sensitivity of dentin changes in relation to conditions at exposed tubule apertures. *Acta Odontologica Scandinavica*, 32, 1, 29-38.
- Johnson M, Sidow SJ, Looney SW, Lindsey K, Niu L-n, Tay FR, 2012. Canal and isthmus debridement efficacy using a sonic irrigation technique in a closed-canal system. *Journal of Endodontics*, 38, 9, 1265-8.
- Kahn FH, Rosenberg PA, Gliksberg J, 1995. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *Journal of Endodontics*, 21, 5, 277-80.
- Kamel WH, Kataia EM, 2014. Comparison of the efficacy of smear clear with and without a canal brush in smear layer and debris removal from instrumented root canal using WaveOne versus ProTaper: a scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics*, 40, 3, 446-50.
- Kandaswamy D, Venkateshbabu N, 2010. Root canal irrigants. *Journal of Conservative Dentistry*, 13, 4, 256-264.
- Karataslioglu E, Arslan H, Er G, Avci E, 2018. Influence of canal curvature on the amount of apically extruded debris determined by using three-dimensional determination method. *Australian Endodontic Journal*, 45, 2, 216-224.
- Kaufman AY, Keila S, 1989. Hypersensitivity to sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 15, 5, 224-6.
- Keir DM, Senia ES, Montgomery S, 1990. Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *Journal of Endodontics*, 16, 7, 323-7.
- Kennedy WA, Walker III WA, Gough RW, 1986. Smear layer removal effects on apical leakage. *Journal of Endodontics*, 12, 1, 21-7.
- Khademi A, Yazdizadeh M, Feizianfard M, 2006. Determination of the minimum instrumentation size for penetration of irrigants to the apical third of root canal systems. *Journal of Endodontics*, 32, 5, 417-20.
- Kho P, Baumgartner JC, 2006. A comparison of the antimicrobial efficacy of NaOCl/Biopure MTAD versus NaOCl/EDTA against *Enterococcus faecalis*. *Journal of Endodontics*, 32, 7, 652-5.
- Kıvanç BH, Arisu HD, Yanar NÖ, Silah HM, İnam R, Görgül G, 2015. Apical extrusion of sodium hypochlorite activated with two laser systems and ultrasonics: a spectrophotometric analysis. *BMC Oral Health*, 15, 1, 1-5.
- Kleier DJ, Averbach RE, Mehdipour O, 2008. The sodium hypochlorite accident: experience of diplomates of the American Board of Endodontics. *Journal of Endodontics*, 34, 11, 1346-50.
- Koçkapan C, 1987. Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Struktur der Schmierschicht. *Dtsch Zahnärztl*, 42, 1028-34.
- Koulaouzidou EA, Margelos J, Beltes P, Kortsaris AH, 1999. Cytotoxic effects of different concentrations of neutral and alkaline EDTA solutions used as root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, 25, 1, 21-3.
- Krell KV, Johnson RJ, Madison S, 1988. Irrigation patterns during ultrasonic canal instrumentation. Part I. K-type files. *Journal of Endodontics*, 14, 2, 65-8.

