



T.C.

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**SİMÜLE AÇIK APEKSE SAHİP TEK KÖKLÜ DİŞLERDE
FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON YÖNTEMLERİNİN
APİKALDEN TAŞAN İRRİGASYON SOLÜSYONU MİKTARINA
ETKİSİNİN KANTİTATİF OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Merve ÖLMEZ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

UZMANLIK TEZİ

EYLÜL 2021

BOLU



T.C.

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**SİMÜLE AÇIK APEKSE SAHİP TEK KÖKLÜ DİŞLERDE
FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON YÖNTEMLERİNİN
APİKALDEN TAŞAN İRRİGASYON SOLÜSYONU MİKTARINA
ETKİSİNİN KANTİTATİF OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Merve ÖLMEZ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

UZMANLIK TEZİ

Danışman: Doç. Dr. Zeliha UĞUR AYDIN

EYLÜL 2021

BOLU

ÖZET

SİMÜLE AÇIK APEKSE SAHİP TEK KÖKLÜ DİŞLERDE FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON YÖNTEMLERİNİN APİKALDEN TAŞAN İRRİGASYON SOLÜSYONU MİKTARINA ETKİSİNİN KANTİTATİF OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmanın amacı, kök kanal tedavisinde final irrigasyon aktivasyon yöntemi olarak kullanılan Sİİ, PUI, EA, EDDY yöntemlerinin açık apeksli dişlerde apikalden taşan irrigasyon solüsyonu miktarına etkisini kantitatif olarak karşılaştırmaktır.

Mevcut çalışmaya tek kök ve tek kanala sahip 60 adet diş dahil edildi. Belirlenen çalışma boylarında ProTaper Next döner eğe sisteminin X1 (17.04), X2 (25.06), X3 (30.07) eğeleri kullanılarak kök kanalları prepare edildi. İşaretlenen referans noktalardan elmas diskler ile diş dokuları uzaklaştırılarak 5 ± 1 mm kuron ve 11 ± 1 mm kök boyları olacak şekilde tüm dişlerde standardizasyon sağlandı. Açık apekse sahip dişlerin simülasyonu için #1'den #6'ya kadar olan Peeso Reamer uçları kullanıldı ve apikal çap 1.5mm olacak şekilde standardize edildi. Kök kanalları %2,5'lik NaOCl, %17'lik EDTA ve distile su kullanılarak irrigate edildi. Deney düzeneğinde dişler Eppendorf tüplerin kapaklarına açılan boşluklara sabitlendi. Sızıntı oluşmasını önlemek için Eppendorf tüpün kapağı ve diş arasında kalan boşluk siyanoakrilat ile kapatıldı. Kapağa drenaj kanülü olarak 27 G iğne; iğne ucu kök hizasında olacak şekilde yerleştirildi. Eppendorf tüpler tamamen NaOCl ile dolduruldu. Örnekler final irrigasyon aktivasyon yöntemlerine göre rastgele 4 gruba ayrıldı (n=15); Sİİ, PUI, EA, EDDY. Tüm gruplarda toplam 6 ml %'3 'lük NaOCl kullanılarak 3 dakika boyunca final irrigasyon aktivasyon prosedürü uygulandı. Ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu drenaj kanülünden insülin enjektörü yardımıyla toplandı ve her grup için artış miktarı ml cinsinden kaydedildi. Verilerin normalliğini değerlendirmek için Kolmogorov-Smirnov testi kullanıldı ve ekstrüze irrigant miktarı Kruskal-Wallis ve Mann Whitney-U testleri kullanılarak istatistiksel olarak $P<0.05$ anlamlılık düzeyinde analiz edildi.

En yüksek ortalama irrigant ekstrüzyonu Sİİ ve PUI grupları ile ilişkilendirilirken, EA grubunda ise diğer gruplara göre daha az irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu gözlemlenmiştir. Ancak test edilen tüm irrigasyon aktivasyon sistemleri arasında apikalden ekstrüze olan ortalama irrigant miktarının hacmi arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı ($P<0,05$).

Anahtar Kelimeler: Açık apeks, Final irrigasyon aktivasyon, Irrigasyon ekstrüzyonu Sİİ, PUI, EA, EDDY



ABSTRACT

QUANTITATIVE EVALUATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT IRRIGATION ACTIVATION METHODS ON THE AMOUNT OF IRRIGATION SOLUTION OVERFLOWING FROM THE APICAL IN SINGLE ROOT TEETH WITH SIMULATE OPEN APEX

The purpose of this study is to quantitatively compare the effect of SII, PUI, EA, EDDY methods used as the final irrigation activation method in root canal treatment on the amount of irrigation solution overflowing from the apical in single root teeth with an open apex.

60 teeth with single root and single canal were included in the current study. Root canals at the determined working lengths were prepared using the X1 (17.04), X2 (25.06), X3 (30.07) files of the ProTaper Next rotary file system. Dental tissues were removed with diamond discs from the marked reference points, and standardization was achieved in all teeth, with 5 ± 1 mm crown and 11 ± 1 mm root lengths. Peeso Reamer tips from #1 to #6 were used to simulate teeth with an open apex, and the apical diameter was standardized as 1.5mm. Root canals were irrigated with 2.5% NaOCl, 17% EDTA and distilled water. In the experimental setup, the teeth were fixed in the gaps opened on the caps of Eppendorf tubes. To prevent leakage, the gap between the cap of the Eppendorf tube and the tooth was sealed with cyanoacrylate. A 27 G needle was inserted into the cap as a drainage cannula with the tip at the root level. Eppendorf tubes were filled with NaOCl completely. To apply the final irrigation activation methods, after the preparation of the setups, the setups were randomly divided into four groups as SII, PUI, EA, EDDY (n=15). In all groups, 6 ml of 3% NaOCl was applied for 3 minutes in the final irrigation activation procedure. The extruded irrigation solution was collected from the drainage cannula with the help of an insulin injector, and the amount of increase was recorded in ml for each group. Kolmogorov-Smirnov test was used to evaluate the normality of the data, and the

amount of extruded irrigant was analyzed statistically at the $P < 0.05$ significance level using Kruskal-Wallis and Mann Whitney-U tests.

While the highest mean irrigant extrusion was associated with the SII and PUI groups, less irrigation solution extrusion was observed in the EA group compared to the other groups. However, these are not statistically significant ($P < 0.05$).

Keywords: Immature apex, Final irrigation activation, Irrigation extrusion, SII, PUI, EA, EDDY



TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitim süresince benden manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan, gerek akademik gerek klinik tecrübelerini paylaşarak bana yol gösteren, çalışmalarımda beni her zaman büyük bir özveri ile destekleyen saygı değer danışman hocam **Doç. Dr. Zeliha UĞUR AYDIN**'a en içten duygularıyla sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Uzmanlık eğitimim süresince desteği ve katkıları nedeniyle, ayrıca biriktirdiğimiz tüm güzel anılarımız için **Uzm. Dt. Aylin ÖRENÇ, Dt. Ayşe Kardelen YILMAZ, Uzm. Dt. Ayşegül ATİLLA, Uzm. Dt. Mehmet Görkem OCAK, Uzm. Dt. Sena TOPALAN**'a,

Bugünlere gelmemi sağlayan, hayatımın her aşamasında olduğu gibi eğitim sürecimde de maddi manevi tüm olanaklarıyla bana destek olan annem **Hilal ÖLMEZ**'e , babam **Aydın ÖLMEZ**'e, sevgili kardeşim **Zeynep ÖLMEZ**'e,

Sonsuz teşekkürlerimle...

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar	viii
ŞEKİLLER	ix
SİMGE VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Açık Apeksli Dişler	4
2.1.1. Açık Apeksli Dişlerin Etiyolojisi.....	4
2.1.2. Açık Apeksli Dişlerde Endodontik Tedavi Gereksinimi	5
2.1.2.1. Kalsiyum Hidroksit ile Gerçekleştirilen Apeksifikasyon	6
2.1.2.2. Kalsiyum Silikat Esaslı Materyaller ile Gerçekleştirilen Apeksifikasyon	7
2.1.2.3. Rejeneratif Endodontik Tedavi	8
2.2. Endodontik Tedavide İrrigasyonun Önemi	10
2.4. Endodontide İrrigasyon Aktivasyon.....	12
2.4.1. İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri.....	13
2.4.1.1. Manuel İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri.....	13
2.4.1.1.1. İğne/Kanül ile Şırınga İrrigasyonu (Geleneksel irrigasyon) .	13
2.4.1.1.2. Fırçalar	15
2.4.1.1.3. Manuel Dinamik Aktivasyon.....	15
2.4.1.2. Mekanik Aktivasyon Teknikleri	16
2.4.1.2.1. Döner Alet ile Kullanılan Fırçalar	16
2.4.1.2.2. EĞeleme ile Birlikte Yapılan İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri.....	16
2.4.1.2.2.1. Quantec-E İrrigasyon Sistemi.....	16
2.4.1.2.2.2. SAF (Self Adjusting File) Sistemi.....	17
2.4.1.2.2.3. XP-Endo Finisher	18
2.4.1.2.2.4. Xp-Endo Finisher R (XPFR)	19

2.4.1.2.3. Negatif Basınç Prensibiyle Çalışan İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri.....	19
2.4.1.2.3.1. RinsEndo Sistemi	19
2.4.1.2.3.2. EndoVac Sistemi	20
2.4.1.2.4. Sonik ve Ultrasonik Sistemler	21
2.4.1.2.5. Lazer Destekli İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri.....	23
2.4.1.2.5.1. Foton Kaynaklı Fotoakustik Akım (PIPS)	24
2.4.1.2.5.2. Şok Dalgası ile Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akım (SWEEPS).....	25
3. GEREÇ VE YÖNTEM	27
3.1. Etik Kurul Onayı ve Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması	27
3.2. Örnek Seçimi ve Hazırlanması.....	27
3.3. Açık Apeksin Simüle Edilmesi ve Kök Kanallarının Preparasyonu	28
3.4. Deney Düzeneklerinin Hazırlanması	29
3.5. Final İrrigasyon Aktivasyon Prosedürleri	31
3.6. Apikalden Taşan Solüsyon Miktarının Kantitatif Olarak Değerlendirilmesi.....	37
3.7. İstatistiksel Analiz	38
4. BULGULAR	39
5. TARTIŞMA	40
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
7. KAYNAKLAR	48

TABLÖLAR

Tablo 1 Her grup için apikalden ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarının ortalama volümü ve standart sapması (SS)	39
---	-----------



ŞEKİLLER

Şekil 3.1 Kök kanal preparasyonu için kullanılan ProTaper Next (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) döner eğe sistemi; X1 (17.04), X2 (25.06), X3 (30.07)	28
Şekil 3.2 Örneklerin kök kanal uzunluğunun standardizasyonu	29
Şekil 3.3 Deney düzeneği	30
Şekil 3.4 Deney düzeneği	31
Şekil 5 Sİİ grubunda final irrigasyon aktivasyon uygulaması.....	32
Şekil 3.6 Sonicmax (Maximum Dental) cihaza adapte edilen EDDY (VDW) ile final irrigasyon aktivasyon prosedürünün uygulanması.....	32
Şekil 3.7 Sonicmax (Maximum Dental) cihazı.....	33
Şekil 3.8 EDDY (VDW) ucu	33
Şekil 3.9 Satelec P5 Newtron X5 (Acteon) ultrasonik cihaza takılarak kullanılan #25 numara Irrisafe (Acteon) ultrasonik endodontik uç ile final irrigasyon aktivasyon uygulaması.....	34
Şekil 3.10 Satelec P5 Newtron X5 (Acteon) ultrasonik cihazı.....	35
Şekil 3.11 EndoActivator (Dentsply) sonik aktivasyon cihazına adapte edilen 25, %0.4 boyutundaki uç ile final irrigasyon aktivasyon uygulaması.....	36
Şekil 3.12 EndoActivator (Dentsply) sonik irrigasyon aktivasyon cihazının 25, %0.4 boyutundaki ucu.....	36
Şekil 3.13 EndoActivtor (Dentsply) sonik irrigasyon aktivasyon cihazı	37
Şekil 3.14 Ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarının %0.01'lik artış miktarı ile ölçüldüğü insülin enjektörü.....	38

SİMGE VE KISALTMALAR

Ark.	Arkadaşları
BT	Bilgisayarlı Tomografi
Ca(OH)₂	Kalsiyum Hidroksit
dk	Dakika
EDTA	Etilendiamin Tetraasetik Asit
Er:YAG	Erbium Yitrium Aluminium Garnet
G	Gouge
Hz	Hertz
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
kHz	Kilohertz
ml	Mililitre
MTA	Mineral Trioksit Agregat
N	Newton
Ni-Ti	Nikel Titanyum
n	Numune Sayısı
NaOCl	Sodyum Hipoklorit
Nd:YAG	Neodymium Yitrium Aluminium Garnet
PIPS	Foton Kaynaklı Fotoakustik Akım
PUI	Pasif Ultrasonik İrrigasyon
SAF	Self Adjusting File
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu

sii	Standart İğne İrrigasyonu
SWEEPS	Şok Dalgası ile Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akım
sn	Saniye
°C	Derece Santigrat
<	Küçüktür
µm	Mikrometre
ms	Mikrosaniye
%	Yüzde
W	Watt
XPF	Xp Finisher
XPFR	Xp Finisher R

1. GİRİŞ

Endodontik tedavi, enstürmantasyon, irrigasyon, medikamasyon ve obturasyon olmak üzere birbirini takip eden dört temel aşamadan oluşmaktadır. Endodontik tedavide başarı tanımı genel olarak semptomların gerilemesi, yok olması veya ilerlememesi olarak tanımlanmaktadır (1). Kök kanal sistemindeki enfeksiyonlar polimikrobiyal bir yapıya sahiptir. Endodontik tedavinin en önemli aşamalarından biri olan irrigasyon prosedüründe birincil hedef bu polimikrobiyal topluluk ve bunların ürünlerini elimine edilmesidir. Bu konunun kritik öneme sahip olmasının sebebi endodontik tedavide başarısızlığın ana nedeninin kök kanal sistemindeki polimikrobiyal floranın yeterli düzeyde elimine edilmemesi sonucunda rezidüel olarak kalan mikroorganizmalar ve mikroorganizma ürünlerinin yeniden kolonizasyonunun olmasıdır (2, 3).

Pulpa nekrozu, travmatik yaralanmalar veya diş yapısındaki morfolojik değişiklikler (palatogingival oluk, dens invajinatus, dens evajinatus) yoluyla mikroorganizma kontaminasyonu sonucunda ortaya çıkabilmektedir (4). Pulpa nekrozu gerçekleştiği sırada kök gelişim aşamasına bağlı olarak, kök kalınlığı ve kök uzunluğu tamamlanmadan kök gelişimi durabilmektedir. Amerikan Endodonti Derneği (AAE), apikal çapı 1.5 mm'den büyük olan dişleri, vaka zorluk değerlendirme indeksine göre yüksek zorluk derecesine sahip vakalar olarak sınıflandırmaktadır. Bu dişlerin yönetimi yüksek endodontik beceri gerektirmektedir. Etyolojiden bağımsız olarak, açık apeksli, ince ve kırılğan dentin duvarlarına sahip olgunlaşmamış dişlerde geleneksel endodontik tedavi yöntemlerinin kullanılması mümkün olmamaktadır. Açık apeksli dişlerde, minimal enstürmantasyon yöntemleri ile dezenfeksiyon, kanal içi irrigasyon solüsyonları ve medikamanların etkinliğine dayanmaktadır (5, 6).

Açık apeksli dişlerde gerçekleştirilen revaskülarizasyon prosedürlerinde, irrigasyon aşaması tedavinin prognozu açısından önemli bir tedavi basamağıdır. (7). Açık apeksli dişlerin ince ve kırılğan dentin duvarlarına sahip olmasından dolayı minimal enstrümantasyon ile tedavi prosedürlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle kimyasal ve mekanik debridman büyük oranda irrigasyon aşamasına bağlı olmaktadır. Açık apeksli dişlerde geniş apikal açıklık, ince ve paralel dentin duvarları mevcut olması nedeniyle irrigasyon solüsyonlarının etkinliğini artırmak amacıyla

irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir (8). Ancak açık apeksli dişlerde dezenfeksiyon amacıyla kullanılan irrigasyon solüsyonlarının apikalden ekstrüzyonu çevredeki kök hücrelere zarar vererek rejenerasyonu ve iyileşmeyi olumsuz yönde etkilemektedir (9). Bu nedenle açık apeksli dişlerde maksimum dezenfeksiyon ve minimal apikal ekstrüzyonu sağlayan ideal irrigasyon aktivasyon yöntemi arayışı devam etmektedir.

Standart iğne irrigasyonunda (Sİİ), apikal üçte birlik bölüme irrigasyon solüsyonunun iletilmesi, uzaklaştırılması ve kimyasal debridmanın etkinliği, iğne ucunun penetrasyon derinliğine bağlıdır (10). Boutsoukis ve ark. (11) akışkan dinamiği modeline göre, irrigasyon solüsyonunun iletimi yandan perfore bir iğne ile yalnızca iğne ucunun 1-1.5 mm ötesine kadar olduğunu bildirmiştir. Kök kanallarının apikal üçte birlik kısmında havanın hapsolmesine neden olan buhar kilidi etkisi irrigasyon solüsyonunun değişimini ve dolayısıyla debridman etkinliğini engelleyebilmektedir. Çalışmalar, Sİİ'nin kök kanal sisteminin koronal alanına kıyasla apikal bölgelerin dezenfekte edilmesinde daha az etkin olduğunu göstermektedir (10). Bu nedenle irrigasyon solüsyonunu kök kanal sistemi içerisindeki dağılımını artırmak için farklı teknik ve yöntemlerin kullanımı önerilmektedir. Bu tekniklerden biri olan pasif ultrasonik irrigasyon (PUI), kanalda ultrasonik olarak aktive edilmiş bir ege ile, eş zamanlı enstrümantasyon olmaksızın irrigasyon solüsyonunun aktivasyonunu kapsayan bir aktivasyon yöntemidir (12). Ultrasonik cihazın artan yoğunluğu, ultrasonik ege'nin osilasyon genliğinin artmasına yol açarak irrigasyon solüsyonunun ege etrafında ve kanal içinde hızla hareket etmesine neden olmaktadır. Bu teknikte kanal içi irrigasyon solüsyonu iletimi bir enjektör aracılığı ile kanal ağzından sürekli akış yoluyla gerçekleşmektedir (13). EndoActivator sistemi, portatif el aleti ve kök dentinini kesmeyen farklı boyutlarda üç tip tek kullanımlık esnek polimer uçtan oluşan sonik kanal irrigasyon aktivasyon yöntemidir. Tasarımı kanal içi irrigasyon solüsyonunun güvenli olarak aktive edilmesine izin vermektedir ve kuvvetli kanal içi irrigasyon solüsyonu ajitasyonu üretebilmektedir (14). Bir diğer sonik enerjiye bağlı irrigasyon aktivasyon sistemi olan ve piyasaya yeni sürülen EDDY, yaklaşık 6000 Hz hızında air scaler tarafından çalıştırılan bir irrigasyon aktivasyon yöntemidir. EDDY, kök kanal dentininin kesilmesini önleyen, kesmeyen tek kullanımlık poliamid uca sahiptir. EDDY, yüksek frekanslı titreşim sayesinde yüksek genlikli salınım hareketiyle hareketli poliamid uca titreşimi iletir ve oluşan bu üç boyutlu hareket,

irrigasyon solüsyonunda kavitasyon ve akustik akış gibi dezenfeksiyon etkinliğini destekleyici sonuçlar yaratmaktadır (15).