- Kuah H-G, Lui J-N, Tseng PS, Chen N-N, 2009. The effect of EDTA with and without ultrasonics on removal of the smear layer. *Journal of Endodontics*, 35, 3, 393-6.
- Kuboki Y, Fujisawa R, Aoyama K, Sasaki S, 1979. Calcium-specific precipitation of dentin phosphoprotein: a new method of purification and the significance for the mechanism of calcification. *Journal of Dental Research*, 58, 9, 1926-32.
- Kustarci A, Akdemir N, Siso SH, Altunbas D, 2008. Apical extrusion of intracanal debris using two engine driven and step-back instrumentation techniques: an in-vitro study. *European Journal of Dentistry*, 2, 233-239.
- Kuştarıcı A, Akpınar K, Sümer Z, Er K, Bek B, 2008. Apical extrusion of intracanal bacteria following use of various instrumentation techniques. *International Endodontic Journal*, 41, 12, 1066-71.
- Kuştarıcı A, Akpınar KE, Er K, 2008. Apical extrusion of intracanal debris and irrigant following use of various instrumentation techniques. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 105, 2, 257-62.
- Kuştarıcı A, Er K, 2015. Efficacy of laser activated irrigation on apically extruded debris with different preparation systems. *Photomedicine and Laser Surgery*, 33, 7, 384-9.
- Lan W-H, Chen K-W, Jeng J-H, Lin C-P, Lin S-K, 2000. A comparison of the morphological changes after Nd-YAG and CO₂ laser irradiation of dentin surfaces. *Journal of Endodontics*, 26, 8, 450-3.
- Lee SJ, Wu MK, Wesselink P, 2004. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *International Endodontic Journal*, 37, 10, 672-8.
- Leonardi LE, Atlas DM, Raiden G, 2007. Apical extrusion of debris by manual and mechanical instrumentation. *Brazilian Dental Journal*, 18, 1, 16-9.
- Leoni GB, Versiani MA, Silva-Sousa Y, Bruniera JFB, Pécora JD, Sousa-Neto MDd, 2017. Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. *International Endodontic Journal*, 50, 4, 398-406.
- Lester K, 1977. Scanning electron microscopy of instrumented, irrigated and filled root canals. *Brazilian Dental Journal* 143, 359-67.
- Lim T, Wee T, Choi M, Koh W, Sae-Lim V, 2003. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde™ File Prep in smear layer removal. *International Endodontic Journal*, 36, 5, 336-43.
- Lin L, Rosenberg P, 2011. Repair and regeneration in endodontics. *International Endodontic Journal*, 44, 10, 889-906.
- Lottanti S, Gautschi H, Sener B, Zehnder M, 2009. Effects of ethylenediaminetetraacetic, etidronic and peracetic acid irrigation on human root dentine and the smear layer. *International Endodontic Journal*, 42, 4, 335-43.
- Lu Y, Wang R, Zhang L, Li H, Zheng Q, Zhou X, Huang D, 2013. Apically extruded debris and irrigant with two Ni-Ti systems and hand files when removing root fillings: a laboratory study. *International Endodontic Journal*, 46, 12, 1125-30.
- Macedo R, Verhaagen B, Wesselink P, Versluis M, van der Sluis L, 2014. Influence of refreshment/activation cycles and temperature rise on the reaction rate of sodium hypochlorite with bovine dentine during ultrasonic activated irrigation. *International Endodontic Journal*, 47, 2, 147-54.
- Macedo R, Wesselink P, Zaccheo F, Fanali D, Van Der Sluis L, 2010. Reaction rate of NaOCl in contact with bovine dentine: effect of activation, exposure time, concentration and pH. *International Endodontic Journal*, 43, 12, 1108-15.
- Machado R, Garcia LdFR, da Silva Neto UX, Cruz Filho AdMd, Silva RG, Vansan LP, 2018. Evaluation of 17% EDTA and 10% citric acid in smear layer removal and tubular dentin sealer penetration. *Microscopy Research and Technique*, 81, 3, 275-82.
- Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD, 1984. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *Journal of Endodontics*, 10, 10, 477-83.

- Malentacca A, Uccioli U, Mannocci F, Bhuva B, Zangari D, Pulella C, Lajolo C, 2018. The comparative effectiveness and safety of three activated irrigation techniques in the isthmus area using a transparent tooth model. *International Endodontic Journal*, 51, e35-e41.
- Martin H, Cunningham WT, 1982. The effect of endosonic and hand manipulation on the amount of root canal material extruded. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 53, 6, 611-3.
- Martin RL, Monticelli F, Brackett WW, Loushine RJ, Rockman RA, Ferrari M, Pashley DH, Tay FR, 2007. Sealing properties of mineral trioxide aggregate orthograde apical plugs and root fillings in an in vitro apexification model. *Journal of Endodontics*, 33, 3, 272-5.
- Masillomani CR, Kettering J, Torabinejad M, 1981. The biocompatibility of some root canal medicaments and irrigants. *International Endodontic Journal*, 14, 2, 115-20.
- 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, 839-43.
- Mayer B, Peters OA, Barbakow F, 2002. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *International Endodontic Journal*, 35, 7, 582-9.
- McComb D, Smith DC, 1975. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *Journal of Endodontics*, 1, 7, 238-42.
- McDonnell G, Russell AD, 1999. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, 12, 1, 147-79.
- McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng YL, 2008. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. *International Endodontic Journal*, 41, 7, 602-8.
- Mehdipour O, Kleier D, Averbach D, Kleier DJ, Averbach RE, 2007. Anatomy of sodium hypochlorite accidents. *Compendium of Continuing Education*, 28, 10, 544-550.
- Mehra P, CLANCY C, WU J, 2000. Formation of a facial hematoma during endodontic therapy. *The Journal of the American Dental Association*, 131, 1, 67-71.
- Mello I, Robazza CRC, Antoniazzi JH, Coil J, 2008. Influence of different volumes of EDTA for final rinse on smear layer removal. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 106, 5, e40-e3.
- Micheli V, Schuster G, Pashley DH, 1980. Bacterial penetration of human dentin in vitro. *Journal of Dental Research*, 59, 8, 1398-403.
- Migoun N, Azouni M, 1996. Filling of one-side-closed capillaries immersed in liquids. *Journal of Colloid and Interface Science*, 181, 1, 337-40.
- Miserendino LJ, Levy GC, Rizoju IM, 1995. Effects of Nd: YAG laser on the permeability of root canal wall dentin. *Journal of Endodontics*, 21, 2, 83-7.
- Mitchell RP, Baumgartner JC, Sedgley CM, 2011. Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems. *Journal of Endodontics*, 37, 12, 1677-81.
- Mitchell RP, Yang S-E, Baumgartner JC, 2010. Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *Journal of Endodontics*, 36, 2, 338-41.
- Mohammadi Z, 2008. Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *International Dental Journal*, 58, 6, 329-41.
- Mohammadi Z, 2009. In vitro evaluation of apical extrusion of bacteria following use of new rotary instrumentation system. *New York State Dental Journal*, 75, 3, 28.
- Moisidis CT, Kastrinakis EG, 2010. Two-phase flow pattern transitions of short airlift pumps. *Journal of Hydraulic Research*, 48, 5, 680-5.
- Montero-Mirallès P, Castillo-Oyagüe R, de la Fuente IS, Lynch CD, Castillo-Dalí G, Torres-Lagares D, 2014. Effect of the Nd: YAG laser on sealer penetration into root canal surfaces: a confocal microscope analysis. *Journal of Dentistry*, 42, 6, 753-9.

- Moorer W, Wesselink P, 1982. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *International Endodontic Journal*, 15, 4, 187-96.
- Moretti A, Sakai VT, Oliveira T, Fornetti A, Santos CFd, Machado MAdAM, Abdo RCC, 2008. The effectiveness of mineral trioxide aggregate, calcium hydroxide and formocresol for pulpotomies in primary teeth. *International Endodontic Journal*, 41, 7, 547-55.
- Moser JB, Heuer MA, 1982. Forces and efficacy in endodontic irrigation systems. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 53, 4, 425-8.
- Myers GL, Montgomery S, 1991. A comparison of weights of debris extruded apically by conventional filing and Canal Master techniques. *Journal of Endodontics*, 17, 6, 275-9.
- Myers T, McDaniel J, 1991. The pulsed Nd: YAG dental laser: review of clinical applications. *Journal of the California Dental Association*, 19, 11, 25-30.
- Nair P, Henry S, Cano V, Vera J, 2005. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 99, 2, 231-52.
- Ng YL, Mann V, Gulabivala K, 2011. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. *International Endodontic Journal*, 44, 7, 583-609.
- Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K, 2007. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature—part 1. Effects of study characteristics on probability of success. *International Endodontic Journal*, 40, 12, 921-39.
- Nguy D, Sedgley C, 2006. The influence of canal curvature on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro using real-time imaging of bioluminescent bacteria. *Journal of Endodontics*, 32, 11, 1077-80.
- Nielsen BA, Baumgartner JC, 2007. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *Journal of Endodontics*, 33, 5, 611-5.
- Ørstavik D, Haapasalo M, 1990. Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Dental Traumatology*, 6, 4, 142-9.
- Ostby N, 1957. Chelating in root canal therapy. Ethylene-diamine tetraacetic acid for cleansing and widening of root canals. *Scandinavian Journal of Dental Research*, 65, 3-11.
- Ozbay Y, Erdemir A, 2018. Effect of several laser systems on removal of smear layer with a variety of irrigation solutions. *Microscopy Research and Technique*, 81, 10, 1214-22.
- Palazzi F, Morra M, Mohammadi Z, Grandini S, Giardino L, 2012. Comparison of the surface tension of 5.25% sodium hypochlorite solution with three new sodium hypochlorite-based endodontic irrigants. *International Endodontic Journal*, 45, 2, 129-35.
- Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA, 2010. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *Journal of Endodontics*, 36, 4, 703-7.
- Paragliola R, Franco V, Fabiani C, Mazzoni A, Nato F, Tay FR, Breschi L, Grandini S, 2010. Final rinse optimization: influence of different agitation protocols. *Journal of Endodontics*, 36, 2, 282-5.
- Parente J, Loushine R, Susin L, Looney S, Weller N, Tay F, 2010. Scanning Electron Microscopy Investigation of the Efficacy of EndoVac® and Manual Dynamic Agitation in Simulated Closed-end and Open-end Canal Systems: OR 28. *Journal of Endodontics*, 36, 3.
- Park D, Lee H, Yoo H, Oh T, 2001. Effect of Nd: YAG laser irradiation on the apical leakage of obturated root canals: an electrochemical study. *International Endodontic Journal*, 34, 4, 318-21.