Bu çalışmanın amacı, açık apeksli dişlerde final irrigasyon aktivasyon yöntemi olarak Sİİ, EA, PUI ve EDDY kullanıldığında apikalden ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarının kantitatif olarak değerlendirilmesidir. Çalışmanın sıfır hipotezi; açık apeksli dişlerde apikalden ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı açısından Sİİ, PUI, EA ve EDDY final irrigasyon aktivasyon yöntemleri arasında fark olmayacaktır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Açık Apeksli Dişler

Kök gelişimi diş sürmesinin ardından yaklaşık üç sene sonra tamamlanmaktadır. Kök gelişimi esnasında pulpa ve periapikal doku kaynaklı bir hastalık bulunmadıkça açık apeksin gözlenmesi olağandır. Bununla birlikte kök gelişimi tamamlanmadan pulpa ya da periodontal dokularda bir patolojik değişiklik meydana geldiğinde, dentin oluşumu ve kök büyümesi durmaktadır. Böyle durumlardaki dişlerin tedavisine pulpanın ve kök gelişim derecesinin durumu göz önünde bulundurularak karar verilmektedir. Pulpa vital ise gelişim seviyesine bakılmaksızın vital pulpa tedavileri önerilmektedir (16). Eğer irreversibl pulpitis ya da nekroz var ise kök gelişim durumu tedavi planını belirlemektedir. Öncelikli endodontik tedavi planı apeksi kapamaya yönelik olmalıdır (17).

Açık apeksli dişlerde endodontik açıdan gözlemlenen başlıca klinik zorluklar; apikal çapın çok geniş olması (konverjant, paralel, diverjant), ince dentin duvarlarının olması (tedavi esnasında veya sonrasında kırıklara neden olmaktadır), kök kanal boyunun kısa kalması (kök-kuron boy oranının kaybedilmesine ve bu nedenle kuron fraktürlerine neden olmaktadır), uzun vadede tedavi edilmeyen dişlerde renkleşme ve periapikal patoloji oluşumudur (18).

2.1.1. Açık Apeksli Dişlerin Etiyolojisi

Pulpa dejenerasyonu pek çok nedenle meydana gelebilmektedir. Buna bağlı olarak apikal kapanma tamamlanmadan dişler açık apeksle kaldığında pek çok klinik zorluk gözlemlenmektedir (19).

Açık apeks oluşmasındaki başlıca etyolojik faktörler:

- Travma,
- Çürük,
- Dens invajinatus, dens evajinatus gibi bazı gelişimsel anomaliler
- Ortodontik tedavi, periapikal patolojiler ya da travma kaynaklı oluşan eksternal apikal rezorpsiyon,
- Periradiküler cerrahi işlemler esnasında yapılan kök ucu rezeksiyonu,
- Kök kanal tedavisi sırasında uygulanan aşırı enstrümantasyondur (18,

20).

Periapikal bölgeye gelen herhangi bir hasar ile travmatize olmuş immatür dişlerde, apikal papilla hücreleri, periodontal ligament hücreleri, Hertwig epitel kök kılıfı etkilenebilmektedir. Bu yapıların herhangi bir etyolojik nedenle bütünlüğünün bozulması, kök gelişiminin devam etmesini durdurabilmektedir (21).

Genelde küçük çocuklarda görülen diş travması; erkeklerdeki tüm travmatik yaralanmaların üçte birini, kadınlardaki tüm travmatik yaralanmaların ise dörtte birini oluşturmaktadır (22). Tüm dental travma yaralanmalarının %4-5'ini diş kırığı, %30-44'ünü lüksasyon yaralanmaları oluşturmaktadır (23). Konumları nedeniyle genellikle ön dişler yaralanmaların darbe yükünü taşımaktadır. Yaralanmalar; avülsüyondan intrüzyona, lateral deplasmandan fraktüre ya da sadece sarsıntıya kadar pek çok değişkenlik göstermektedir. Çoğu travma olgusunda yaralanma diş gelişiminin durması ile sonuçlanmaktadır. Kök gelişimi diş ağız boşluğuna sürdükten sonra 2 yıl boyunca devam ettiğinden açık apeks, travma geçmişi olan dişlerde meydana gelen en yaygın durumlardan biridir. Açık apeks ,pulpa nekrozunun apikal periodontitise bağlı ağrıya neden olması ile ya da renklenme şikayetleri ile klinik muayenede fark edilmektedir (24).

Açık apekse sahip dişlerde dentin duvarının ince kalmasının dişleri kırılmaya yatkın hale getirmesi, küt ve geniş apekse sahip olmaları nedeniyle apikal sızdırmazlığın sağlanmasının zorlaşması bu dişlerin kök kanal tedavisi esnasında klinik zorluk oluşturmaktadır (25).

2.1.2. Açık Apeksli Dişlerde Endodontik Tedavi Gereksinimi

Açık apeksli dişlerde erken teşhis ve endodontik tedavi ile prognoz iyi olabilmektedir. Bununla birlikte gecikmiş ya da yanlış bir tedavi dişin kaybına yol açabilmektedir. Bu durum ise mandibular gelişim anomalilerine, çiğneme fonksiyonunda bozukluklara ve hatta konuşma bozuklukları ve estetik sorunlara sebep olabilmektedir. Bu nedenle açık apeksli dişlerin ağızda ve fonksiyonda tutulması için erken diagnoz ve uygun endodontik tedaviyi gerçekleştirmek büyük önem taşımaktadır (26).

Pulpa, irritanlara karşı yanıt oluşturmayı sağlayan immün hücreler dentin dokusunu oluşturmak için özelleşmiş odontoblastlar içermektedir. Bu hücrelerin

varlığı diş dokularının canlılığını korumaya yatkın olmasında önemli rol oynamaktadır. Vital pulpanın olmadığı durumlarda ise diş yapısı enfeksiyona yatkındır ve dentin birikimi sekteye uğramaktadır. Açık apeksli dişlerde kök gelişiminin devam etmesini sağlamak için pulpa canlılığının korunması zorunluluk teşkil etmektedir. Pulpa dokusu, patolojik olarak enfekte olduğunda ve canlılığını kaybettiğinde endodontik tedavi ile uzaklaştırılması gerekmektedir (27).

Açık apeksli dişler için ideal tedavi sonuçları; klinik semptomların son bulması, apikal açıklığın kapanması, kök gelişiminin devam etmesi ve pulpa dokusunun fonksiyonel yeterliliğinin yeniden sağlanmasıdır. Kök gelişiminin devam etmesi ile birlikte kuron-kök oranı dengelendiği için dişte kırık oluşma riski azalmaktadır (28). İnce ve kırılgan dentin duvarları açık apeksli dişlerde bakterilerin mekanik olarak uzaklaştırılmasını zorlaştırdığından bu dişlerin endodontik tedavisi komplikedir. Kanal içi dezenfeksiyon genel olarak irrigasyon solüsyonları ve kanal içi medikamanların kullanımına dayanmaktadır (29).

Modern tedaviler uygulanmadan önce açık apeksli daimi dişler; büyük gutta perkanın ya da özel olarak hazırlanmış gutta perkanın ve kanal patının apeksten biraz daha kısa bir noktaya yerleştirilmesiyle yada periapikal cerrahi ile tedavi edilmekteydi. Fakat bu teknikler apikal bariyerin gerçek anlamda oluşturulmaması sebebiyle popülerliğini kaybetmiştir. Bu nedenle açık apekse sahip daimi dişlerde apikal bariyer oluşturmak amacıyla;

Kalsiyum hidroksit ile apeksifikasyon

Kalsiyum silikat esaslı malzemeler ile apeksifikasyon

Rejeneratif endodontik tedaviler gibi farklı tedavi seçenekleri mevcuttur (30).

2.1.2.1. Kalsiyum Hidroksit ile Gerçekleştirilen Apeksifikasyon

Kalsiyum hidroksit endodontide ilk kez 1930'da Hermann (31) tarafından kuafaj ajanı olarak kullanılmıştır. Bunu takiben CaOH'in bakterisidal etkinliğini, dolayısıyla iyileşmeyi ve sert doku bariyerinin oluşumunu tetiklediğini kanıtlayan pek çok çalışma mevcuttur. Tüm bu etkiler kalsiyum hidroksitin lokalize doku nekrozuna neden olan ve inflamatuvar hücrelerin bölgeye göç etmesine izin veren 12.5 pH değeri ile doğrudan ilişkilendirilmektedir. Enfekte olmuş kök kanal sistemindeki yaygın mikrobiyal floranın %99.9'unun kalsiyum hidroksit ile temas ettiğinde elimine olduğu

bildirilmektedir (32). Ayrıca kalsiyum hidroksitin nekrotik pulpa dokusunu çözme yeteneği bulunmaktadır. Bu sayede preparasyon sırasında minimum invaziv yaklaşım ile minimal preparasyon sağlanmaktadır (33).

Uzun zamandır endodontik tedavide kullanılan kalsiyum hidroksit ile apeksifikasyon tekniğinin açık apeksli dişlerin tedavisindeki etkinliği birçok çalışma ile kanıtlanmıştır. Kalsiyum hidroksit ile apeksifikasyon tekniği %74 ila %100 arasında değişen başarı oranı ile apikal bariyer oluşturmada üzerine en çok çalışılmış ve düşük maliyet imkanı sunan bir tedavi yöntemidir (34). Kalsiyum hidroksit ile yapılan apeksifikasyon tedavisi sadece apikal lezyonun iyileşmesini sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda kalsifiye doku ile apeksin kapanmasını da indüklemektedir. Bazı vakalarda ise dişlerde kök oluşumunun devam etmesini sağlamaktadır. Bu olay sadece yeni hücre popülasyonunun göçü ile değil, rezidüel papilla ve kök kılıf hücrelerinin uyarılması ile olmaktadır (35).

Bununla birlikte kalsiyum hidroksit ile apeksifikasyon tedavisinde pek çok dezavantaj da mevcuttur. 6 ile 24 ay arasında değişen uzun tedavi süresi ile ilgili sorunlar, tedavinin birden fazla seans gerektirmesi nedeniyle hastada yüksek motivasyon gereksinimi, hasta takibinde yaşanan zorluklar, seanslar arası kontaminasyon riski, kökte kırılmaya karşı azalmış direnç ve kalsiyum hidroksitin poröz yapısı bu tedavinin en önemli dezavantajlarını oluşturmaktadır. Kalsiyum hidroksit ile apeksifikasyon tekniğinin en belirgin dezavantajı ise kalsiyum hidroksitin protein denatürasyonuna sebep olarak kök kırılabilirliğini belirgin derecede artırmasıdır. Bu etkinin başarılı bir apeksifikasyon prosedürü uygulansa bile diş kırılmalarına ve dolayısıyla uzun vadede tedavinin başarısız olmasına neden olabileceği bildirilmektedir (36).

2.1.2.2. Kalsiyum Silikat Esaslı Materyaller ile Gerçekleştirilen Apeksifikasyon

İlk olarak Torabinejad and Chivian (37) açık apeksli dişlerin tedavisi için apikal tıkaç olarak mineral trioksit agregatın (MTA) kullanılmasını önermiştir. MTA'nın temel avantajı apikal bariyer oluştururken diş yüzeyinde nemli bir yüzeye temas etse bile sertleşmesi olarak bildirilmektedir (38).

MTA, vital pulpa tedavilerinde yaygın olarak kullanılan, rejeneratif endodontik tedaviler esnasında doku iskelelerini koruyan, nekrotik pulpalı ve açık apeksli dişlerde apikal bariyer olarak kullanılan, perforasyon onarımı, kanal dolgu malzemesi ve periapikal cerrahide kök ucu dolgusu olarak kullanımı ideal olan kalsiyum silikat bazlı bir materyaldir (39).

MTA'nın biyouyumluluk, antimikrobiyal aktivite, bakteri sızıntısını önleme, sitotoksik olmama gibi pek çok olumlu özelliği bulunmaktadır. Düşük basınç dayanımı, kolay çözünmemesi, dentinden daha yüksek radyoopasiteye sahip olması ve pH'nın 12.5 olması MTA'nın başlıca olumlu özelliklerini oluşturmaktadır. MTA karıştırıldıktan sonra elde edilen pH değeri 10.2'dir ve bu değer 3 saat içinde 12.5 pH değerinde stabilize olmaktadır. Kalsiyum hidroksite benzeyen bu yüksek pH değeri antibakteriyel etkiler de sağlamaktadır. Apikal tıkaç olarak kullanılması durumunda bu pH değeri sayesinde çevre dokudan salgılanan alkalen fosfataz enzimi sayesinde sert doku oluşumu indüklenmektedir (40). Ayrıca sert doku oluşumu kemik hücrelerinden sitotoksin salınımının gerçekleşmesi ile de uyarılmaktadır (26). MTA, fosfat çözeltileri gibi biyolojik sıvılar ile temas halindeyken materyal üzerinde apatit kristalleri oluşmaktadır. Oluşan bu apatit kristalleri materyal ve dentin arasında adezyon ve sızdırmazlığın sağlanmasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca MTA içerisinden dentine element geçişi dentinde asitlere karşı kimyasal direnci ve fiziksel dayanımı artırarak remineralizasyonu da indüklemektedir (41).

2.1.2.3. Rejeneratif Endodontik Tedavi

Revaskülarizasyon terimi ilk olarak Iwaya (42) ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır. Daha sonrasında kanal boşluğunda rejenere olan dokuların sadece kan damarları değil aynı zamanda sert ve yumuşak dokuları da içerdiğinin tespit edilmesinin ardından revaskülarizasyon terimi yerine rejenerasyon terminin daha uygun olduğuna karar verilmiştir. 'Rejeneratif Endodonti' terimi Amerikan Endodontistler Birliği tarafından 2007 yılında kabul görmüştür (43). Rejeneratif endodontik tedavi; enfeksiyon, travma veya gelişimsel anomalilerden zarar gören pulpa dokusunu yenilemek için kanal boşluğunda, kök hücreler, biyomimetik iskele ve biyoaktif büyüme faktörleri ile uygulanan doku mühendisliği olarak tanımlanmaktadır. Endodontik literatürde revaskülarizasyon, revitalizasyon ve

rejeneratif endodontik tedavi eş anlamlı olarak kabul görmekte ve birbirinin yerine kullanılabilir (44).

Rejeneratif endodontik tedavi için günümüzde belirlenmiş belirli bir standart olmamakla birlikte birbirine benzer sonuçlar elde edilen pek çok tedavi alternatifi bulunmaktadır. Rejeneratif endodontik tedavi, biyomühendislik ilkelerini temel almakta ve geleneksel apeksifikasyon prosedürlerine çağdaş bir alternatif oluşturmaktadır. Tüm endodontik tedavi prosedürlerinde olduğu gibi açık apeksli dişlerin rejeneratif endodontik tedavisinde de irrigasyon prosedürleri büyük önem taşımaktadır. Nekrotik dokuyu çözmek ve kanal boşluğunu dezenfekte etmek için, kanal boşluğunun düşük konantrasyonlu sodyum hipoklorit (NaOCl) ile irrigasyonu önerilmektedir. Ardından kanal boşluğuna kalsiyum hidroksit veya antibiyotikli pat gibi antimikrobiyal etkinliğe sahip kanal için medikamanlar yerleştirilerek ilk seans tamamlanmaktadır. İlk seansın amacı dentin-pulpa kompleksini dezenfekte etmek ve yeniden enfekte olmasını önlemektir (45). İkinci seansta ise kanal boşluğundaki kanal içi medikaman uzaklaştırılmakta ve kanamayı tetiklemek için apikal foramenin yaklaşık 3 mm ilerisine kadar bir el eğesi ile ilerlenmektedir. Lovelace ve ark. (29) tarafından yapılan gerçek zamanlı ters transkripsiyon polimeraz zincir reaksiyonu ve kanal içi kan örneklerinin histolojik olarak incelenmesi sonucunda; mezenkimal hücrelerin ve mezenkimal hücre markırları olan CD105 ve STRO-1'in kanamanın indüklenmesi ile kök kanal boşluğuna ulaştığı tespit edilmiştir. CD105 ve STRO-1 hem sert hem de bağ dokusu oluşumundan nihai olarak gösterilmektedir (46). Pıhtı oluşumundan sonra, kanalın servikal kısmına kollajen matris yerleştirilmekte, üstü kalsiyum silikat esaslı bir materyal ile kapatılmakta ve rezin esaslı restorasyon yapılmaktadır. Devamındaki 2 sene boyunca kök gelişimini takip etmek için radyografiler alınmaktadır (47).

Olgunlaşmamış dişlerin rejeneratif endodontik tedavisi, daha fazla kök olgunlaşması potansiyeli gösterdiği için 'paradigm shift (paradigma kayması)' olarak tanımlanmaktadır. Klinik olarak rejeneratif endodontik tedavi uygulanan dişlerdeki tedavi protokolü, apikal papilla ve diğer dokularda bulunan kök hücre potansiyeline zarar vermeden kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunu kapsamaktadır. Bu kök hücreler; kan pıhtısı oluşturularak kök kanal boşluğuna yerleştirilmektedir ve ardından mikrosızıntıyı önlemek için kanal içi bariyer yerleştirilmektedir (48).

Rejeneratif endodontik tedavinin biyolojik kavramı; kök hücreleri, yapı iskelesi ve sinyal molekülleri üçlüsünü içermektedir. Şu ana kadar pulpa-dentin kompleksinin gerçek rejenerasyonundan ziyade tamiri elde edilmiştir ve kök olgunlaşmasının devamlılığı dişten dişe değişkenlik göstermektedir. Buna rağmen klinik olarak, pulpa nekrozu olan açık apeksli dişlerin optimal tedavisinde rejeneratif endodontik tedavi standart tedavi yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir (49).

2.2. Endodontik Tedavide İrrigasyonun Önemi

Mikroorganizmalar; katı yüzeylere, likit arayüzlere ya da birbirlerine yapışarak biyofilm içinde büyüme eğilimi göstermektedirler (50). Biyofilmin içindeki mikroorganizmalar ekstrasellüler polimerik madde (EPS) ile kimyasal ve mekanik faktörlere karşı koruma altındadır. Kök kanal duvarı, kök kanal sistemi enfekte olduğunda bakterilerin yapışabileceği ve biyofilmin gelişebileceği bir yüzey oluşturmaktadır (51). Kök kanalı enfekte ise, biyofilm aynı zamanda; lateral kanallar, isthmuslar ve dentin tübülleri gibi diğer morfolojik yapılarda da var olmaktadır. Bu alanlarda bulunan biyofilm tabakasını yok etmek endodontik tedavinin klinik zorlularından biri olarak değerlendirilmektedir. Bu morfolojik yapılara enstürmantasyon ile ulaşamamaktadır (52). İrrigasyon bu yapılardaki ve kök kanalındaki mekanik preparasyonla ulaşamayan bölgelerdeki biyofilmin yok edilmesine yardımcı olmaktadır (51).

Enstürmantasyon işlemi kanal içi dokuları debride ederek mikroorganizmaları ve enfekte dokuyu uzaklaştırmakta, irrigasyon ajanlarının ve kanal içi medikamanların kök kanalına temas edebilmesine izin vermektedir. Enstürmantasyon boyunca irrigasyon yıkama etkisiyle kanal içindeki debrisin kök kanalından uzaklaştırılmasını kolaylaştırmaktadır (53, 54). Bununla birlikte, kök kanalının mekanik enstürmantasyonu smear tabakası olarak bilinen 40 mikrometreye kadar dentin tübüllerine nüfuz edebilen organik ve inorganik maddelerden oluşan düzensiz debris tabakasını oluşturmaktadır. Smear tabakası; dentin kalıntıları, vital pulpa dokusu, odontoblastik uzantılar, nekrotik debrisler, mikroorganizmalar ve bunların metabolik kalıntıları içeren amorf düzensiz bir yapı olarak tanımlanmaktadır. Bakteriler hem smear tabakasında hem de dentin tübüllerinde bulunmaktadır. Smear tabakası bakteriyel biyofilmlere karşı koruma sağlayabilmekte ve irrigasyon ajanları ve kanal içi medikamanların diffüzyonunu azaltmaktadır. Smear tabakasının irrigasyon

ajanalarının dentin tübüllerine erişimini engellediği ve böylece dentin tübüllerinin içindeki bakterileri koruduğu kanıtlanmıştır. Bakteriler bu tabakada canlı kalabilmekte ve çoğalabilmektedir ayrıca dentin tübüllerine penetre olabilmektedir. Smear tabakasının varlığı, mikroorganizmaların tutunması ve çoğalmasına katkı sağlamaktadır (55). Yoshida ve ark. (56) yaptığı klinik bir çalışma smear tabakasının uzaklaştırılmasının, kök kanallarındaki mikroorganizma sayısını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir (57). Kanal obturasyonu sırasında kullanılan kanal patlarının kanal duvarlarına adaptasyonunu azaltmaktadır ve bu da mikrosızıntıya sebep olmaktadır. Doğru irrigasyon ajanlarının kullanımıyla smear tabakasının apikal bölge haricinde kalan alanlarda tamamen uzaklaştırılması beklenmektedir (58). En yaygın irrigasyon tekniği; NaOCl ve etilendiamin tetraasetik asitin (EDTA) kombine kullanılmasıdır.

İrrigasyon işlemi sırasında irrigasyon ajanı ve kanal duvarı arasındaki sürtünme kuvveti ile materyali duvardan ayırabilen kesme kuvveti artmaktadır. Bu mekanik etki, kimyasal etki ile bağlantılı olarak ortaya çıkmaktadır (53). Enstrümantasyon sırasında smear dokusu periapikal bölgeden ekstrüze olabilmektedir. Bu da bakterilerin periapikal dokulara ulaşmasına neden olmaktadır. Doğru irrigasyon prosedürü ile bu durum önlenabilmektedir. Tüm bu nedenlerle irrigasyonun temel işlevi, enstrümantasyon sırasında ve sonrasında organik ve inorganik debrisini çözerek kanaldan uzaklaştırmaktır (58).

Dentin kompozisyonuna ek olarak kanalın farklı anatomisi ve karmaşıklıkları, endodontide etkili bir dezenfeksiyon sağlanmasındaki en önemli zorluklardandır (59). NaOCl gibi antimikrobisidler, biyofilmlerle savaşmak için endodontik tedavide yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak kök kanal sisteminin anatomik karmaşıklıkları ve ulaşılabilen kısımları bu irrigasyon solüsyonlarının endodontik tedavideki etkinliklerini tehlikeye atabilmektedir. Bu nedenle geleneksel kök kanal irrigasyonunun sınırlamalarının önüne geçmek için ve kök kanala sisteminin dezenfeksiyonunu sağlamak için açık apeksli dişlerin endodontik tedavisinde prognozu iyileştirmek amacıyla irrigasyon aktivasyon sistemlerinin kullanılması önerilmektedir (60).

Kök kanallarının irrigasyonu ve enstrümantasyonu sırasında; dentin parçacıkları, mikroorganizmalar, irrigasyon solüsyonları ve pulpa dokusu apikal

forameni aşabilmekte ve periapikal bölgeye ekstrüze olabilmektedir. Apikal dokulara ekstrüze olan debris ve irrigasyon solüsyonu; flare-up ve postoperatif periapikal enflamasyon gibi komplikasyonlara neden olabilmektedir (61). Kök kanalının irrigate edildiği irrigasyon aktivasyon sistemin türü, apikalden ekstrüze olan solüsyon ve debris miktarını etkilemektedir. Geleneksel iğne irrigasyonu, kök kanal irrigasyonu için kullanılan en yaygın yöntem olarak belirtilmektedir. Bu irrigasyon yönteminde iğne ucunun kanal içinde ilerleme miktarı, pozitif basınçtan dolayı solüsyonun penetrasyonunda rol oynayan ana faktördür (62).

Enstürmantasyon tekniklerinin irrigasyon yöntemlerine göre ekstrüzyonu daha az etkilediği bildirilmektedir. Kök kanal tedavisi prosedürleri esnasında oluşan apikal ekstrüzyonun sonucu olarak ortaya çıkan klinik komplikasyonları; postoperatif ağrı, irritasyon, şişlik, doku hasarı ve flare-up oluşturmaktadır. Bu nedenle periapikal dokulara ekstrüzyon riskinin azaltan herhangi bir irrigasyon sistemi hem hastaya hem de hekime kolaylık sağlamaktadır (63).

2.4. Endodontide İrrigasyon Aktivasyon

Kök kanal preparasyonu sistemlerinden herhangi biri, kök kanal sisteminin anatomik karmaşıklığı sebebiyle tam anlamıyla dezenfeksiyon sağlayamamaktadır. İsthmus bölgeleri, daralmalar, anastomozlar ve diğer morfolojik düzensizlikler mikroorganizma ve debris barındırdığından; endodontik ve periradiküler patolojilerin gelişmesine neden olmakta ve iyileşmeyi engellemektedir (64, 65). Metalürji ve kinematik alanlarındaki gelişmelere rağmen hiçbir kök kanal ege sistemi kök kanalının tamamına temas edememekte ve bunun sonucunda periapikal patolojiye neden olabilecek dokunulmamış kök kanal duvarlarının kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kök kanallarının dezenfeksiyonunda mekanik preparasyona ilave olarak irrigasyon solüsyonlarının kullanılması gerekmektedir (66).

İrrigasyon aktivasyon; mekanik veya diğer enerji formlarıyla kök kanal sisteminin karmaşıklıklarına irrigasyon solüsyonlarının ulaşmasını kolaylaştırmak ve iyileştirmek için kullanılan yöntemler olarak tanımlanmaktadır (67). Haapsalo ve ark. (68) göre kök kanalının enstürmantasyonunun ana amaçları; irrigasyonun yüzeysel etkinliğini artırmak, dezenfeksiyon ve obturasyonu sağlamaktır. Bununla birlikte otomatik enstürmanların geliştirilmesiyle birlikte konvansiyonel sistemlere göre preparasyon süresi kısalmıştır ve bu nedenle irrigasyon ajanlarının etkinlik süresi

kısaltılmaktadır. Bu durum irrigasyon ajanlarının etkinliğinin güçlendirilmesi için irrigasyon aktivasyonu mecburi kılmaktadır (69).

2.4.1. İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

Kök kanal sisteminin karmaşıklığına neden olan; aksesuar ve lateral kanallar, apikal deltalar ve kurvatürler gibi kök kanallarının içindeki sayısız anatomik varyasyonlar endodontik tedavinin başarısı üzerinde etkili olmaktadır (70). Geleneksel irrigasyon yöntemleri, en iyi ihtimalle iğne ucunun sadece 1 mm ötesine kadar irrigasyon solüsyonunun iletilmesini sağlamaktadır. Bu durum mikroorganizmaların; kanalların ulaşılması daha zor bölgelerinde (lateral kanallar, aksesuar kanallar, daralmalar, isthmus ve anastomozlar) tedaviden sonra yeniden çoğalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, irrigasyon solüsyonlarının etkinliğini daimi kılmak ve mikroorganizmaları tamamen ortadan kaldırmak için pek çok irrigasyon aktivasyon yöntemi kullanılmaktadır (67).

Kök kanal anatomisinin karmaşıklığının yanı sıra, ana kanalın duvarlarının %35-50'sine mekanik enstürmantasyon ile dokunulmadan kaldığı kanıtlanmıştır, dolayısıyla bu alanlarda mikroorganizmalar varlığını sürdürmektedir (71). Çeşitli mekanik yöntemler geliştirilmiş olmasına rağmen kök kanal sisteminin mekanik olarak dezenfeksiyonu imkansızdır ve kanal içi biyofilmi etkin olarak ortadan kaldırmak için kimyasal irrigasyon gerekmektedir. Kök kanalının mekanik hazırlığı, irrigasyon solüsyonlarının tam çalışma boyuna ulaşmalarını ve penetrasyonunu kolaylaştıracak bir ortam yaratmalıdır. Ayrıca üç boyutlu aktivasyon, mekanik olarak dokunulamayan alanların penetrasyonu ile sonuçlanmalı ancak periapikal ekstürzyondan kaçınılmalıdır (72).

İrrigasyon solüsyonu dağılımını ve aktivasyonunu artırmak için çeşitli irrigasyon teknikleri ve cihazları geliştirilmiştir. Sonik ve ultrasonik yöntemler ve lazer ile aktive edilen irrigasyon yöntemlerinin yanı sıra geleneksel iğne ile şırınga irrigasyonu gibi daha klasik yöntemler de bulunmaktadır (73, 74).

2.4.1.1.Manuel İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

2.4.1.1.1. İğne/Kanül ile Şırınga İrrigasyonu (Geleneksel irrigasyon)

Geleneksel şırınga irrigasyonu endodontide kullanılan yaygın bir yöntemdir. Teknik; irrigasyon solüsyonunun değişik boyutlardaki iğne veya kanüllerle pasif

olarak ya da ileri geri hareketlerle aktive edilerek kanala dağılmasını sağlamaktadır. Bu iğnelerden bazıları irrigasyon solüsyonunu kanalın en apikaline iletecek şekilde açık uçlu olarak tasarlanırken, bazıları ise irrigasyon solüsyonunu lateral olarak dağıtmak için kapalı uçlu ve yandan perfore olarak tasarlanmaktadır. Kapalı uçlu ve yandan perfore olan iğne ucu irrigasyon solüsyonunun hidrodinamik aktivasyonunu etkinleştirmek ve apikal ekstürzyon olasılığını azaltmak için tasarlanmaktadır. İrrigasyon esnasında iğne/kanülün, kanal içinde gevşek kalması önem göstermektedir. Bu, irrigasyon solüsyonunun periapikal dokulara ekstürzyonunu önlerken, irriganın koronal olarak uzaklaşmasına izin vermektedir ve böylece daha fazla debris koronal olarak kanaldan uzaklaşmış olmaktadır. Bir diğer avantajı ise iğnenin kanal içindeki derinliğinin ve iletilen irrigasyon solüsyonu hacminin kontrolünün diğer yöntemlere göre nispeten daha kolay olması olarak belirtilmektedir (75).

Geleneksel şırınga irrigasyonu, kök kanal irrigasyonu için temel tekniktir ve kanala iğne ucunu yerleştirme derinliği, çözelti penetrasyonu için en baskın faktörü oluşturmaktadır (76). Bu irrigasyon yönteminin apikal uçluda pek etkili olmadığı belirtilmektedir. İrrigasyon etkinliğinde; iğnenin çapı, sertliği gibi sınırlamalar bulunmaktadır (77). Hsieh ve ark. (78) çekilmiş dişlerde irrigasyon sırasında sıvı dağılımını kaydetmek için termal görüntüleme analizi kullanmış ve sonuç olarak geleneksel şırınga irrigasyonunda; iğne ucunun daha apikale yerleştirilmesinin ve preparasyon esnasında kanalın daha fazla genişletilmesinin preparasyonu olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Munoz & Camacho - Cuadra'nın (79) yaptığı in vivo çalışmada ise; iğne çalışma boyundan 2 mm kısa yerleştirildiğinde bile irrigasyon solüsyonunun iğne ucundan sadece 0-1,1 mm daha derine gidebildiği göstermektedir.

İrrigasyon solüsyonunun geleneksel şırınga irrigasyonunda nüfuz edememesinin nedeni 'buhar kilidi' fenomeni ile açıklanmaktadır. 'Buhar kilidi' fenomeni; kemikle çevrelenmiş, kapalı uçlu kök kanalının apikal bölgesinde havanın hapsolmesiyle açıklanmaktadır. İrrigasyonun hidrodinamik etkisini iyileştirmek için kullanılan kapalı uçlu yandan perfore iğneler bile kanalın apikal üste birlik kısmındaki debrislerin uzaklaştırmasında etkisiz bulunmaktadır (80).

İğne ucunun ulaştığı bölgenin ötesinde sıvı penetrasyonu sınırlı olduğundan ve kanal uzantıları irrigasyondan sonra genelde debris barındırdığından, iğne ile şırınga irrigasyonu yöntemi, kanal sisteminin karmaşık üç boyutlu mikro yapısı içinde

irrigasyon solüsyonlarının yeterli bir biçimde iletilmesinde başarısız olmaktadır (81). Geleneksel iğne irrigasyonu sırasında sıvı akış hızını standardize etmek bu yöntemin zorlukları arasında bulunmaktadır (75).

2.4.1.1.2. Fırçalar

İrrigasyon solüsyonlarının aktivasyonunda fırçalar kanallara doğrudan irrigasyon solüsyonunu iletmek için kullanılmamaktadır. Fırçalar kanal duvarlarının debridmanı ve irrigasyon solüsyonunun aktivasyonu için tasarlanmış yardımcı ürünler olarak nitelendirilmektedir (75). En bilinen iki türü NaviTip FX (Ultradent Products Inc., Güney Ürdün, UT) ve Endobrush (C&S Microinstruments Ltd., Markham, Ontario, Kanada)'tır.

Endobrush (C&S Microinstruments Ltd., Markham, Ontario, Kanada); endodontik boyutlardaki spiral şeklinde bükülmüş bir tel çevresine yerleştirilmiş naylon kıllardan oluşmaktadır ve kök kanalındaki debris temizlemek için tasarlanmıştır. Fırça esnek olduğundan ve kıllar kanal içi düzensizliklere uzanıp debris çıkarabildiğinden, debrisin uzaklaştırılmasına yardımcı olmaktadır (82).

NaviTip FX (Ultradent Products Aş., Güney Ürdün, UT) ise 30 G'luk bir iğne ucunun fırçayla kaplanmasıyla oluşturulmaktadır (75). Yapılan çalışmalar fırçalı NaviTip iğnesinin, fırçasız göre koronal üçte birlik bölümün debristen temizlenmesinde daha etkili olduğunu göstermektedir. Apikal ve orta üçte birlik alan için anlamlı bir fark bulunamamıştır (83).

2.4.1.1.3. Manuel Dinamik Aktivasyon

Manuel dinamik aktivasyon, kök kanal duvarlarının tamamını temizlemek için uygun maliyetli bir tekniktir (84). Manuel dinamik aktivasyon Gu ve ark. (73) tarafından 2009 yılında ortaya atılmıştır. Bu yöntem gutta perka gibi inert bir materyalin kanal içinde solüsyon varken apikale doğru aşağı-yukarı hareket ettirilmesiyle uygulanan bir tekniktir. Kanala yerleştirilen irrigasyon solüsyonu, gutta perkanın kanal içinde en az dakikada 100 itme/çekme hareketi yapacak şekilde hareket ettirilmesiyle aktive edilmektedir (85).

Manuel dinamik aktivasyon ile irrigasyon solüsyonunun kök kanal duvarları ile daha iyi teması sağlanmaktadır ve böylece uzaklaşan debris miktarı artmaktadır (86). Bu yöntem, kanalın apikal bölgesinde oluşan buhar kilidi etkisini yok ederek;

irrigasyon solüsyonunun debridmanı uzaklaştırma etkisini, dezenfeksiyon ve antimikrobiyal etkinliğini artırmaktadır. Şekillendirilmiş kanallarda, kanala iyi uyumlu ana konun hareketinin hidrodinamik etki sağlayabileceği ve irrigasyon solüsyonunun yer değişimini kayda değer biçimde artırdığı gösterilmiştir (67, 87).