- Park E, Shen Y, Khakpour M, Haapasalo M, 2013. Apical pressure and extent of irrigant flow beyond the needle tip during positive-pressure irrigation in an in vitro root canal model. *Journal of Endodontics*, 39, 4, 511-5.
- Pashley DH, 1984. Smear Layer: physiological consideration. *Operative Dentistry*, 3, 13-29.
- Pashley DH, 1992. Smear layer: Overview of structure and function. *Proceedings of the Finnish Dental Society*, 88, 215-24.
- Pashley DH, Livingston M, 1978. Effect of molecular size on permeability coefficients in human dentine. *Archives of Oral Biology*, 23, 5, 391-5.
- Pashley DH, Michelich V, Kehl T, 1981. Dentin permeability: effects of smear layer removal. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 46, 5, 531-7.
- Pashley E, Birdsong N, Bowman K, Pashley DH, 1985. Cytotoxic effects of NaOCl on vital tissue. *Journal of Endodontics*, 11, 12, 525-8.
- Pasricha SK, Makkar S, Gupta P, 2015. Pressure alteration techniques in endodontics-a review of literature. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 9, 3, ZE01- ZE06.
- Peeters HH, 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, 1585-9.
- Peeters HH, Suardita K, Mooduto L, Gutknecht N, 2018. Extrusion of irrigant in open apex teeth with periapical lesions following laser-activated irrigation and passive ultrasonic irrigation. *Iranian Endodontic Journal*, 13, 2, 169-175.
- Pesse AV, Warriar GR, Dhir VK, 2005. An experimental study of the gas entrapment process in closed-end microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, 25-26, 5150-65.
- Peters OA, 2004. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *Journal of Endodontics*, 30, 8, 559-67.
- Peters OA, Bardsley S, Fong J, Pandher G, DiVito E, 2011. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *Journal of Endodontics*, 37, 7, 1008-12.
- Peters OA, Paqué F, 2011. Root canal preparation of maxillary molars with the self-adjusting file: a micro-computed tomography study. *Journal of Endodontics*, 37, 1, 53-7.
- Peters OA, Peters CI, Basrani B, 2006. Cleaning and shaping of the root canal system. In: *Pathways of the Pulp*, Ed: Cohen S, Hargreaves KS, 9th edition. Mosby, Canada. p 290-357.
- Peters OA, Schönenberger K, Laib A, 2001. Effects of four Ni–Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *International Endodontic Journal*, 34, 3, 221-30.
- Pirnat S, Lukac M, 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, Haapasalo H, Ørstavik D, Yamauchi M, Haapasalo M, 2002. Inactivation of the antibacterial activity of iodine potassium iodide and chlorhexidine digluconate against *Enterococcus faecalis* by dentin, dentin matrix, type-I collagen, and heat-killed microbial whole cells. *Journal of Endodontics*, 28, 9, 634-7.
- 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, 138-41.
- Psimma Z, Boutsoukis C, Kastrinakis E, Vasiliadis L, 2013. Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo. *Journal of Endodontics*, 39, 4, 521-4.
- Psimma Z, Boutsoukis C, Vasiliadis L, Kastrinakis E, 2013. A new method for real-time quantification of irrigant extrusion during root canal irrigation ex vivo. *International Endodontic Journal*, 46, 7, 619-31.
- Ram Z, 1977. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 44, 2, 306-12.

- Reeh ES, Messer HH, 1989. Long-term paresthesia following inadvertent forcing of sodium hypochlorite through perforation in maxillary incisor. *Dental Traumatology*, 5, 4, 200-3.
- Ribeiro RG, Marchesan MA, Silva RG, Sousa-Neto MD, Pécora JD, 2010. Dentin permeability of the apical third in different groups of teeth. *Brazilian Dental Journal*, 21, 3, 216-9.
- Ricucci D, 1998. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *International Endodontic Journal*, 31, 6, 384-93.
- Ricucci D, Siqueira Jr JF, 2010. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *Journal of Endodontics*, 36, 8, 1277-88.
- Rodríguez-Figueroa C, McClanahan SB, Bowles WR, 2014. Spectrophotometric determination of irrigant extrusion using passive ultrasonic irrigation, EndoActivator, or syringe irrigation. *Journal of Endodontics*, 40, 10, 1622-6.
- Romualdo PC, de Oliveira KMH, Nemezio MA, Kuchler EC, Silva RAB, Nelson-Filho P, Silva LAB, 2017. Does apical negative pressure prevent the apical extrusion of debris and irrigant compared with conventional irrigation? A systematic review and meta-analysis. *Australian Endodontic Journal*, 43, 3, 129-37.
- Rosenfeld EF, James GA, Burch BS, 1978. Vital pulp tissue response to sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 4, 5, 140-6.
- Rossi-Fedele G, De Figueiredo JA, 2008. Use of a bottle warmer to increase 4% sodium hypochlorite tissue dissolution ability on bovine pulp. *Australian Endodontic Journal*, 34, 1, 39-42.
- Rossi-Fedele G, Prichard J, Steier L, De Figueiredo J, 2013. The effect of surface tension reduction on the clinical performance of sodium hypochlorite in endodontics. *International Endodontic Journal*, 46, 6, 492-8.
- Rödig T, Bozkurt M, Konietzschke F, Hülsmann M, 2010. Comparison of the Vibringe system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *Journal of Endodontics*, 36, 8, 1410-3.
- Salzgeber RM, Brilliant JD, 1977. An in vivo evaluation of the penetration of an irrigating solution in root canals. *Journal of Endodontics*, 3, 10, 394-8.
- Sarıylmaz E, Keskin C, 2018. Apical Extrusion of Debris and Irrigant Using XP-Endo Finisher, EndoActivator, Passive Ultrasonic Irrigation or Syringe Irrigation. *Meandros Medical and Dental Journal*, 19, 2, 127-131.
- Scelza MFZ, Antoniazzi JH, Scelza P, 2000. Efficacy of final irrigation—a scanning electron microscopic evaluation. *Journal of Endodontics*, 26, 6, 355-8.
- Scelza MFZ, Daniel RLP, Santos EM, Jaeger MMM, 2001. Cytotoxic effects of 10% citric acid and EDTA-T used as root canal irrigants: an in vitro analysis. *Journal of Endodontics*, 27, 12, 741-3.
- Scelza MrFZ, Pierro V, Scelza P, Pereira M, 2004. Effect of three different time periods of irrigation with EDTA-T, EDTA, and citric acid on smear layer removal. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 98, 4, 499-503.
- Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G, 2004. Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *Journal of Endodontics*, 30, 6, 432-5.
- Schoeffel GJ, 2008. The EndoVac method of endodontic irrigation, part 2--efficacy. *Dentistry Today*, 27, 1, 82-7.
- Schulte-Lünzum R, Gutknecht N, Conrads G, Franzen R, 2017. The impact of a 940 nm diode laser with radial firing tip and bare end fiber tip on enterococcus faecalis in the root canal wall dentin of bovine teeth: An in vitro study. *Photomedicine and Laser Surgery*, 35, 7, 357-63.
- Seal G, Ng YL, Spratt D, Bhatti M, Gulabivala K, 2002. An in vitro comparison of the bactericidal efficacy of lethal photosensitization or sodium hypochlorite irrigation

- on *Streptococcus intermedius* biofilms in root canals. *International Endodontic Journal*, 35, 3, 268-74.
- Sedgley C, Applegate B, Nagel A, Hall D, 2004. Real-time imaging and quantification of bioluminescent bacteria in root canals in vitro. *Journal of Endodontics*, 30, 12, 893-8.
- Sedgley C, Nagel A, Hall D, Applegate B, 2005. Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. *International Endodontic Journal*, 38, 2, 97-104.
- Seidberg BH, Schilder H, 1974. An evaluation of EDTA in endodontics. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 37, 4, 609-20.
- Seltzer S, Naidorf IJ, 1985. Flare-ups in endodontics: I. Etiological factors. *Journal of Endodontics*, 11, 11, 472-8.
- Senia ES, Marshall FJ, 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.
- Serper A, Çalt S, Dogan AL, Guc D, Özçgelik B, Kuraner T, 2001. Comparison of the cytotoxic effects and smear layer removing capacity of oxidative potential water, NaOCl and EDTA. *Journal of Oral Science*, 43, 4, 233-8.
- Setlock J, Fayad MI, BeGole E, Bruzick M, 2003. Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: a comparative scanning electron microscope study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 96, 5, 614-7.
- Shahravan A, Haghdoust A-A, Adl A, Rahimi H, Shadifar F, 2007. Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 33, 2, 96-105.
- Shalan LA, Al-Huwaizi HF, Fatalla AA, 2018. Apical extrusion of debris and irrigants after using different irrigation needles and systems with different depth of penetration (A comparative study). *Biomedical and Pharmacology Journal*, 11, 1, 519-23.
- Shen Y, Gao Y, Qian W, Ruse ND, Zhou X, Wu H, Haapasalo M, 2010. Three-dimensional numeric simulation of root canal irrigant flow with different irrigation needles. *Journal of Endodontics*, 36, 5, 884-9.
- Shresha R, Shrestha D, Kayastha R, 2018. Post-Operative Pain and Associated Factors in Patients Undergoing Single Visit Root Canal Treatment on Teeth with Vital Pulp. *Kathmandu University Medical Journal*, 16, 220-3.
- Silva E, Carapiá M, Lopes R, Belladonna F, Senna P, Souza E, De-Deus G, 2016. Comparison of apically extruded debris after large apical preparations by full-sequence rotary and single-file reciprocating systems. *International Endodontic Journal*, 49, 7, 700-5.
- Silva PB, Krolow AM, Pilownic KJ, Casarin RP, Lima RKP, Leonardo RdT, Pappen FG, 2016. Apical extrusion of debris and irrigants using different irrigation needles. *Brazilian Dental Journal*, 27, 2, 192-5.
- Sipavičiūtė E, Manelienė R, 2014. Pain and flare-up after endodontic treatment procedures. *Stomatologija*, 16, 1, 25-30.
- Siqueira Jr J, 2003. Microbial causes of endodontic flare-ups. *International Endodontic Journal*, 36, 7, 453-63.
- Siqueira Jr J, Pérez A, Marceliano-Alves M, Provenzano J, Silva S, Pires F, Vieira G, Rôças I, Alves F, 2018. What happens to unprepared root canal walls: a correlative analysis using micro-computed tomography and histology/scanning electron microscopy. *International Endodontic Journal*, 51, 5, 501-8.
- 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, 669-71.