Manuel dinamik aktivasyon; ulaşılabilir ve az maliyetli bir yöntem olması nedeniyle desteklenen bir irrigasyon aktivasyon yöntemi olsa da el gücü ile uygulanmasından kaynaklı zorluklar bulunmaktadır, bu da klinikte rutin olarak uygulanmasını engellemektedir. Bu nedenle irrigasyon solüsyonunun aktivasyonu için tasarlanmış otomatik cihazlar günümüzde daha çok tercih edilmektedir (88).

2.4.1.2. Mekanik Aktivasyon Teknikleri

2.4.1.2.1. Döner Alet ile Kullanılan Fırçalar

Bu türde Ruddle Brush ve CanalBrush adı verilen iki tip fırça bulunmaktadır. Preparasyonu tamamlanmış kanallarda debris ve smear tabakasının uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak için Ruddle (89) tarafından anguldurva ile uygulanan mikro fırça kullanılmıştır. Fırça shaft ve konikleşerek daralan fırça bölümlerinden oluşmaktadır. Merkezi tel kordan radyal olarak uzanan çok sayıda kıla sahiptir. Debridmanın uzaklaştırılması sırasında; mikro fırça yaklaşık 300 Rpm’de dönerek fırçanın kanal içindeki düzensizliklere ulaşmasına ve debrisin koronal yönde uzaklaştırılmasına yardımcı olmaktadır. Bu ürün patentinin 2001 yılında onaylanmasından bu yana ticari olarak piyasada bulunmamaktadır (73).

CanalBrush (Coltene Whaledent, Langenau, Almanya) ticari olarak satışa sunulan endodontik mikrofırçadır. Oldukça esnek olan bu mikrofırça, tamamen polipropilenle kaplanmıştır. Manuel olarak rotasyon hareketiyle kullanılabilmeyle birlikte, 600 Rpm’de çalışan anguldurvaya takılıp uygulandığında daha etkili olmaktadır. Weise ve ark. (90) CanalBrush’ın irrigasyon solüsyonu ile birlikte kullanıldığında; simüle edilmiş kanal uzantıları ve düzensizliklerinde debris dokusunun etkili bir şekilde uzaklaştırıldığını göstermiştir (73, 88).

2.4.1.2.2. Egeleme ile Birlikte Yapılan İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

2.4.1.2.2.1. Quantec-E İrrigasyon Sistemi

Quantec-E (SybronEndo, Orange, CA) irrigasyon pompası; döner aletlerle yapılan enstürmantasyon sırasında endodontik motora adapte edilebilen bir irrigasyon

sistemidir. Bu sistem eğeleme işlemi esnasında irrigasyonun devam etmesini sağlamaktadır. Quantec-E irrigasyon sistemi Quantec-E Endo Sistemine bağlı bağımsız bir sıvı dağıtım ünitesidir. Döner aletlere yapılan enstürmantasyon sırasında sürekli irrigasyonu sağlamak için; bir pompa konsolu, iki irrigasyon rezarvuarı ve tüp bulundurmaktadır (91).

Döner aletlerle enstürmantasyon sırasında devamlı irrigasyon kanal içine iletilen irrigasyon solüsyonu miktarının artmasını sağlamaktadır. Bu da irrigasyon solüsyonunun kontak süresini artırmakta ve kanala penetrasyonu kolaylaştırmaktadır. Bu cihaz kanalın apikal 5mm'sinde şırınga ve iğne ile yapılan irrigasyona göre daha fazla hacimde ve debide irrigasyon solüsyonu değişimine izin vermektedir. Bu nedenler bu irrigasyon aktivasyon yönteminin geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha etkili debridman uzaklaştırdığını düşündürse de yapılan çalışmalar aksini bildirmektedir.

Setlock ve ark. (91) geleneksel iğne irrigasyonu ile karşılaştırıldığında, Quantec-e irrigasyon sisteminin kanal duvarlarının apikal üçte birlik kısmında daha etkili bir şekilde debris ve smear tabakası uzaklaştırarak daha temiz kanal duvarlarının elde edilmesini sağladığını bildirmiştir. Ancak bu pozitif etki orta ve koronal bölgede gözlemlenememiştir. Bu sonuçlar aynı zamanda Quantec-E ve standart iğne irrigasyonu arasında fark bulunmayan çalışmasıyla Walters ve ark. (92) tarafından da doğrulanmıştır (73, 91).

2.4.1.2.2.2. SAF (Self Adjusting File) Sistemi

Self adjusting file (SAF) sistemi (ReDent-Nova, Ra'anana, İsrail), daha iyi dezenfeksiyon ve preparasyon elde etmek ve geleneksel NiTi döner eğelerin doğasında var olan sorunların üstesinden gelmek için oluşturulmuş bir sistemdir. SAF sisteminde, kanal boşluğunu hazırlamak için kanala uyum sağlayan tek bir alet devamlı irrigasyonla kullanılmaktadır. Kanal morfolojisi ile uyumlu olarak kanalın her yerinden eşit miktarda dentin kaldırarak minimum invaziv yöntemle minimum dentin kaldırarak kanalın temizlenmesini sağlamaktadır (93).

SAF sistemi, minimal invaziv endodontik tedavi için tasarlanmış preparasyon ve irrigasyon sistemidir. Sistem özel RDT başlık ile çalıştırılan kendi kendini ayarlayabilen bir eğeden ve içi boş eğe boyunca irrigasyon solüsyonunun akışını

sağlayan irrigasyon pompasından (VATEA pompası) oluşmaktadır. Eğe kafes duvarlı silindir olarak tasarlandığı için eğe içinde herhangi bir basınç oluşmamaktadır. İrrigasyon solüsyonunu borudan iletmek için pompanın ürettiği en ufak basınç, irrigasyon solüsyonu eğenin içine girdiği an ortadan kaldırılmaktadır (94, 95).

SAF katı metal şafta sahip olmayan ilk eğe sistemidir. Eğe, duvarları pürüzlü dış yüzeye sahip ince nikel titanyum kafesten yapılmış içi boş boru olarak tasarlanmıştır. Eğe, geleneksel nikel titanyum eğelerde merkezde bulunan ucun aksine, tüpün duvarında asimetrik olarak konumlanmış uca sahiptir. SAF sistemi son derece elastiktir ve sıkıştırılabilir. 1.5 mm çapına sahip SAF, ancak önceden #20 K boyutundaki el eğesinin yerleştirildiği kök kanalına sıkışmaktadır. Bu sıkıştırılabilirlik eğenin kanalın enine kesitinde de uyum sağlamasına olanak tanımaktadır. 0,2 mm meziodistal çapa sahip oval kanala yerleştirildiğinde, 1,5 mm boyutundaki SAF meziodistal olarak sıkıştırılarak bukkolingual yönde 2,4 mm'ye kadar yayılma imkanı bulmaktadır. Bu durum kanalın oval olduğu fark edilmese bile sağlanmaktadır (95).

RDT başlığı iki farklı mekanik işleve sahiptir. Birincisi mikromotorun dönüşünü 0,4 mm genliğe sahip yukarı aşağı titreşime dönüştürmektir. İkincisi ise eğe kanal duvarlarına sıkışmadığında yavaş bir şekilde dönmesine izin verip, kanal duvarlarına sıkıştığında ise tamamen durmasını sağlamaktır. Mikromotor dakikada 5000 titreşim sağlayan 500 Rpm'de çalıştırılmalıdır ve operatör mikromotoru gagalama hareketleri ile kullanılmalıdır (95).

2.4.1.2.2.3. XP-Endo Finisher

XP-Endo Finisher (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre), özel olarak tescillenmiş nikel titanyum alaşımından (MaxWire; FKG Dentaire) yapılmış ve kanal enstürmantasyonu tamamlandıktan sonra kök kanalının temizliğini ve dezenfeksiyonunu artırmak için son adımda kullanılmak üzere tasarlanmış bir eğe sistemidir (96). #25 boyutunda ucu olan açısız özel olarak tasarlanmış nikel titanyum içeren eğeden oluşmaktadır. Eğenin şekli bulunduğu ortamın sıcaklığına göre değişmektedir. Oda sıcaklığında martensitik fazda (M-fazı) düz olarak bulunmaktadır. Vücut sıcaklığına geçtiğinde ise östenitik faza (A-fazı) geçmektedir. Bu fazda uzunluğunun apikal 10 mm'sinde 1,5 mm derinliğinde kaşık şeklini almaktadır. Üreticiye göre, alet rotasyon modunda kanala yerleştirildiğinde, A fazında aldığı şekil, eğenin dentine zarar vermeden ve orijinal kanal şeklini değiştirmeden diğer eğelerin

erişemeyeceği yerlere erişmesine ve bu bölgelerin dezenfeksiyonunu sağlanmasına izin vermektedir (97). Eğenin ucu sıkıştığında apikalde oluşan bombe 6 mm'ye kadar genişleyebilmektedir. Bu nedenle, XP-Endo Finisher eğesi kanal içinde 7 ila 8 mm yukarı aşağı yönde hareket ettirildiğinde, kanal içinde anatomik olarak bulunan daralmalar ve genişlemeler eğenin ucunun genişlemesini ve büzülmesine neden olmaktadır. Bu durum kanal içinde bulunan irrigasyon solüsyonunun türbülansına neden olmaktadır ve solüsyonun etkinliğini artırmaktadır (98, 99).

Bortoluzzi ve ark. (100) XP-Endo Finisher eğesinin kök kanal duvarlarında bulunan *E.faecalis*'i ortadan kaldırmada etkili olduğunu bildirmiştir. Adham Azim ve ark. (101) ise XP-Endo Finisher eğesi kanalın koronal, orta ve apikal üçlülerinde dentin tübüllerinde 50 µm'lik derinlikte %98 oranında bakterilerin eliminasyonunu sağladığını bildirmiştir (102).

2.4.1.2.2.4. Xp-Endo Finisher R (XPFR)

XP-Endo Finisher R (FKG, La Chaux-de-Fonds, İsviçre), kök kanal tedavisi sırasında kanalın temizliğini optimize etmek amacı ile retreatment vakaları için geliştirilmiş ve XP-Endo Finisher ile karşılaştırıldığında daha büyük apikal boyuta sahip bir eğe sistemidir. Bu değişikliklerin amacı, geleneksel tekniklerden sonra kalan kök kanal dolgu malzemelerini uzaklaştırmadaki etkinliğini artırmaktır. #30 boyutunda uca sahiptir ve taperi bulunmamaktadır (97, 103).

Eğе kanala yerleştirildiğinde ve vücut sıcaklığına maruz bırakıldığında, martensitik ve östenitik değişimler meydana gelmektedir ve eğe apikalindeki 10 mm'lik segmentte orak şeklini almaktadır. Eğenin genişlemesi sayesinde geleneksel döner eğelerin ulaşamadığı alanlara ulaşabilme özelliği göstermektedir. Yapılan çalışmalar XP-Endo Finisher R'ın (FKG) tamamlayıcı kullanımının, farklı sistemlerle retreatment işlemi uygulanmış oval ve kavisli kanallı dişlerde, kalan kanal dolgu malzemesini uzaklaştırmada etkin olduğunu göstermektedir (104).

2.4.1.2.3. Negatif Basınç Prensibiyle Çalışan İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

2.4.1.2.3.1. RinsEndo Sistemi

Negatif basınç altında çalışan irrigasyon aktivasyon sistemlerinden biri olan RinsEndo (RinsEndo; Du'rr Dental, Bietigheim, Almanya), hidrodinamik basınç

altında, irrigasyon ve emmenin kombine olarak kullanıldığı otomatik bir sistemdir. Bu yöntemde irrigasyon solüsyonu (6,2 ml/dk) yaklaşık 1 Hz'lik salınımla titreşime maruz bırakılmaktadır (105, 106).

Hauser ve ark. (107) ayırıcı solüsyon kullanarak RinsEndo sisteminin kök kanal temizliğindeki etkinliğini geleneksel yöntemlerle karşılaştırdığında, RinsEndo sisteminin dentin tübüllerine penetrasyonundaki etkinliğinin daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. McGill ve ark. (108) ise renklendirilmiş kollajen kullanılarak üç farklı irrigasyon aktivasyon protokolü ex vivo olarak karşılaştırılmıştır. RinsEndo sisteminin statik irrigasyondan önemli ölçüde daha etkin olduğu bulunmuştur ancak manuel dinamik aktivasyondan daha etkin olduğu sonucuna varılamamıştır. Bununla birlikte kanül çalışma uzunluğuna daha yakın yerleştirildikçe etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir (109, 110).

2.4.1.2.3.2. EndoVac Sistemi

EndoVac sistemi (Discus Dental, Culver City, CA, ABD), irrigasyon solüsyonunu kök kanalının apikal bölgesine ve kök kanal düzensizliklerine güvenli şekilde iletmek için 2007 yılında tasarlanmış ve piyasaya sürülmüştür. Sistem, irrigasyon solüsyonunu ileten şırınga ve yüksek emiş güçlü dental koltuğa bağlı makrokanül ve mikrokanülden oluşmaktadır. Makrokanülün #55 boyutunda açık ucu ve 0,2 taper açısı bulunmaktadır. Mikrokanül ise paslanmaz çelikten yapılmıştır, 0,32 mm çapı bulunmaktadır; yanal olarak yerleştirilmiş, her sırada 3 delik olacak şekilde 4 sıra halinde konumlandırılmış 12 adet tahliye deliğine sahiptir. Bu kanüller kanala yerleştirildiğinde, negatif basınç ile pulpa odasındaki kontamine irrigasyon solüsyonu çekilerek, temiz irrigasyon solüsyonunun kanala ulaşmasını sağlamaktadır. Mikrokanül ISO #35 boyutunda ya da daha fazla genişletilmiş kanallarda çalışma boyunda kullanılabilir (10, 111, 112).

Nielsen ve ark. (111), çalışma boyuna yerleştirilen EndoVac kanlünün, apikal 1mm'lik bölgede geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha iyi debris uzaklaştırdığını bildirmiştir. Bu durum irrigasyon solüsyonunun mikrokanül seviyesine kadar ilerlediğini göstermektedir. Desai ve ark'ın (113) mevcut irrigasyon sistemlerinin güvenliğini karşılaştırmak için yaptığı bir çalışmada ise EndoVac numunelerinin hiçbirine apikal ekstürzyon meydana gelmediğini rapor etmiştir (114).

2.4.1.2.4. Sonik ve Ultrasonik Sistemler

Endodontik tedavide sonik ve ultrasonik sistemler üzerine yapılan ilk çalışmalar, eğinin salınım eylemini üretmek için manyeto-striksiyon fenomeni (mekanik enerjiye dönüştürülen elektromanyetik enerji) prensibiyle çalışan ultrasonik bir cihazın doğrudan uyarlanmasıyla başlamaktadır. İki gruptaki cihazlar da cihazlar 16-20 kHz aralığında kullanılmaktadır (115).

Sonik ve ultrasonik irrigasyon aktivasyon sistemleri, kök kanal irrigasyonunun kimyasal ve mekanik verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Her iki yöntemde de akustik mikro akış ve hidrodinamik kavitasyon (buhar kabarcıklarının oluşumu ve patlaması) çalışma mekanizması olarak belirtilmektedir.ref

Sonik irrigasyon aktivasyon sistemleri için Jiang ve ark. (116), sonik olarak salınan aletin hızının çok düşük olmasından dolayı kök kanalı içinde kavitasyon meydana gelmesi ihtimalinin olmadığını savunmaktadır. Ahmad ve ark. (117) ise ultrasonik irrigasyon aktivasyon yöntemleri için de kavitasyonun meydana gelme olasılığının bulunmadığını savunmaktadır. Alan kısıtlaması nedeniyle, endodontik aletin salınım genliği kavitasyon oluşturmaya yetecek kadar yüksek olmamaktadır (118).

Literatürde iki çeşit ultrasonik irrigasyon sistemi bulunmaktadır. Birincisi, ultrasonik irrigasyon ve enstürmantasyonun eş zamanlı olarak kombine uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir. İkinci tip ise eş zamanlı olarak enstürmantasyon olmadan çalışmaktadır ve pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) olarak bilinmektedir. Birinci yöntemde dentin kesimini kontrol etmenin zorluğu ve kullanımının ardından hazırlanan kanal şeklinin anormal konformasyonlar göstermesi olasılığı nedeniyle klinik kullanımı bulunmamaktadır. Bu nedenle geleneksel manuel enstürmantasyona alternatif olarak kabul edilmemektedir (119).

PUI ilk olarak Weller ve ark. (12) tarafından 1980 yılında tanıtılmıştır. ‘Pasif’ terimi aslında aktif olan bu süreci tam olarak tanımlamamakla birlikte kullanılan aletin kesmeyen özellikte olması bu şekilde isimlendirilmesine neden olmaktadır. PUI, akustik enerjinin, salınımlı eğe ya da düz tel ile kök kanalındaki irrigasyon solüsyonuna aktarılması esasına dayanmaktadır. Enerji ultrasonik dalgalar aracılığıyla iletilmektedir ve irrigasyon solüsyonunun akışını ve kavitasyonu tetikleyebilmektedir

(120). PUI irrigasyon aktivasyon yöntemleri içinde altın standart olarak kabul edilmektedir (121). İrrigasyon solüsyonunun aktivasyonu sırasında en yaygın kullanılan araçlardan biri olan PUI, hidrodinamik aktivasyonu tetikleyerek mikro akustik akış oluşturmakta ve buna ek olarak dentin duvarlarına yakın konumda patlayan kabarcıklar üreterek dezenfeksiyona katkı sağlayan kavitasyon etkisini artırmaktadır. Bu nedenle küçük çaplı eğeler kanal duvarlarına temas etmeyecek şekilde kanal içinde apikal bölgeye yakın olarak konumlandırılmaktadır (69).