- Šnjarić D, Čarija Z, Braut A, Halaji A, Kovačević M, Kuiš D, 2012. Irrigation of human prepared root canal—ex vivo based computational fluid dynamics analysis. *Croatian Medical Journal*, 53, 5, 470-9.
- Só MVR, Vier-Pelisser FV, Darcie MS, Smaniotto DGR, Montagner F, Kuga MC, 2011. Pulp tissue dissolution when the use of sodium hypochlorite and EDTA alone or associated. *Revista Odonto Ciência*, 26, 2, 156-60.
- Souza RA, 2006. The importance of apical patency and cleaning of the apical foramen on root canal preparation. *Brazilian Dental Journal*, 17, 1, 6-9.
- Spangberg L, Engström B, Langeland K, 1973. Biologic effects of dental materials: 3. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 36, 6, 856-71.
- Spencer H, Ike V, Brennan P, 2007. the use of sodium hypochlorite in endodontics—potential complications and their management. *British Dental Journal*, 202, 9, 555-9.
- Stefopoulos S, Tsatsas DV, Kerezoudis NP, Eliades G, 2008. Comparative in vitro study of the sealing efficiency of white vs grey ProRoot mineral trioxide aggregate formulas as apical barriers. *Dental Traumatology*, 24, 2, 207-13.
- Stewart GG, 1998. A scanning electron microscopic study of the cleansing effectiveness of three irrigating modalities on the tubular structure of dentin. *Journal of Endodontics*, 24, 7, 485-6.
- Stojicic S, Zivkovic S, Qian W, Zhang H, Haapasalo M, 2010. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *Journal of Endodontics*, 36, 9, 1558-62.
- Subramanian K, Mickel AK, 2009. Molecular analysis of persistent periradicular lesions and root ends reveals a diverse microbial profile. *Journal of Endodontics*, 35, 7, 950-7.
- Susin L, Liu Y, Yoon J, Parente J, Loushine R, Ricucci D, Bryan T, Weller R, Pashley DH, Tay F, 2010. Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system. *International Endodontic Journal*, 43, 12, 1077-90.
- Şen B, Wesselink P, Türkün M, 1995. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *International Endodontic Journal*, 28, 3, 141-8.
- Takeda F, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K, 1999. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *International Endodontic Journal*, 32, 1, 32-9.
- Tanalp J, Güngör T, 2014. Apical extrusion of debris: a literature review of an inherent occurrence during root canal treatment. *International Endodontic Journal*, 47, 3, 211-21.
- Taneja S, Mishra N, Malik S, 2014. Comparative evaluation of human pulp tissue dissolution by different concentrations of chlorine dioxide, calcium hypochlorite and sodium hypochlorite: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry*, 17, 6, 541.
- Tasdemir T, Er K, Celik D, Yildirim T, 2008. Effect of passive ultrasonic irrigation on apical extrusion of irrigating solution. *European Journal of Dentistry*, 2, 03, 198-203.
- Tay FR, Gu L-s, Schoeffel GJ, Wimmer C, Susin L, Zhang K, Arun SN, Kim J, Looney SW, Pashley DH, 2010. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *Journal of Endodontics*, 36, 4, 745-50.
- Teixeira J, Cunha F, Jesus R, Silva E, Fidel S, Sassone L, 2015. Influence of working length and apical preparation size on apical bacterial extrusion during reciprocating instrumentation. *International Endodontic Journal*, 48, 7, 648-53.
- Teplitsky P, Chenail B, Mack B, Machneech, 1987. Endodontic irrigation—a comparison of endosonic and syringe delivery systems. *International Endodontic Journal*, 20, 5, 233-41.
- Tilton JN 1999. Fluid and particle dynamics. In: Perry RH, Green DW, Maloney JO, Eds. *Perry's chemical engineer's handbook*. 7th ed. New York: McGraw- Hill, p. 6.1–6.50
- Tinaz AC, Alacam T, Uzun O, Maden M, Kayaoglu G, 2005. The effect of disruption of apical constriction on periapical extrusion. *Journal of Endodontics*, 31, 7, 533-5.