Kullanılan tekniğe bakılmaksızın kök kanalı ana apikal eğeye kadar şekillendirildikten sonra, kök kanlının içine apikal bölgeye kadar uzanan düz tel veya bir eğe yerleştirilir. Kök kanalı irrigasyon solüsyonu ile doldurulur ve ultrasonik salınım yapan eğe ile irrigasyon solüsyonu aktifleştirir. Kök kanalı şekillendirilmiş olduğundan, eğe serbestçe hareket edebilmektedir ve irrigasyon solüsyonu apikal bölgeye daha rahat ulaşabilmektedir. Bu durumda irrigasyon solüsyonunun dezenfeksiyon etkisi daha güçlü olmaktadır. ref

Bu kesici olmayan metodoloji kullanılarak kanal içinde istenmeyen deformasyonlar oluşturulması minimuma indirilmektedir. #15 veya #20 boyutundan büyük kanal eğesi yalnızca çok geniş kanallarda salınım hareketi yapmaktadır. #25 boyutunda bir eğe aslında #15 veya #20 boyutundaki bir eğeye göre çok daha az akustik akış üretmektedir. Bu nedenle #20 boyutundan büyük eğelerin kullanılması PUI'nin prensipleri arasında kabul edilmemektedir (120).

Endodontik amaçlı kullanılan sonik aletler ilk olarak Tronstad ve ark. (122) tarafından tanıtılmıştır. Sonik irrigasyon, ultrasonik irrigasyona göre daha düşük frekansta çalışmaktadır (1-6 kHz) ve daha düşük kesme gerilimi üretmektedir (92).

EndoAktivatör (Advanced Endodontics, Santa Barbara CA; EA) kök kanallarının irrigasyonu için sonik enerji kullanmaktadır. Bu sistemin iki bileşeni bulunmaktadır. Bir başlık ve aktivatör uçlarından (Sarı 15/02, Kırmızı 25/04, Mavi 35/04) oluşmaktadır. Pille çalışan el aleti olan EA, irrigasyon solüsyonunu 2000-10000 siklus/dakika olacak şekilde etkinleştirmektedir. Üretici firma kanalın irrigasyon işlemleri tamamlandıktan sonra bu cihazın kullanılmasını önermektedir. Kanala ve hazneye irrigasyon solüsyonu yerleştirildikten sonra 30-60 saniye boyunca

10000 siklus/dakika olacak şekilde etkinleştirilmektedir. Sonik irrigasyonun kanalın dezenfeksiyonunda etkili ve yeterli olduğu bildirilmektedir (113).

Diğer bir sonik irrigasyon aktivasyon cihazı ise). 25.04 boyutunda esnek poliamiddan yapılmış bir uç olan EDDY'dir (VDW, Münih, Almanya). EDDY ucu sonik enerjili irrigasyon aktivasyon cihazıdır. Üreticiye göre, karmaşık kök kanal sistemlerini ultrasonik aktivasyon cihazlarının kısıtlamaları olmaksızın verimli bir şekilde temizlemesine izin vermektedir. EDDY hava destekli bir el aleti (Air Scaler) tarafından 5000-6000 Hz'de etkinleştirilmektedir. Üretici tarafından aletin kavitasyonu ve akustik akışı tetikleyen üç boyutlu hareket yaptığı belirtilmektedir. Bu zamana kadar sadece PUI'de bulunduğu belirtilen bu iki etkiye ek olarak gelişmiş temizleme etkinliği olduğu belirtilmektedir. EDDY kesmeyen, steril ve tek kullanımlık bir alettir (121, 123).

Yapılan bir çalışmada elektron mikroskobu analizinde düz kök kanallarında smear ve debris uzaklaştırılmasında PUI ile karşılaştırıldığında EDDY üstün bulunmuştur (123). 6000 Hz frekanslı sonik aktivasyonun kavisli ve düz kök kanallarındaki mikroorganizmaların miktarının azaltılmasında PUI'ye üstünlüğü yapılan başka bir çalışma ile kanıtlanmıştır (124). EDDY organik doku çözme kapasitesinin PUI'den daha etkin olduğu gösterilmiştir (121, 125).

2.4.1.2.5. Lazer Destekli İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

Lazerin geliştirilmesinden sonra (uyarılmış radyasyon emisyonu ile ışık amplifikasyonu), lazer 1965 yılında Stern (126) tarafından diş hekimliğine tanıtılmıştır (127).

Lazer destekli irrigasyon, kök kanalında irrigasyon solüsyonlarının etkinliğini artırmak amacıyla alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Lazer destekli irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin mekanizması; fiber ucundaki buhar kabarcıklarının genişlemesi ve patlaması ile irrigasyon solüsyonunun kanal içinde hareket etmesine dayanmaktadır. Bununla birlikte basınç dalgaları ve ikincil kavitasyon kabarcıkları temizleme işlemine katkıda bulunmaktadır (128).

Farklı protokollerde, dalga boylarında ve fiber uçlarla uygulanabilen farklı lazer destekli irrigasyon aktivasyon yöntemleri bulunmaktadır. Diyot (808 nm) ve Nd:YAG (1064 nm) lazerleri su tarafından daha az emilen dalga boylarına sahiptir. Su

tarafından daha yüksek oranda emilen Er: YAG lazerlerin geleneksel yaklaşımında ise, fiber uç tamamen kök kanalının içine yerleştirilmekte ve irrigasyon sırasında sabit tutularak ya da yukarı aşağı hareket ettirilerek kullanılmaktadır. Kullanılan darbe enerjisi 70-200 mJ aralığındadır ve darbe süresi 100-200 μ s arasındadır. Yeni Er: YAG yaklaşımında ise, fiber uç, pulpa odasında ya da kanal girişinin hemen üzerinde konumlandırılarak düşük darbe enerjisi (10-20 mJ) ve kısa darbe uzunluğu (50 μ s) ile kullanılmaktadır. Bu durum daha yüksek pik gücünün elde edilmesini sağlamaktadır (129).

Lazer ve doku arasındaki biyofiziksel etkileşim, temelde emilen ışığın fotodermal ve fotomekanik etkilerine bağlı olmaktadır. Fotokimyasal etki, lazer ışığının ışığa duyarlı hale getirici maddeler tarafından emilmesinden sonra oluşan kimyasal bir reaksiyonun sonucudur. Fototermal etki, lazer enerjisi hedef dokuya zarar verebilecek ısıya dönüştüğünde ortaya çıkmaktadır. Termal genleşme son derece hızlı olabilmekte ve akustik dalgalarla dokunun mekanik tahribatına neden olabilmektedir. Kök kanalında lazer enerjisi dentinin hidroksiapatit, fosfat ve karbon gibi mineral içeriği yüksek yapıları tarafından emildiğinde, kristal yapı bozulabilmekte ve dentin üzerinde yıkıcı değişiklikler gözlemlenebilmektedir (130, 131).

2.4.1.2.5.1. Foton Kaynaklı Fotoakustik Akım (PIPS)

Foton kaynaklı fotoakustik akış (PIPS), ilk olarak Enrico DiVito tarafından 2006 yılında tanımlanan bir kısaltmadır ve foton kaynaklı fotoakustik akış anlamına gelmektedir. PIPS hem uç tasarımlarını hem de uygulama protokollerini kapsayan ticari bir terimdir (132).

Er: YAG lazer ile subablativ enerji (20 mJ, 15 Hz) ve ultra kısa darbeler (50 μ s) kullanılarak tasarlanan irrigasyon aktivasyon tekniği kullanılmaktadır. Bu durum fotoakustik ve fotomekanik etkilerin sonucu olarak kanal içinde kavitasyona ve şok dalgalarına yol açmaktadır. Bu fenomen foton kaynaklı fotoakustik akış olarak adlandırılmaktadır (133).

PIPS teknolojisi, akışkan içindeki kabarcıkların çökmesinden kaynaklanan güçlü şok dalgaları olarak tanımlanan kabarcık kavitasyon mekanizmasına dayanmaktadır ve bu şok dalgalarının smear tabakasını, onu çevreleyen duvarlardan kaldıracaklarını varsaymaktadır. Şok dalgalarını oluşturmak ve kavitasyon elde

etmek için sıvıya bir miktar enerji uygulanmak zorundadır. Bu tekniği uygulamak için kanal içerisi irrigasyon solüsyonu ile doldurulduktan sonra cihazın özel olarak tasarlanmış radyal ucu kanal ağzına yerleştirilmektedir. Ardından Er: YAG lazer enerjisi baloncuklar oluşturarak solüsyonu harekete geçirmektedir. Bu, sıvı boyunca güçlü ve hızlı bir şekilde iletilen şok dalgaları yaratmaktadır ve bunun sonucunda kanal duvarlarındaki smear tabakası ortadan kaldırılmaktadır (134).

PIPS ışık fotonlarının çok düşük enerji seviyelerinde ve kısa mikrosaniye sürelerinde yayıldığı, lazerle etkinleştirilen gelişmiş irrigasyon aktivasyon protokolüdür. Lazerle aktive edilen diğer irrigasyon aktivasyon prosedürlerinden farklı olarak PIPS, üretilen şok dalgasının sıvılarda subablatif seviyelerde, fotoakustik ve fotomekanik olaylar yoluyla lateral dağılımına izin veren ince ve konik uç kullanmaktadır. Bu ise termal etkinin oluşma ihtimalini ortadan kaldırmaktadır. PIPS'in lazerle aktive edilen diğer irrigasyon aktivasyon tekniklerinden temel farklılıkları; subablatif ve minimal ablatif enerji kullanması, çok kısa darbe süresinde iletildiğinden kolayca pik gücüne ulaşması, ucun kanala değil pulpa odasına yerleştirilmesinin yeterli olması, minimal kök kanalı ve apikal preparasyonun yeterli olmasıdır (132).

2.4.1.2.5.2. Şok Dalgası ile Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akım (SWEEPS)

Kök kanalı irrigasyonu için Er: YAG lazerle uygulanan yöntemlerdeki son teknik şok dalgası ile geliştirilmiş emisyon fotoakustik akımdır (Fotona,SWEEPS). Er: YAG lazerin fiber ucu kullanılarak pulpa odasından hazırlanan rezervuar alanına yerleştirilmesi ile kullanılmaktadır. Bu yöntemin PIPS'in etkinliğini artırdığı bildirilmektedir. Bu yöntem tek süper kısa darbe modlu lazer vuruşunun (süre:50 saniye) optimum zaman gecikmesi ile ayrılmış iki ultra kısa darbe modlu lazer vuruşuna (süre:25 saniye) dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. İlk mikro atış hava kabarcığını oluşturmaktadır, ikinci mikro atış ise (birincil- baloncuğun kendiliğinden çöküşünden hemen önce meydana gelmektedir) basıncı artırmaktadır ve böylece birincil baloncuğun çöküşünü hızlandırmaktadır. Bu yöntemi geleneksel süper kısa darbe moduna kıyasla daha güçlü şok dalgası emisyonu oluşturmakta ve temizleme etkinliğinin güçlenmesi ile sonuçlanmaktadır (135-137).

SWEEPS modelinde dar kanallarda; büyük rezervuar alanlarının aksine sesten hızlı hareket eden şok dalgalarına rastlanmamaktadır. Bunun nedeni ise dar kanallarda kavitasyon dinamiklerinin yavaşlaması ve buna bağlı olarak büyüyüp küçülen baloncukların alanının daralmasına bağlanmaktadır. Bu nedenle pulpa odası bölgesine bir rezervuar alan oluşturulması gerekmektedir(138).

Buhar kabarcığının salınım süresi, giriş kavitesinin geometrisi ve lazer darbesini içeren kök kanalının anatomisi gibi birçok parametreye bağlı olduğundan SWEEPS darbe çiftinin optimum zaman gecikmesi kullanım esnasında tam olarak belirlenememektedir. Bu sınırlamanın üstesinden gelmek için optimum aralığı olan 300-600 μ s'yi otomatik olarak ayarlayan AutoSWEEPS modu geliştirilmiştir. Bu modda, darbeler arasındaki zaman gecikmesi bu aralık boyunca tekrarlanarak, her bir döngüde optimum süre elde edilerek maksimum irrigasyon etkinliği sağlanmaktadır (135).

Bu çift lazer atış darbesi, SWEEPS ve PIPS arasındaki en önemli farkı oluşturmaktadır. PIPS moduna göre daha güçlü şok dalgaları ve gelişmiş fotoakustik akım oluşturduğundan, irrigasyon solüsyonunun kanalın daha derin ve ulaşılmaz kısımlarına ulaşmasını sağlayarak daha iyi irrigasyon etkinliği sağlamaktadır (136).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Etik Kurul Onayı ve Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması

Bu çalışma tasarımı Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 10.11.2020 tarihli, 2020/259 nolu karar ile onaylandı.

Benzer metodolojik tasarıma sahip bir çalışma referans alınarak örneklem büyüklüğü hesaplandı (G * Power 3.1 Yazılımı, Heinrich Heine Üniversitesi, Düsseldorf, Almanya) (139). Çalışmaya ait her grup için 15 dişin istatistiksel açıdan yeterli ve gerekli olduğu tespit edildi. Bu nedenle mevcut çalışmaya toplam 60 adet diş dahil edildi.

3.2. Örnek Seçimi ve Hazırlanması

Mevcut çalışmaya protetik ve periodontal nedenlerle çekilmiş 60 adet tek kök ve tek kanala sahip üst keser ve alt premolar dişler dahil edildi. Çalışmaya dahil edilme kriterleri;

- Tek kök ve tek kanala sahip dişler,
- Schneider tekniğine göre 10 dereceden küçük kök eğimine sahip dişler,
- Kök yüzeyinde çatlak, kırık, abrazyon kavimleri bulunmayan dişler,
- Kök kanallarında kalsifikasyon içermeyen dişler,
- Kökte ve kronunda gözle görülür çürük ve restorasyon bulundurmeyen dişler,
- Önceden kök kanal tedavisi uygulanmamış dişler,
- #15 nolu K-tipi eğenin apikale kadar ulaşılabilirdiği dişler,
- Kök oluşumunun tamamlandığı dişler,
- İnternal ve eksternal rezorpsiyonun bulunmadığı dişler.

Dahil etme kriterlerine uygun olarak belirlenen dişlerin tek kök/kanal olduğu ve internal/eksternal rezorpsiyon içermediği bukkolingual ve meziodistal açılardan alınan periapikal radyografilerle doğrulandı. Stereomikroskop (Expert DN; Müller Optronic, Erfurt, Almanya) altında X12 büyütme kullanılarak kök yüzeyinde herhangi bir çatlak, defekt, eksternal rezorpsiyon olmadığı doğrulandı.

Dahil etme kriterlerinden herhangi birine sahip olamayan dişler yenileri ile değiştirildi. Dahil edilme kriterlerine uygun olarak seçilen dişler önce organik doku

artıklarının çözünmesi için iki gün boyunca %5.25'lik NaOCl (Cermaked) içerisinde bekletildi ve ardından üzerindeki yumuşak ve sert doku artıkları periodontal küretler ve kavatron ile uzaklaştırıldı. Deney düzeneğinde kullanılabilecek kadar %0,1'lik timol solüsyonu içinde saklandı.

3.3.Açık Apeksin Simüle Edilmesi ve Kök Kanallarının Preparasyonu

Tüm dişlerin giriş kavimleri elmas frezler ve yüksek hızlı bir döner alet kullanılarak hazırlandı. Giriş kavitesi preparasyonundan sonra tüm dişlerin apikal açıklığı #15 K-tipi el eğesi (Perfect, Shenzen, Çin) ile kontrol edildi.

Belirlenen çalışma boylarında ProTaper Next (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) döner eğe sisteminin X1 (17.04), X2 (25.06), X3 (30.07) eğeleri kullanarak kök kanalları prepare edildi. Kök kanal preparasyonunda tork kontrollü bir endodontik motor (VDW.GOLD; VDW, Münih, Almanya) kullanıldı. Tüm eğeler üretici firma tarafından belirtilen uygun tork ve Rpm değerleri temel alınarak kullanıldı.



Şekil 3.1 Kök kanal preparasyonu için kullanılan ProTaper Next (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) döner eğe sistemi; X1 (17.04), X2 (25.06), X3 (30.07)

Kron ve kök boylarını standardize etmek için, mine sement sınırından 5 mm korondan ve mine sement sınırından 11 mm apikalden bütün dişler işaretlendi. İşaretlenen referans noktalardan elmas diskler (Bredent, Senden, Almanya) ile diş

dokuları uzaklaştırılarak 5 ± 1 mm kuron ve 11 ± 1 mm kök boyları olacak şekilde tüm dişlerde standardizasyon sağlandı.



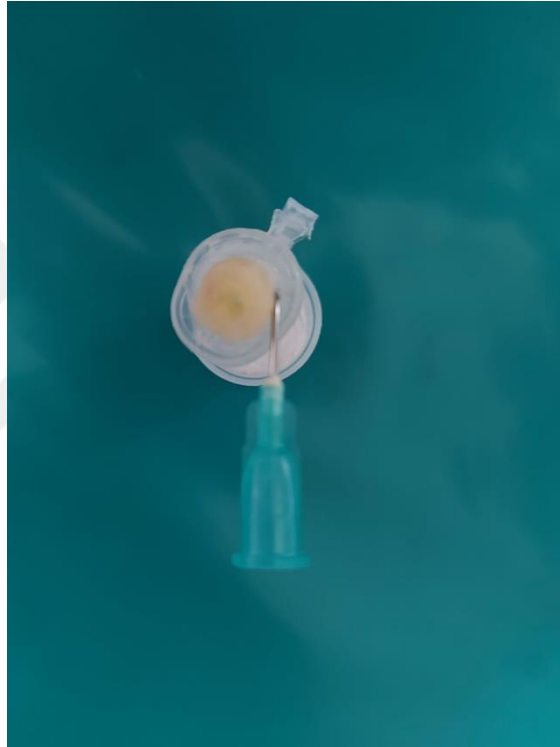
Şekil 3.2 Örneklerin kök kanal uzunluğunun standardizasyonu

Açık apeksin simüle edilmesi için Zhabuawala ve ark. (140) belirlediği yöntem referans alınarak apikal açıklık 1.5 mm olacak şekilde tasarlandı. #15 K-file el eğeleri (Perfect, Shenzhen, Çin) ile apikal açıklık tekrar kontrol edildi. Açık apekse sahip dişlerin simülasyonu için #1'den #6'ya kadar olan Peeso Reamer (Kavo Ind. Com. Ltda., Joinville, SC, Brezilya) uçları kullanıldı. #6 numaralı Peeso Reamer ucu apikale rahatça ulaşana kadar preparasyon yapıldı. Kök kanalları %2.5'lik NaOCl (Cerkamed), %17'lik EDTA (Werax, İzmir, Türkiye) ve distile su ile irrigate edildi.