- Topçuoğlu G, Topçuoğlu HS, Delikan E, Çalışkan S, 2020. The effect of two different irrigation needles on post-operative pain after pulpectomy in primary molar teeth: A randomized clinical study, *International Journal of Paediatric Dentistry*, 6 p. Erişim tarihi: 11 April 2020. Erişim adresi, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ipd.12652>
- Torabinejad M, Cho Y, Khademi AA, Bakland LK, Shabahang S, 2003. The effect of various concentrations of sodium hypochlorite on the ability of MTAD to remove the smear layer. *Journal of Endodontics*, 29, 4, 233-9.
- Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK, 2002. Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 94, 6, 658-66.
- Torabinejad M, White SN, 2016. Endodontic treatment options after unsuccessful initial root canal treatment: Alternatives to single-tooth implants. *The Journal of the American Dental Association*, 147, 3, 214-20.
- Türker SA, Uzunoğlu E, Purali N, 2018. Evaluation of dentinal tubule penetration depth and push-out bond strength of AH 26, BioRoot RCS, and MTA Plus root canal sealers in presence or absence of smear layer. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 12, 4, 294-298.
- Türkün M, Cengiz T, 1997. The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness. *International Endodontic Journal*, 30, 5, 335-342.
- Uitto VJ, Haapasalo M, Laakso T, Salo T, 1988. Degradation of basement membrane collagen by proteases from some anaerobic oral microorganisms. *Oral Microbiology and Immunology*, 3, 3, 97-102.
- Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S, 2017. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clinical Oral Investigations*, 21, 9, 2681-7.
- Usman N, Baumgartner JC, Marshall JG, 2004. Influence of instrument size on root canal debridement. *Journal of Endodontics*, 30, 2, 110-2.
- Vallabhaneni K, Kakarla P, Avula SSJ, Reddy NVG, Gowd MP, Vardhan KR, 2017. Comparative analyses of smear layer removal using four different irrigant solutions in the primary root canals – A scanning electron microscopic study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 11, 4, ZC64-67.
- van As G, 2004. Erbium lasers in dentistry. *Dental Clinics*, 48, 4, 1017-59.
- Van der Sluis L, Gambarini G, Wu M, Wesselink P, 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, 472-6.
- Van der Sluis L, Versluis M, Wu M, Wesselink P, 2007. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International Endodontic Journal*, 40, 6, 415-26.
- VandeVisse JE, Brilliant JD, 1975. Effect of irrigation on the production of extruded material at the root apex during instrumentation. *Journal of Endodontics*, 1, 7, 243-6.
- Vasiliadis L, Darling A, Levers B, 1983. The histology of sclerotic human root dentine. *Archives of Oral Biology*, 28, 8, 693-700.
- Velayutham Gopikrishna PA, Kumar AP, Narayanan LL, 2014. Influence of temperature and concentration on the dynamic viscosity of sodium hypochlorite in comparison with 17% EDTA and 2% chlorhexidine gluconate: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry*, 17, 1, 57-60.
- Velmurugan N, Sooriaprakas C, Jain P, 2014. Apical extrusion of irrigants in immature permanent teeth by using EndoVac and needle irrigation: an in vitro study. *Journal of Dentistry*, 11, 4, 433-439.
- Vera J, Arias A, Romero M, 2012. Dynamic movement of intracanal gas bubbles during cleaning and shaping procedures: the effect of maintaining apical patency on their presence in the middle and cervical thirds of human root canals—an in vivo study. *Journal of Endodontics*, 38, 2, 200-3.

- Vera J, Hernández EM, Romero M, Arias A, van der Sluis LW, 2012. Effect of maintaining apical patency on irrigant penetration into the apical two millimeters of large root canals: an in vivo study. *Journal of Endodontics*, 38, 10, 1340-3.
- Verhaagen B, Boutsoukis C, Heijnen G, Van der Sluis L, Versluis M, 2012. Role of the confinement of a root canal on jet impingement during endodontic irrigation. *Experiments in Fluids*, 53, 6, 1841-53.
- Versiani MA, Leoni GB, Steier L, De-Deus G, Tassani S, Pécora JD, de Sousa-Neto MD, 2013. Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the Self-adjusting File, Reciproc, WaveOne, and Protaper Universal systems. *Journal of Endodontics*, 39, 8, 1060-6.
- Vinothkumar TS, Kavitha S, Lakshminarayanan L, Gomathi NS, 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, 746-8.
- Violich D, Chandler N, 2010. The smear layer in endodontics—a review. *International Endodontic Journal*, 43, 1, 2-15.
- Vojinovic O, Nyborg H, Brannstrom M, 1973. Acid treatment of cavities under resin fillings: bacterial growth in dentinal tubules and pulpal reactions. *Journal of Dental Research*, 52, 6, 1189-93.
- Voloudakis K, Vrahliotis P, Kastrinakis E, Nychas S, 1999. The behaviour of a conductivity probe in electrolytic liquid/solid suspensions. *Measurement Science and Technology*, 10, 2, 100-5.
- Walker A, 1936. A definite and dependable therapy for pulpless teeth. *The Journal of the American Dental Association* (1922), 23, 8, 1418-25.
- Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG, 2002. Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *Journal of Endodontics*, 28, 12, 837-9.
- Waltimo T, Ørstavik D, Siren E, Haapasalo M, 1999. In vitro susceptibility of *Candida albicans* to four disinfectants and their combinations. *International Endodontic Journal*, 32, 6, 421-9.
- Wandelt S, 1961. Eine kritische betrachtung zur aufbereitung von wuzelkanälen mit komplexi-bildnern. *Dtsch. Zahnaerztliche Z*, 16, 81-6.
- Wandelt S, 1965. Kann man enge Wurzelkanäle mit Komplexbildnern chemisch erweitern? *Dtsch. Zahnaerztl. Z*, 20, 621-6.
- Wang X, Sun Y, Kimura Y, Kinoshita J-I, Ishizaki NT, Matsumoto K, 2005. Effects of diode laser irradiation on smear layer removal from root canal walls and apical leakage after obturation. *Photomedicine and Laser Surgery*, 23, 6, 575-81.
- White FM. *Fluid mechanics*. 4th ed. Boston: McGraw-Hill; 1999. p. 1–56, 129–214, 541.
- Whittaker D, Kneale M, 1979. The dentine-predentine interface in human teeth. A scanning electron microscope study. *British Dental Journal*, 146, 2, 43.
- Willershausen I, Wolf T, Schmidtman I, Berger C, Ehlers V, Willershausen B, Briseño B, 2015. Survey of root canal irrigating solutions used in dental practices within Germany. *International Endodontic Journal*, 48, 7, 654-60.
- Williams S, Goldman M, 1985. Penetrability of the smeared layer by a strain of *Proteus vulgaris*. *Journal of Endodontics*, 11, 9, 385-8.
- Witton R, Henthorn K, Ethunandan M, Harmer S, Brennan P, 2005. Neurological complications following extrusion of sodium hypochlorite solution during root canal treatment. *International Endodontic Journal*, 38, 11, 843-8.
- Wu M-K, Wesselink PR, 1995. Efficacy of three techniques in cleaning the apical portion of curved root canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 79, 4, 492-6.
- Wu MK, Dummer P, Wesselink P, 2006. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *International Endodontic Journal*, 39, 5, 343-56.
- Wu MK, Wesselink P, 2001. A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *International Endodontic Journal*, 34, 2, 137-41.

- Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS, 1983. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *Journal of Endodontics*, 9, 4, 137-42.
- Yamazaki H, Sperline R, Freiser H, 1992. Spectrophotometric determination of pH and its application to determination of thermodynamic equilibrium constants. *Analytical Chemistry*, 64, 22, 2720-5.
- Yoshida N, Koga Y, Peng C-L, Tanaka E, Kobayashi K, 2001. In vivo measurement of the elastic modulus of the human periodontal ligament. *Medical Engineering & Physics*, 23, 8, 567-72.
- Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyo S, Sekine I, 1995. Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. *Journal of Endodontics*, 21, 12, 592-3.
- Yost RA, Bergeron BE, Kirkpatrick TC, Roberts MD, Roberts HW, Himel VT, Sabey KA, 2015. Evaluation of 4 different irrigating systems for apical extrusion of sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 41, 9, 1530-4
- Zairi A, Lambrianidis T, 2008. Accidental extrusion of sodium hypochlorite into the maxillary sinus. *Quintessence International*, 39, 9, 745-8.
- Zehnder M, 2006. Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, 32, 5, 389-98.
- Zhu X, Yin X, Chang JW, Wang Y, Cheung GS, 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, 371-7.
- Zmener O, Pameijer CH, Serrano SA, Palo RM, Iglesias EF, 2009. Efficacy of the NaviTip FX irrigation needle in removing post instrumentation canal smear layer and debris in curved root canals. *Journal of Endodontics*, 35, 9, 1270-3.
- Zou L, Shen Y, Li W, Haapasalo M, 2010. Penetration of sodium hypochlorite into dentin. *Journal of Endodontics*, 36, 5, 793-6.

7. EKLER

7.1. EK-A Etik Kurul Onayı



GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR DEĞERLENDİRME KOMİSYONU

Toplantı Sayısı: 2019/06

Toplantı Tarihi: 24.10.2019

Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalından Prof.Dr. Funda KONT ÇOBANKARA aynı Anabilim Dalından Dt. Nur ERBİL tarafından sunulan **“Farklı İğne Dizaynı ve İğne Yerleştirme Derinliklerinin Kök Kanalının Apikal Üçlü Temizliği ve İrrigantların Apikal Ekstrüzyonu Üzerine Etkileri: İn Vitro Çalışma”** araştırma projesi 1 Başkan ve 11 üyenin katılımı ile değerlendirildi.

Değerlendirme sonucunda, Projenin, Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Değerlendirme Yönergesi İlkelerine uygun olduğundan **“kabulüne”** oybirliği ile karar verildi.

Prof.Dr.Nimet ÜNLÜ
Başkan

Prof.Dr.İsa YÖNDEM
Üye

Doç.Dr.Nevin ÇOBANOĞLU
Üye

Prof.Dr.Ercan DURMUŞ
Üye

Prof.Dr.Sema S. HAKKI
Üye

Prof.Dr.Duygu BİNDİK
Üye

Prof.Dr.Ender ERDOĞAN
(Raporlu)

Prof.Dr.Hale ARI AYDINBELGE
Üye

Prof.Dr.Fusun YAŞAR
Üye

Prof.Dr.Sibel YILDIRIM
Üye

Doç.Dr.Z. Müge BAKA
Üye

Doç.Dr.Hüsamettin VATANSEV
Üye

Prof.Dr.K.Hakan DOĞAN
Üye

8. ÖZGEÇMİŞ

26.05.1992 tarihinde Eskişehir’de doğdu. İlköğrenimini Kazım Karabekir İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimini Kılıçoğlu Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2016 yılında Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nden mezun oldu. 2017 yılında Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı’nda uzmanlık eğitimine başladı. Eğitimine halen aynı bölümde, uzmanlık öğrencisi olarak devam etmektedir.