3.4. Deney Düzenekinin Hazırlanması

Benzer metodolojik tasarıma sahip çalışma temel alınarak hazırlanan deneysel model (141) irrigasyon solüsyonunu ekstrüzyonunu değerlendirmek için kullanıldı.

Kapaklar Eppendorf tüplerden (Lp Italiana Spa, Milano İtalya) ayrıldı. Eppendorf tüplerin kapaklarında delikler açıldı ve her bir örnek kapağa manuel basınçla sabitlendi. Kapağa drenaj kanülü olarak 27 G (Cermaked) iğne; iğne ucu kök hizasında olacak şekilde yerleştirildi. İğne ucu kanal ağzlarının bulunduğu hizadan büküldü. Kapak ile drenaj kanülü ve diş arasındaki boşluktan irrigasyon solüsyonunun çıkmasını önlemek için her bir diş örneği ve drenaj kanülü kapağa siyanoakrilat ile sabitlendi. Eppendorf tüpler tamamen NaOCl (Cermaked) ile dolduruldu. Diş örneği ve iğnenin sabitlendiği her bir kapak Eppendorf tüplere tutturuldu.



Şekil 3.3 Deney düzeneği



Şekil 3.4 Deney düzeneği

3.5. Final İrrigasyon Aktivasyon Prosedürleri

Preparasyon işleminin ardından örnekler irrigrasyon aktivasyon prosedürüne göre rastgele 4 alt gruba ayrıldı (n=15); Standart İğne İrrigasyonu (Sİİ), EDDY (VDW, Munich, Germany), Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUI) (Irrisafe; Satelec, Bordeaux, France), EndoAktivatör (Dentsply, Tulsa, OK).

Standart İğne İrrigasyonu (Sİİ): 30 G çapına sahip yandan perfore bir iğne ucu (Cermaked) çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde kanal içine yerleştirildi. 5 mm genlikte ileri geri hareketlerle kullanıldı. 1 ml %3'lük NaOCl (Cermaked) 30 saniye boyunca uygulandı. Bu döngü altı kez tekrar edildi.



Şekil 5 Sİİ grubunda final irrigasyon aktivasyon uygulaması

EDDY: Sonicmax sonik cihazına (Maximum Dental Inc., Secaucus,NJ, ABD) adapte edilen EDDY (VDW, Münih, Almanya) ucu aktivasyon döngüsünde kullanılarak final irrigasyon prosedürü gerçekleştirildi. 1ml %3'lük NaOCl kök kanalına 30G'luk yandan perfore bir iğne (Cermaked) ile uygulandı. EDDY ucu çalışma uzunluğundan 1mm kısa olacak şekilde kanala yerleştirildi ve 6000 Hz frekansta 5mm genlikte aşağı yukarı hareket ettirilerek 30 saniye boyunca uygulandı. Bu döngü altı kez tekrar edildi.



Şekil 3.6 Sonicmax (Maximum Dental) cihaza adapte edilen EDDY (VDW) ile final irrigasyon aktivasyon prosedürünün uygulanması



Şekil 3.7 Sonicmax (Maximum Dental) cihazı



Şekil 3.8 EDDY (VDW) ucu

Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUI): #25 numara Irrisafe (Acteon, Marignac, Fransa) ultrasonik uç ve Satelec P5 Newtron X5 ultrasonik cihaz (Satelec Acteon, Merignac, Fransa) kullanılarak final irrigasyon aktivasyon prosedürü gerçekleştirildi.

30 G uç çapına sahip yandan delikli iğne (Cermaked) kullanılarak kök kanalına 1 ml %3'lük NaOCl (Cermaked) uygulandı. Satelec P5 Newtron X5 ultrasonik cihazı (Acteon) 5 güç ayarına getirildi. Irrisafe (Acteon) ultrasonik uç çalışma boyunda 1 mm kısa olacak şekilde kanal içine yerleştirildi. İrrigasyon aktivasyon işlemi 30 saniye boyunca uygulandı. Bu döngü altı kez tekrar edildi.



Şekil 3.9 Satelec P5 Newtron X5 (Acteon) ultrasonik cihaza takılarak kullanılan #25 numara Irrisafe (Acteon) ultrasonik endodontik uç ile final irrigasyon aktivasyon uygulaması

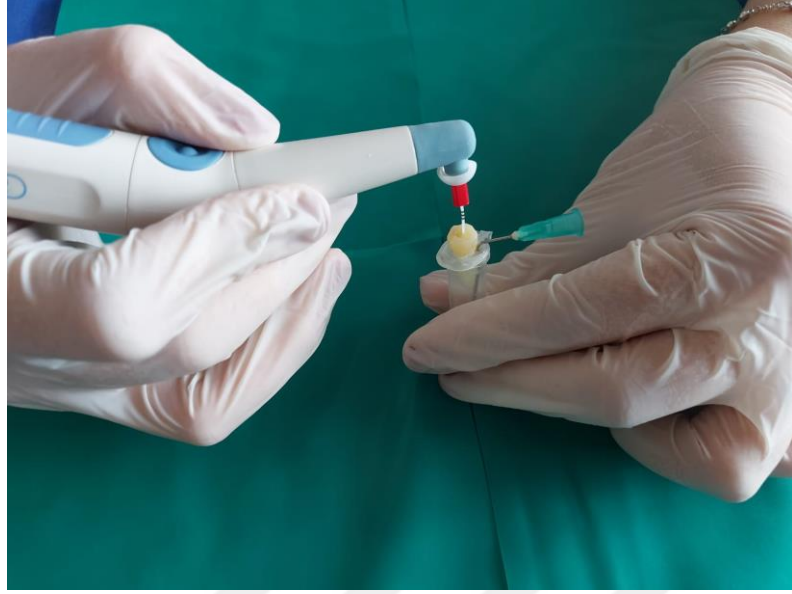


Şekil 3.10 Satelec P5 Newtron X5 (Acteon) ultrasonik cihazı

Şekil 3.10. Satelec P5 Newtron X5 (Acteon) ultrasonik cihazı

EndoAktivatör (EA): 1 ml %3'lük NaOCl (Cermaked) kök kanalına 30G'luk yandan perfore bir iğne (Cermaked, Stalowa Wola, Polonya) ile uygulandı. Aktivasyon prosedürü EA sonik irrigasyon cihazı (Dentsply, Tulsa, OK) kullanılarak gerçekleştirildi. Sonik uç çalışma boyundan 2 mm kısa olacak şekilde kanal içine yerleştirildi. EA'ün kırmızı ucu (25, %0,4) dakikada 10000 siklus olacak şekilde 30 saniye boyunca uygulandı. Bu döngü altı kez tekrar edildi.

Tüm gruplarda toplam 6 ml %3 'lük NaOCl (Cermaked) 3 dakika boyunca final irrigasyon aktivasyon prosedüründe uygulandı.



Şekil 3.11 EndoActivator (Densply) sonik aktivasyon cihazına adapte edilen 25, %0.4 boyutundaki uç ile final irrigasyon aktivasyon uygulaması



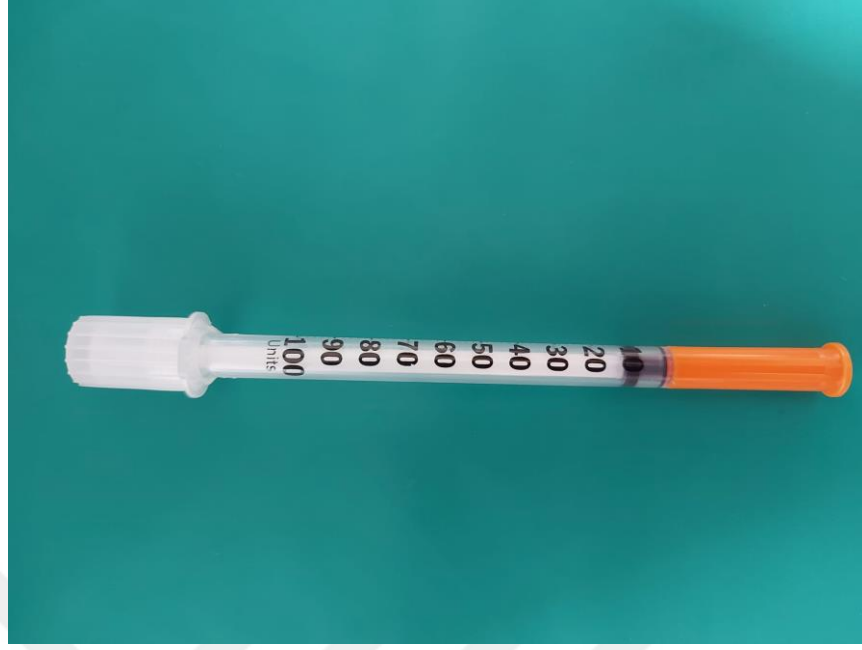
Şekil 3.12 EndoActivator (Densply) sonik irrigasyon aktivasyon cihazının 25, %0.4 boyutundaki ucu



Şekil 3.13 EndoActivtor (Densply) sonik irrigasyon aktivasyon cihazı

3.6. Apikalden Taşan Solüsyon Miktarının Kantitatif Olarak Değerlendirilmesi

İrrigasyon aktivasyon prosedürleri tamamlandıktan sonra ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu tek kullanımlık plastik insülin enjektörünün kendi iğnesiyle drenaj kanülünden toplandı. Toplanan irrigasyon solüsyonunun hacmi, her örnek için enjektörde 0,01 ml’lik artış miktarı kullanılarak belirlendi.



Şekil 3.14 Ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarının %0.01’lik artış miktarı ile ölçüldüğü insülin enjektörü

3.7. İstatistiksel Analiz

Elde edilen verilerin istatistiksel analizi, IBM Statistics sürüm 22.0 (IBM SPSS Statistics, AŞ, Armonk, NY) ile gerçekleştirildi. Verilerin normalliğini değerlendirmek için Kollmogorov-Smirnov testi kullanıldı ve verilerin normal dağılım göstermediği saptandığı için apikalden ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı verileri Kruskal-Wallis ve Mann Whitney-U testleri kullanılarak istatistiksel olarak $P<0.05$ anlamlılık düzeyinde analiz edildi.

4. BULGULAR

Her grup için apikalden ekstrüze olan irrigantın miktarının ortalama hacmi ve standart sapması Tablo 1’de listelenmiştir. En yüksek ortalama irrigant ekstrüzyonu SNİ ve PUI grupları ile ilişkilendirilirken, EA grubunda ise diğer gruplara göre daha az irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu gözlemlendi. Ancak test edilen tüm irrigasyon aktivasyon sistemleri arasında apikalden ekstrüze olan ortalama irrigant miktarının hacmi arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı ($P<0,05$).

Tablo 1 Her grup için apikalden ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarının ortalama volüm (ml) ve standart sapması (SS)

Grup	n	Ortalama Volüm (ml)	SS
SNİ	15	0,412 ^a	0,293
EDDY	15	0,3,67 ^a	0,213
PUI	15	0,420 ^a	0,207
EA	15	0,332 ^a	0,168

Aynı küçük harfli üst simgeye sahip değerler istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığını belirtmektedir ($P>0,05$).

5. TARTIŞMA

Endodontik tedavide açık apeksli dişlerin tedavi yönetimi bu dişlerin apikal bariyere sahip olmaması, zayıf ve kırılğan olması nedeniyle zordur (8, 142). Etiyolojiden bağımsız olarak, açık apeks, ince ve kırılğan dentin duvarlarına sahip immatür dişler geleneksel kök kanal tedavisi yöntemlerinin kullanımını engellemektedir. Bu tür dişlerin endodontik tedavisinde dezenfeksiyon, minimal kanal enstürmantasyonu ile kanal içi irrigasyon yöntemlerine dayanmaktadır (6). Bu nedenle açık apekse sahip dişlerin endodontik tedavisinin başarısında etkin bir irrigasyon aktivasyon ve kemomekanik debridman büyük öneme sahiptir (143). Ancak irrigasyon aktivasyon esnasında apikal foramenden az miktardaki solüsyonun bile ekstrüzyonu, şiddetli ağrıyı, yanma hissini ve peripikal doku hasarını tetiklemektedir. Bu nedenle irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu minimize etmek önemlidir (144). Mevcut çalışmada bu bilgiler ışığında simüle açık apeksli dişlerde farklı irrigasyon aktivasyon tekniklerinin apikalden ekstrüze olan solüsyon miktarına etkisi araştırıldı.

Literatürde okul çağındaki çocukların %25'inin diş travmasına maruz kaldığı ve okul çağındaki çocukların %25-65'inin tedavi edilmemiş diş çürüklerine sahip olduğu belirtilmektedir (145). Welbury ve ark. (146), genç daimi dişlerde travmatik yaralanmalardan %30 oranında etkilendiğini ve kazaların çoğunun kök gelişimi henüz tamamlanmamış açık apeksli dişlerde meydana geldiğini bildirmiştir. Shah ve ark (24), ise bu travmatik yaralanmaların büyük bir kısmının anterior dişlerde meydana geldiğini bildirmiştir. Bu nedenle mevcut çalışmada klinik durumu daha iyi yansıtabilmek ve dişlerin kök kanal konfigürasyonundaki standardizasyonu daha iyi sağlayabilmek adına tek kök ve tek kanal sahip anterior dişler kullanıldı.

İn vitro ortam şartlarında gerçekleşen çalışmalarda deney düzeneklerinin metodolojik standartizasyonu önemlidir (147). Mevcut çalışmada açık apeksli dişlerin simüle edilebilmesi için benzer kuron-kök boyuna ve benzer anatomiye sahip anterior dişler seçildi. Dişlerin kök-kuron standartizasyonunun sağlanabilmesi için tüm örneklerin kuron ve apikalinden eşit mikarda diş dokusu uzaklaştırılarak benzer boyuta sahip dişler elde edildi. Tüm örneklerde aynı irrigasyon solüsyonu aynı hacimde kullanıldı ve eşit sürelerde aktivasyon işlemi gerçekleştirildi.

Literatürde açık apekse sahip dişlerde ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarını belirleyebilmek için apikal çapın standardize edilmesinin çalışmanın standardizasyonu açısından önemli olduğu bildirilmiştir (148). Literatürde in vitro ortam şartlarında gerçekleştirilen irrigasyonun ekstrüzyonunu değerlendiren çalışmalarda deney düzeneklerinde açık apeksli dişlerin simülasyonunda farklı apikal çapların kullanıldığı tespit edilmiştir (8, 149)(8, 149)(8, 149) Velmurugan ve ark. (8), simüle açık apeksli dişlerde farklı irrigasyon solüsyonlarının ekstrüzyon miktarını araştırdıkları çalışmada apikal açıklığı 1.3 mm olarak belirlemiştir. Bununla birlikte Aksel ve ark. (150) apikal açıklığı 1.10 ve 1.70 mm olmak üzere iki farklı apikal çapa sahip dişlerde apikalden ekstrüze olan solüsyon miktarını araştırmıştır. Dos Reis ve ark. (139) ise apikal ekstrüzyonu değerlendirmek için açık apeksi simülasyonunda apikal çapın 1.00 mm olmasını yeterli olduğunu belirtmiştir. Topçuoğlu ve ark. (151), Zhabuawala ve ark. (152), Sarıılmaz ve ark. (153) ise açık apeksin simülasyonunda apikal çapın 1.5 mm olmasının uygun ve yeterli olacağını bildirmiştir. Mevcut çalışmada açık apeksin simüle edilmesinde Topçuoğlu ve ark. (151), Zhabuawala ve ark. (152) ve Sarıılmaz ve ark. (153) ile uyumlu olarak çalışmaya dahil edilen tüm dişlerin apikal açıklığı 1.5 mm’de standardize edildi.

Tarafımızca yapılan kapsamlı literatür taramasında in vitro ortam şartlarında gerçekleştirilen ve apikalden ekstrüze olan solüsyon miktarını araştıran çalışmalarda farklı deney düzeneklerinin kullanıldığı tespit edildi. Altundaşar ve ark. (144) apikalden ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu ve debris miktarını birlikte ölçmek için, hazırlanmış diş örneklerini çiçek köpüğüne gömmüş ve ardından ilk ve son ağırlık arasındaki farkı ölçmüştür. Bu yöntemde irrigasyon solüsyonu ve debris miktarının ayrı ayrı ölçülememesi ve periapikal dokuların yarattığı direncin taklit edilememesi gibi dezavantajların bulunduğu bildirilmiştir (144). Psimma ve ark. (154) ise ekstrüze olan irrigasyon solüsyonunun miktarını tespit etmede periodontal dokuların basıncını taklit etmek için distile su ile doldurulmuş deney düzeneği kullanmışlardır. Ayrıca bu çalışmada NaOCl ile irrigasyon aktivasyon prosedürleri gerçekleştirilerek, NaOCl’nin yarattığı elektrolit konsantrasyon farkından yararlanılarak ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı ölçülmüştür. Rodriguez ve ark. (155) ise ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarını düz ve kurvatürlü kanallarda irrigasyon solüsyonu olarak NaOCl’nin içine m-kreosol moru ilave ederek spektrofotometre ile incelemiştir. Dos Reis ve ark. (139) açık apeksli dişlerde ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarını

Eppendorf tüpün içini agar agar ile doldurarak ve örnekleri agar agarın içine gömerek incelemiştir. Dişlerin apikal bölgesinde ekstrüze olan irrigasyon solüsyonunun birikebilmesi için boşluklar hazırlamıştır ve ekstrüze olan irrigasyon solüsyonunu mikro bilgisayarlı tomografi ile incelemiştir. Bu deney düzeğinde agar agarın ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarını sınırladığı belirtildiği için mevcut çalışmada bu dezavantaj göz önünde bulundurularak bu düzenek tercih edilmemiştir (139). Vidas ve ark. (72) ise ekstrüze olan irrigasyon solüsyonuna yer çekiminin etkisini yok etmek için düzeneği yer düzlemine paralel olacak şekilde hazırlamıştır. Örnek dişlerin apikaline bağlanan bir boru yardımıyla ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu bir deney tüpü içinde biriktirilmiş ardından hassas terazi ile ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı ölçülmüştür. Bu çalışmada Toyoğlu ve ark. (156) ile benzer düzenek kullanıldı. Mevcut düzende yer çekiminin etkisi incelenmedi. Periapikal dokuları taklit etmesi ve ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarını sınırlaması adına açık hava basıncından faydalanıldı. Ekstrüze olan debris miktarının irrigasyon solüsyonuna karışmaması için, ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu açık hava basıncından faydalanılarak drenaj kanülünden toplandı. Drenaj kanülünden toplanan solüsyon direkt olarak ml cinsinden kaydedildi. Ayrıca kliniği simüle etmek amacıyla endodontide en yaygın kullanılan solüsyon olan NaOCl kullanılarak tüm irrigasyon prosedürleri gerçekleştirildi.

Yapılan kapsamlı literatür taramasında Sİİ, PUI, EDDY ve EA final irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin açık apeksli dişlerde ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarına etkisini karşılaştıran herhangi bir çalışma bulunamadı. Bu nedenle mevcut çalışmada elde edilen bulgular önceki çalışmalarla direkt olarak karşılaştırılamayacağından açık apeksli olmayan fakat farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin apikalden ekstrüze olan solüsyon miktarına etkisinin karşılaştırıldığı çalışmalar da kıyaslamaya dahil edildi.

Rodriguez ve ark. (155) kapalı apeksli ve apikal rezorpsiyonu olan, kurvatürlü ve düz kanallı dişlerde farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerini kullanarak ekstrüze olan irrigasyon solüsyonlarını incelediğinde; kapalı apeksli dişlerin bazılarında hiç irrigasyon ekstrüzyonu gözlemlenmezken, apikal ekstrüzyonu olan dişlerin hepsinde irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu gözlemlendiğini bildirmiştir. Velmurugan ve ark. (8) da açık apeksli dişlerde farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleri kullanıldığında tüm

gruplarda irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu gözlemlendiğini bildirmiştir. Bu çalışmayla uyumlu olarak mevcut çalışmada da farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin tümünde irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu gözlemlenmiştir. Çalışmadaki dişlerin açık apeksli olmasından dolayı apikal bariyerin olmaması ve periodontal dokuları simüle eden distile suyun yeterli direnç göstermemesi nedeniyle tüm gruplarda irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu gözlemlendiği düşünülmektedir.

Mevcut çalışmanın sonucunda test edilen irrigasyon aktivasyon prosedürleri arasında apikalden taşan irrigasyon solüsyonu miktarı açısından fark olmadığı için çalışmanın sıfır hipotezi kabul edildi.

Bu çalışmada Sİİ ve PUİ grupları arasında ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı arasında anlamlı fark gözlemlenmedi. Mevcut çalışma ile uyumlu olarak Rodriguez ve ark. (155) düz ve kurvatürlü kök kanalına sahip, kapalı apeks ve apikal rezorpsiyona sahip dişleri Eppendorf tüplerin kapağına sabitleyerek spektrofotometrik analizle ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarını tayin ettiğinde Sİİ ve PUİ grupları arasında ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarında anlamlı fark olmadığını bildirdi. Çalışmaya apikal rezorpsiyonu olan dişler de dahil edildiğinden açık apeksli dişlerle benzer sonuçlar elde edilmiş olabileceği düşünülmektedir. Sharma ve ark. (6) açık apeksli anterior dişlerde Sİİ ve PUİ irrigasyon aktivasyon yöntemlerini karşılaştırdığında ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarında anlamlı fark bildirmemiştir. Apikal çap mevcut çalışmadan farklı olarak 1.3 mm olarak belirlense de sonuçlar mevcut çalışma ile benzerlik göstermektedir. Uzunoğlu ve ark. (157) yerçekimi ve dental ünite hastanın bulunduğu kafa pozisyonuna göre yaptığı karşılaştırmada Sİİ ve PUİ grupları arasında anlamlı fark bildirmemiştir. Bunun aksine Karataş ve ark. (158) ekstrüze olan solüsyon miktarını kapalı apeksli dişlerde Myers-Montgomery deney düzeneği ile incelediğinde PUİ'nin Sİİ'ye göre daha fazla ekstrüzyon miktarına sebep olduğunu bildirmiştir. Çalışmada apikal dokuları taklit etmek için çiçek köpüğü kullanılmasından dolayı ekstrüze olan solüsyon miktarının bir kısmının çiçek köpüğü tarafından emilmiş olabileceği bildirilmiştir (158). Benzer olarak Kıvanç ve ark. (159) spektrofotometrik analizle ekstrüze olan irrigasyon solüsyonunu belirlediği deney düzeneğinde PUİ grubu Sİİ grubuna göre daha fazla irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonuna neden olmuştur.

Mevcut çalışmada Sİİ ve EA final irrigasyon aktivasyon grupları arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark gözlemlenmedi. Bu çalışmanın sonuçları ile uyumlu olarak Azim ve ark. (160) spektrofotometrik analiz kullanarak Sİİ ve EA'yı karşılaştırdığında, irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu açısından istatistiksel olarak anlamlı fark bildirmemiştir. Bu deney düzeneğinde apikal dokuları taklit etmek amacıyla silikon kullanılmıştır ve ardından özel boyama yöntemleriyle ekstrüze olan NaOCl miktarı spektrofotometrik analizle incelenmiştir. Sarıılmaz ve ark. (161) ile Yost ve ark. (162) benzer şekilde apikal dokuları taklit etmesi için agar agar kullanmış ve ilk ağırlık ile son ağırlık arasındaki farklı tespit ederek ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarını belirledikleri çalışmanın sonucunda Sİİ ve EA arasında anlamlı fark olmadığını rapor etmiştir. Mevcut çalışma ile benzer sonuçlar elde edilen bu deney düzeneklerinde; periapikal dokuların taklit edilmesi, irrigasyon solüsyonu olarak NaOCl kullanılması benzer sonuçlar elde edilmesinde etkili olmuş olabilir. Bunun aksine Rungcharoenporn ve ark. (163) apikal çapı 50 ve 80 olan dişlerde ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarını incelediğinde Sİİ'nin EA'ya göre daha fazla ekstrüzyona neden olduğunu bildirmiştir. Ancak apikal çapı 35 olan dişlerde EA ve Sİİ grupları arasında ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı arasında anlamlı fark gözlemlenmemiştir. Mevcut çalışmadan farklı sonuçlar elde edilmesinin nedenleri dişlerin apikalinde 0.5 ml'lik boşluk bırakılarak polistren jel için gömülmesi ve Sİİ grubunda irrigasyon solüsyonunun negatif basınç ile geri çekilmesi gibi metodolojik farklılıklara bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada apikalden ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı açısından Sİİ ve EDDY final irrigasyon aktivasyon yöntemleri karşılaştırıldığında iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlemlenmedi. Literatürde bu iki grubu karşılaştıran tek çalışmanın mevcut olduğu tespit edildi. Akçay ve ark. (164) kapalı apeksli dişlerde Myers-Montgomery (165) deney düzeneğini kullanarak ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarını incelemiştir. Mevcut çalışma ile uyumlu olarak Sİİ ve EDDY grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlemlenmemiştir.

PUİ ve EA final irrigasyon yöntemleri karşılaştırıldığında mevcut çalışmada ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarında anlamlı fark görülmedi. Rodriguez ve ark. (155) düz ve kurvatürlü kök kanallarında PUİ ve EA final irrigasyon aktivasyon yöntemlerini karşılaştırdığında örneklerin çoğunda irrigasyon solüsyonunun ekstrüze

olmadığını bildirmiştir. İrrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu gösteren dişlerin apikal rezorpsiyon gösterdiğini ve açık apeksli olduğunu bildirmiştir. PUI ve EA grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlemlenmemiştir. Açık apeksli dişlerde ekstrüzyon gözlemlenmesi ve miktar açısından fark gözlemlenmemesi mevcut çalışma ile uyumludur. Boutsoukis ve ark. (166) distile su ile dolu bir tüpün içine dişleri sabitleyip NaOCl'nin suda yarattığı konsantrasyon miktarı farkını tayin eden bir düzenek kurarak gerçek zamanlı olarak ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarını incelemiştir. Benzer şekilde PUI ve EA grupları arasında ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarında fark bildirilmemiştir. Sarıılmaz ve ark (161) ise kapalı apeksli dişleri agar agar içine gömerek incelediğinde benzer şekilde PUI ve EA grupları arasında anlamlı fark gözlemlenmediğini rapor etmiştir.

Bu çalışmada PUI ve EDDY final irrigasyon aktivasyon yöntemleri karşılaştırıldığında, ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarında anlamlı fark gözlemlenmedi. Gupta ve ark. (167) mevcut çalışma ile uyumlu olarak iki grup arasında anlamlı fark bildirmemiştir. Bu benzer sonuçlar çalışmada kullanılan deney düzeneğinin mevcut çalışma ile benzerlik göstermesinden kaynaklı olabilir. Akçay ve ark. (164) Myers-Montgomery düzeneği kullanarak ekstrüze olan irrigasyon miktarını karşılaştırdığında PUI ve EDDY arasında anlamlı fark bildirmemiştir. Mevcut çalışmadaki deney düzeneği Myers-Montgomery yönteminden modifiye edilerek hazırlandığından benzer sonuçlar elde edilmiş olabilir. Bunun aksine Dos Reis ve ark. (139) ise EDDY'nin PUI'ye göre anlamlı derecede daha fazla irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonuna neden olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada mevcut çalışmadan farklı olarak kapalı apeksli dişler kullanılmıştır ve farklı solüsyon miktarları farklı sürelerde aktive edilmiştir. Deney düzeneğinde dişler agar agar ile doldurulmuş Eppendorf tüplere gömülmüş ve ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu boyanarak spektrofotometrik analizle mikroBT' de incelenmiştir. Bu metodolojik farklılıklar aksi yönde sonuçlar elde edilmesinde etkili olmuş olabilir.

Literatürde yapılan kapsamlı taramalar sonucunda kapalı apeksli dişler dahil olmak üzere EA ve EDDY final irrigasyon aktivasyon yöntemlerinde irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu miktarını karşılaştıran bir çalışma bulunamadı. Bu nedenle mevcut çalışmanın sonucu literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılamadı. EA ve

EDDY'nin benzer etkinlik göstermesinin nedeni ikisinin de sonik aktivasyona dayanan irrigasyon aktivasyon sistemleri olmasından kaynaklı olabilir.

Mevcut çalışmada gruplar arasında ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı arasında anlamlı fark gözlemlenmemesinin nedeni dişlerin Amerikan Endodontistler Birliği tarafından zor tedavi sınıflamasına dahil edilen 1.5 mm apikal çapa sahip dişlerin kullanılması nedeniyle apikal daralmanın gösterdiği direnci göstermemesi olabilir. Açık apeksli dişlerde farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleri arasında ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarında anlamlı fark olmaması nedeniyle hangi final irrigasyon aktivasyon yönteminin seçileceğine karar verirken; dezenfeksiyon etkinliği, smear tabakasını kaldırmadaki etkinliği ve postoperatif ağrı miktarı gibi diğer faktörlerin göz önünde bulundurulması gerektiğini düşünmekteyiz.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut çalışmanın sınırlamaları dahilinde açık apeksli dişlerde test edilen final irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin tamamı belirli miktarda apikal ekstrüzyona neden olmuştur. Bununla birlikte test edilen final irrigasyon aktivasyon yöntemleri arasında anlamlı fark gözlemlenmemiştir.

Mevcut çalışmada test edilen final irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin apikalden ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarına etkisi açık apeksli tek ve düz kök kanal anatomisine sahip dişlerde araştırıldı. Farklı kanal anatomisine sahip dişlerde bu irrigasyon aktivasyon yöntemleri test edildiğinde ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı farklılık gösterebilir. Ayrıca mevcut çalışmada yer çekiminin ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarına etkisi değerlendirilmedi. Bu nedenle açık apeksli farklı kök kanal anatomisine sahip dişlerde, farklı final irrigasyon aktivasyon yöntemleri ve solüsyonlarının ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarına etkisini; yer çekiminin etkisi göz önünde bulundurularak değerlendirecek ve ilave olarak final irrigasyon yöntemlerinin kök kanalındaki dezenfeksiyon etkinliği ve smear tabakasını uzaklaştırmadaki etkinliğini araştırarak yeni in vitro ve randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır.

7. KAYNAKLAR

1. Dagna A. Irrigation: The Key for Success in Modern Endodontics? EC Dental Science. 2019;18:130-7.
2. Chubb DWR. A review of the prognostic value of irrigation on root canal treatment success. Australian Endodontic Journal. 2019;45(1):5-11.
3. Gadiya P, Girnar J, Dhatrak P, Ghorpade R, editors. Review on modern day irrigation methods in endodontics. AIP Conference Proceedings; 2021: AIP Publishing LLC.
4. Chen X, Bao Z-F, Liu Y, Liu M, Jin X-Q, Xu X-B. Regenerative endodontic treatment of an immature permanent tooth at an early stage of root development: a case report. Journal of endodontics. 2013;39(5):719-22.
5. Trope M. Treatment of the immature tooth with a non-vital pulp and apical periodontitis. Dental clinics. 2010;54(2):313-24.
6. Sharma R, Kumar V, Logani A, Chawla A, Sharma S, Koli B. Effect of gravity on periapical extrusion of irrigating solution with different irrigation protocols in immature anterior teeth. European Endodontic Journal. 2020;5(2):150.
7. Cohen S, Hargreaves KM, Keiser K. Pathways of the pulp: Elsevier Brasil; 2006.
8. Velmurugan N, Sooriaprakas C, Jain P. Apical extrusion of irrigants in immature permanent teeth by using EndoVac and needle irrigation: An in vitro study. Journal of Dentistry (Tehran, Iran). 2014;11(4):433.
9. Trevino EG, Patwardhan AN, Henry MA, Perry G, Dybdal-Hargreaves N, Hargreaves KM, et al. Effect of irrigants on the survival of human stem cells of the apical papilla in a platelet-rich plasma scaffold in human root tips. Journal of endodontics. 2011;37(8):1109-15.
10. Siu C, Baumgartner JC. Comparison of the debridement efficacy of the EndoVac irrigation system and conventional needle root canal irrigation in vivo. Journal of endodontics. 2010;36(11):1782-5.
11. Boutsoukias C, Lambrianidis T, Kastrinakis E. Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a computational fluid dynamics study. International Endodontic Journal. 2009;42(2):144-55.
12. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. Journal of Endodontics. 1980;6(9):740-3.
13. Curtis TO, Sedgley CM. Comparison of a continuous ultrasonic irrigation device and conventional needle irrigation in the removal of root canal debris. Journal of endodontics. 2012;38(9):1261-4.
14. Ramamoorthi S, Nivedhitha MS, Divyanand MJ. Comparative evaluation of postoperative pain after using endodontic needle and EndoActivator during root canal irrigation: A randomised controlled trial. Australian Endodontic Journal. 2015;41(2):78-87.
15. Ince Yusufoglu S, Keskin NB, Saricam E, Bozkurt DA. Comparison of apical debris extrusion using EDDY, passive ultrasonic activation and photon-initiated photoacoustic streaming irrigation activation devices. Australian Endodontic Journal. 2020;46(3):400-4.
16. Holland G, Trowbridge H, Rafter M. Protecting the pulp, preserving the apex. Endodontics, Principles and Practice, 4th edn ST Louis: Saunders Elsevier. 2008:21-38.
17. Torabinejad M, Turman M. Revitalization of tooth with necrotic pulp and open apex by using platelet-rich plasma: a case report. Journal of endodontics. 2011;37(2):265-8.
18. Mathew BP, Hegde MN. Management of non vital immature teeth—case reports and review. Endodontology. 2010;18:18-22.
19. Chen Y, Chen X, Zhang Y, Zhou F, Deng J, Zou J, et al. Materials for pulpotomy in immature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. BMC Oral Health. 2019;19(1):227.

20. Flanagan TA. What can cause the pulps of immature, permanent teeth with open apices to become necrotic and what treatment options are available for these teeth. *Australian Endodontic Journal*. 2014;40(3):95-100.
21. Nagata JY, Gomes BP, Rocha Lima TF, Murakami LS, de Faria DE, Campos GR, et al. Traumatized immature teeth treated with 2 protocols of pulp revascularization. *J Endod*. 2014;40(5):606-12.
22. Gassner R, Bösch R, Tuli T, Emshoff R. Prevalence of dental trauma in 6000 patients with facial injuries: implications for prevention. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 1999;87(1):27-33.
23. Bader JD, MARTIN JA, SHUGARS DA. Preliminary estimates of the incidence and consequences of tooth fracture. *The Journal of the American Dental Association*. 1995;126(12):1650-4.
24. Shah N, Logani A, Bhaskar U, Aggarwal V. Efficacy of revascularization to induce apexification/apexogenesis in infected, nonvital, immature teeth: a pilot clinical study. *Journal of endodontics*. 2008;34(8):919-25.
25. Moore A, Howley MF, O'Connell AC. Treatment of open apex teeth using two types of white mineral trioxide aggregate after initial dressing with calcium hydroxide in children. *Dental Traumatology*. 2011;27(3):166-73.
26. Lin JC, Lu JX, Zeng Q, Zhao W, Li WQ, Ling JQ. Comparison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide for apexification of immature permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Formos Med Assoc*. 2016;115(7):523-30.
27. Shabahang S. Treatment options: apexogenesis and apexification. *J Endod*. 2013;39(3 Suppl):S26-9.
28. Hargreaves KM, Diogenes A, Teixeira FB. Treatment options: biological basis of regenerative endodontic procedures. *Pediatric dentistry*. 2013;35(2):129-40.
29. Lovelace TW, Henry MA, Hargreaves KM, Diogenes A. Evaluation of the delivery of mesenchymal stem cells into the root canal space of necrotic immature teeth after clinical regenerative endodontic procedure. *Journal of endodontics*. 2011;37(2):133-8.
30. Gaitonde P, Bishop K. Apexification with mineral trioxide aggregate: an overview of the material and technique. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*. 2007;15(1):41-5.
31. Hermann B. Dentinobliteration der wurzelkanäle nach behandlung mit calcium. *Zahnärztl Rundsch*. 1930;39:888-99.
32. Harlamb SC. Management of incompletely developed teeth requiring root canal treatment. *Aust Dent J*. 2016;61 Suppl 1:95-106.
33. Turkun M, Gengiz T. The effects of NaOCl and CH on tissue dissolution and root canal cleanliness. *Int Endod J*. 1997;30:135-42.
34. Boufdil H, Mtalsi M, El Arabi S, Bousfiha B. Apexification with Calcium Hydroxide vs. Revascularization. *Case reports in dentistry*. 2020;2020.
35. Wigler R, Kaufman AY, Lin S, Steinbock N, Hazan-Molina H, Torneck CD. Revascularization: a treatment for permanent teeth with necrotic pulp and incomplete root development. *J Endod*. 2013;39(3):319-26.
36. Sogukpinar A, Arikan V. Comparative evaluation of four endodontic biomaterials and calcium hydroxide regarding their effect on fracture resistance of simulated immature teeth. *Eur J Paediatr Dent*. 2020;21(1):23-8.
37. Torabinejad M, Hong C, McDonald F, Ford TP. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of endodontics*. 1995;21(7):349-53.
38. Staffoli S, Plotino G, Nunez Torrijos BG, Grande NM, Bossù M, Gambarini G, et al. Regenerative Endodontic Procedures Using Contemporary Endodontic Materials. *Materials (Basel)*. 2019;12(6).

39. Torabinejad M, Parirokh M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part II: other clinical applications and complications. *Int Endod J*. 2018;51(3):284-317.
40. Escribano-Escrivá B, Micó-Muñoz P, Manzano-Saiz A, Giner-Lluesma T, Collado-Castellanos N, Muwaquet-Rodríguez S. MTA apical barrier: In vitro study of the use of ultrasonic vibration. *J Clin Exp Dent*. 2016;8(3):e318-21.
41. Ürkmez E, Pinar Erdem A. Bioactivity evaluation of calcium silicate-based endodontic materials used for apexification. *Aust Endod J*. 2020;46(1):60-7.
42. Iwaya Si, Ikawa M, Kubota M. Revascularization of an immature permanent tooth with apical periodontitis and sinus tract. *Dental Traumatology*. 2001;17(4):185-7.
43. Murray PE, Garcia-Godoy F, Hargreaves KM. Regenerative endodontics: a review of current status and a call for action. *Journal of endodontics*. 2007;33(4):377-90.
44. Kim SG, Malek M, Sigurdsson A, Lin LM, Kahler B. Regenerative endodontics: a comprehensive review. *Int Endod J*. 2018;51(12):1367-88.
45. Lee BN, Moon JW, Chang HS, Hwang IN, Oh WM, Hwang YC. A review of the regenerative endodontic treatment procedure. *Restor Dent Endod*. 2015;40(3):179-87.
46. Lovelace TW, Henry MA, Hargreaves KM, Diogenes A. Evaluation of the delivery of mesenchymal stem cells into the root canal space of necrotic immature teeth after clinical regenerative endodontic procedure. *J Endod*. 2011;37(2):133-8.
47. Raddall G, Mello I, Leung BM. Biomaterials and Scaffold Design Strategies for Regenerative Endodontic Therapy. *Front Bioeng Biotechnol*. 2019;7:317.
48. Lin LM, Kahler B. A review of regenerative endodontics: current protocols and future directions. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*. 2017;51(3 Suppl 1):S41.
49. Lin LM, Kahler B. A review of regenerative endodontics: current protocols and future directions. *J Istanb Univ Fac Dent*. 2017;51(3 Suppl 1):S41-s51.
50. Kolenbrander PE, Palmer RJ, Jr., Periasamy S, Jakubovics NS. Oral multispecies biofilm development and the key role of cell-cell distance. *Nat Rev Microbiol*. 2010;8(7):471-80.
51. Pereira TC, Dijkstra RJB, Petridis X, Sharma PK, van de Meer WJ, van der Sluis LWM, et al. Chemical and mechanical influence of root canal irrigation on biofilm removal from lateral morphological features of simulated root canals, dentine discs and dentinal tubules. *Int Endod J*. 2021;54(1):112-29.
52. Ricucci D, Siqueira JF, Jr. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod*. 2010;36(8):1277-88.
53. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am*. 2010;54(2):291-312.
54. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod*. 2006;32(5):389-98.
55. Zehnder M. Root canal irrigants. *Journal of endodontics*. 2006;32(5):389-98.
56. Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyo S, Sekine I. Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. *J Endod*. 1995;21(12):592-3.
57. Olivieri JG, García Font M, Stöber E, de Ribot J, Mercadé M, Duran-Sindreu F. Effect of manual dynamic activation with citric acid solutions in smear layer removal: A scanning electron microscopic evaluation. *J Dent Sci*. 2016;11(4):360-4.
58. Chubb DWR. A review of the prognostic value of irrigation on root canal treatment success. *Aust Endod J*. 2019;45(1):5-11.
59. Mohammadi Z, Abbott P. The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *International endodontic journal*. 2009;42(4):288-302.
60. Mohammadi Z, Jafarzadeh H, Shalavi S, Palazzi F. Recent advances in root canal disinfection: a review. *Iranian endodontic journal*. 2017;12(4):402.
61. Gunes B, Yesildal Yeter K. Effects of Different Glide Path Files on Apical Debris Extrusion in Curved Root Canals. *J Endod*. 2018;44(7):1191-4.

62. Mitchell RP, Yang SE, Baumgartner JC. Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *J Endod.* 2010;36(2):338-41.
63. Romualdo PC, de Oliveira KMH, Nemezio MA, Küchler EC, Silva RAB, Nelson-Filho P, et al. Does apical negative pressure prevent the apical extrusion of debris and irrigant compared with conventional irrigation? A systematic review and meta-analysis. *Aust Endod J.* 2017;43(3):129-37.
64. Burleson A, Nusstein J, Reader A, Beck M. The in vivo evaluation of hand/rotary/ultrasound instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *J Endod.* 2007;33(7):782-7.
65. Rôças IN, Siqueira JF, Jr. In vivo antimicrobial effects of endodontic treatment procedures as assessed by molecular microbiologic techniques. *J Endod.* 2011;37(3):304-10.
66. da Silva Limoeiro AG, Dos Santos AH, De Martin AS, Kato AS, Fontana CE, Gavini G, et al. Micro-Computed Tomographic Evaluation of 2 Nickel-Titanium Instrument Systems in Shaping Root Canals. *J Endod.* 2016;42(3):496-9.
67. Susila A, Minu J. Activated Irrigation vs. Conventional non-activated Irrigation in Endodontics - A Systematic Review. *Eur Endod J.* 2019;4(3):96-110.
68. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dental Clinics.* 2010;54(2):291-312.
69. Souza CC, Bueno CE, Kato AS, Limoeiro AG, Fontana CE, Pelegrine RA. Efficacy of passive ultrasonic irrigation, continuous ultrasonic irrigation versus irrigation with reciprocating activation device in penetration into main and simulated lateral canals. *J Conserv Dent.* 2019;22(2):155-9.
70. Khademi A, Zamani Naser A, Bahreinian Z, Mehdizadeh M, Najarian M, Khazaei S. Root Morphology and Canal Configuration of First and Second Maxillary Molars in a Selected Iranian Population: A Cone-Beam Computed Tomography Evaluation. *Iran Endod J.* 2017;12(3):288-92.
71. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J.* 2001;34(3):221-30.
72. Vidas J, Snjaric D, Braut A, Carija Z, Persic Bukmir R, De Moor RJG, et al. Comparison of apical irrigant solution extrusion among conventional and laser-activated endodontic irrigation. *Lasers Med Sci.* 2020;35(1):205-11.
73. Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009;35(6):791-804.
74. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod.* 2003;29(10):674-8.
75. Gu L-s, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of endodontics.* 2009;35(6):791-804.
76. Shetty VP, Naik BD, Pachlag AK, Yeli MM. Comparative evaluation of the amount of debris extruded apically using conventional syringe, passive ultrasonic irrigation and EndoIrrigator Plus system: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2017;20(6):411-4.
77. Siu C, Baumgartner JC. Comparison of the debridement efficacy of the EndoVac irrigation system and conventional needle root canal irrigation in vivo. *J Endod.* 2010;36(11):1782-5.
78. Hsieh YD, Gau CH, Kung Wu SF, Shen EC, Hsu PW, Fu E. Dynamic recording of irrigating fluid distribution in root canals using thermal image analysis. *Int Endod J.* 2007;40(1):11-7.
79. Munoz HR, Camacho-Cuadra K. In vivo efficacy of three different endodontic irrigation systems for irrigant delivery to working length of mesial canals of mandibular molars. *J Endod.* 2012;38(4):445-8.

80. Metzger Z, Solomonov M, Kfir A. The role of mechanical instrumentation in the cleaning of root canals. *Endodontic Topics*. 2013;29(1):87-109.
81. Linden D, Boone M, De Bruyne M, De Moor R, Versiani MA, Meire M. Adjunctive Steps for the Removal of Hard Tissue Debris from the Anatomic Complexities of the Mesial Root Canal System of Mandibular Molars: A Micro-Computed Tomographic Study. *J Endod*. 2020;46(10):1508-14.
82. Keir DM, Senia ES, Montgomery S. Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *J Endod*. 1990;16(7):323-7.
83. Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U, Saad AY. Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *J Endod*. 2006;32(12):1181-4.
84. Parente JM, Loushine RJ, Susin L, Gu L, Looney SW, Weller RN, et al. Root canal debridement using manual dynamic agitation or the EndoVac for final irrigation in a closed system and an open system. *Int Endod J*. 2010;43(11):1001-12.
85. Andrabi SMUN, Kumar A, Mishra SK, Tewari RK, Alam S, Siddiqui S. Effect of manual dynamic activation on smear layer removal efficacy of ethylenediaminetetraacetic acid and SmearClear: An in vitro scanning electron microscopic study. *Australian Endodontic Journal*. 2013;39(3):131-6.
86. Andrabi SM, Kumar A, Mishra SK, Tewari RK, Alam S, Siddiqui S. Effect of manual dynamic activation on smear layer removal efficacy of ethylenediaminetetraacetic acid and SmearClear: an in vitro scanning electron microscopic study. *Aust Endod J*. 2013;39(3):131-6.
87. Ekici MA, KIVANÇ BH, Ekici A, Özgür U. Farklı endodontik irrigasyon aktivasyon teknikleri kullanılarak yapay oluklardan debris uzaklaştırılması: ex vivo. *Acta Odontologica Turcica*. 2017;34(1):14-8.
88. Pasricha SK, Makkar S, Gupta P. Pressure alteration techniques in endodontics- a review of literature. *J Clin Diagn Res*. 2015;9(3):Ze01-6.
89. Ruddle CJ. Microbrush for endodontic use. Google Patents; 2001.
90. Weise M, Roggendorf M, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R. Four methods for cleaning simulated lateral extensions of curved root canals-a SEM evaluation: R2. 39. *International Endodontic Journal*. 2007;40(12):991-2.
91. Setlock J, Fayad MI, BeGole E, Bruzick M. Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: a comparative scanning electron microscope study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;96(5):614-7.
92. Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG. Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *J Endod*. 2002;28(12):837-9.
93. Kaya E, Elbay M, Yiğit D. Evaluation of the Self-Adjusting File system (SAF) for the instrumentation of primary molar root canals: a micro-computed tomographic study. *Eur J Paediatr Dent*. 2017;18(2):105-10.
94. Machado A, Guilherme B, Provenzano J, Marceliano-Alves M, Gonçalves L, Siqueira Jr J, et al. Effects of preparation with the Self-Adjusting File, TRUS hape and XP-endo Shaper systems, and a supplementary step with XP-endo Finisher R on filling material removal during retreatment of mandibular molar canals. *International endodontic journal*. 2019;52(5):709-15.
95. Metzger Z. The self-adjusting file (SAF) system: An evidence-based update. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2014;17(5):401.
96. De-Deus G, Belladonna FG, de Siqueira Zuolo A, Perez R, Carvalho MS, Souza EM, et al. Micro-CT comparison of XP-endo Finisher and passive ultrasonic irrigation as final irrigation protocols on the removal of accumulated hard-tissue debris from oval shaped-canals. *Clin Oral Investig*. 2019;23(7):3087-93.

97. Silva E, Belladonna FG, Zuolo AS, Rodrigues E, Ehrhardt IC, Souza EM, et al. Effectiveness of XP-endo Finisher and XP-endo Finisher R in removing root filling remnants: a micro-CT study. *Int Endod J*. 2018;51(1):86-91.
98. Aksel H, Küçükkaya Eren S, Askerbeyli Örs S, Serper A, Ocak M, Çelik HH. Micro-CT evaluation of the removal of root fillings using the ProTaper Universal Retreatment system supplemented by the XP-Endo Finisher file. *Int Endod J*. 2019;52(7):1070-6.
99. Alves FR, Marceliano-Alves MF, Sousa JCN, Silveira SB, Provenzano JC, Siqueira Jr JF. Removal of root canal fillings in curved canals using either reciprocating single-or rotary multi-instrument systems and a supplementary step with the XP-Endo Finisher. *Journal of endodontics*. 2016;42(7):1114-9.
100. Bortoluzzi EA, Carlon D, Jr., Meghil MM, El-Awady AR, Niu L, Bergeron BE, et al. Efficacy of 3D conforming nickel titanium rotary instruments in eliminating canal wall bacteria from oval-shaped root canals. *J Dent*. 2015;43(5):597-604.
101. Azim AA, Aksel H, Zhuang T, Mashtare T, Babu JP, Huang GT. Efficacy of 4 Irrigation Protocols in Killing Bacteria Colonized in Dentinal Tubules Examined by a Novel Confocal Laser Scanning Microscope Analysis. *J Endod*. 2016;42(6):928-34.
102. Kolli S, Balasubramanian SK, Kittappa K, Mahalaxmi S. Efficacy of XP-endo Finisher files in endodontics. *Aust Endod J*. 2018;44(1):71-2.
103. De-Deus G, Belladonna FG, Zuolo AS, Cavalcante DM, Carvalhal JCA, Simões-Carvalho M, et al. XP-endo Finisher R instrument optimizes the removal of root filling remnants in oval-shaped canals. *Int Endod J*. 2019;52(6):899-907.
104. Tavares SJO, Gomes CC, Marceliano-Alves MF, Guimarães LC, Provenzano JC, Amoroso-Silva P, et al. Supplementing filling material removal with XP-Endo Finisher R or R1-Clearsonic ultrasonic insert during retreatment of oval canals from contralateral teeth. *Aust Endod J*. 2020.
105. Rödig T, Sedghi M, Konietschke F, Lange K, Ziebolz D, Hülsmann M. Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo and passive ultrasonic irrigation in removing debris from irregularities in root canals with different apical sizes. *Int Endod J*. 2010;43(7):581-9.
106. McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng YL. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. *Int Endod J*. 2008;41(7):602-8.
107. Hauser V, Braun A, Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo®). *International endodontic journal*. 2007;40(8):644-52.
108. McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng YL. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. *International endodontic journal*. 2008;41(7):602-8.
109. Vivan RR, Bortolo MV, Duarte MA, Moraes IG, Tanomaru-Filho M, Bramante CM. Scanning electron microscopy analysis of RinsEndo system and conventional irrigation for debris removal. *Braz Dent J*. 2010;21(4):305-9.
110. Rödig T, Hirschleb M, Zapf A, Hülsmann M. Comparison of ultrasonic irrigation and RinsEndo for the removal of calcium hydroxide and Ledermix paste from root canals. *Int Endod J*. 2011;44(12):1155-61.
111. Nielsen BA, Craig Baumgartner J. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod*. 2007;33(5):611-5.
112. Miller TA, Baumgartner JC. Comparison of the antimicrobial efficacy of irrigation using the EndoVac to endodontic needle delivery. *Journal of endodontics*. 2010;36(3):509-11.
113. Desai P, Himel V. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *J Endod*. 2009;35(4):545-9.

114. Mitchell RP, Yang S-E, Baumgartner JC. Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *Journal of endodontics*. 2010;36(2):338-41.
115. Walmsley AD. Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation. *Int Endod J*. 1987;20(3):105-11.
116. Jiang L-M, Verhaagen B, Versluis M, van der Sluis LWM. Evaluation of a Sonic Device Designed to Activate Irrigant in the Root Canal. *Journal of Endodontics*. 2010;36(1):143-6.
117. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ. Ultrasonic debridement of root canals: Acoustic cavitation and its relevance. *Journal of Endodontics*. 1988;14(10):486-93.
118. Macedo R, Verhaagen B, Rivas DF, Versluis M, Wesselink P, van der Sluis L. Cavitation measurement during sonic and ultrasonic activated irrigation. *Journal of endodontics*. 2014;40(4):580-3.
119. Mozo S, Llena C, Forner L. Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Medicina oral, patologia oral y cirugia bucal*. 2012;17(3):e512.
120. van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J*. 2007;40(6):415-26.
121. Donnermeyer D, Wyrsh H, Bürklein S, Schäfer E. Removal of Calcium Hydroxide from Artificial Grooves in Straight Root Canals: Sonic Activation Using EDDY Versus Passive Ultrasonic Irrigation and XPEndo Finisher. *J Endod*. 2019;45(3):322-6.
122. Tronstad L, Barnett F, Schwartzben L, Frasca P. Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endod Dent Traumatol*. 1985;1(2):69-76.
123. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig*. 2017;21(9):2681-7.
124. Neuhaus KW, Liebi M, Stauffacher S, Eick S, Lussi A. Antibacterial Efficacy of a New Sonic Irrigation Device for Root Canal Disinfection. *Journal of Endodontics*. 2016;42(12):1799-803.
125. Conde AJ, Estevez R, Loroño G, Valencia de Pablo Ó, Rossi-Fedele G, Cisneros R. Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *Int Endod J*. 2017;50(10):976-82.
126. Stern RH, Sognnaes RF. LASER EFFECT ON DENTAL HARD TISSUES: A PRELIMINARY REPORT. Univ. of California, Los Angeles; 1965.
127. Stern R, Sognnaes R. LASER EFFECT ON DENTAL HARD TISSUES: A PRELIMINARY REPORT. Univ. of California, Los Angeles; 1965.
128. Doğanay Yıldız E, Dinçer B, Fidan ME. Effect of different laser-assisted irrigation activation techniques on apical debris extrusion. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2020;78(5):332-6.
129. Arıcıoğlu B, Çıkman AŞ, Babacan M. The comparison of cleaning efficacy and apical extrusion of advanced irrigation activation methods with a novel Er: YAG laser modality: sweeps. *Lasers in Dental Science*. 2021;5(1):43-52.
130. Keleş A, Arslan H, Kamalak A, Akçay M, Sousa-Neto MD, Versiani MA. Removal of filling materials from oval-shaped canals using laser irradiation: a micro-computed tomographic study. *J Endod*. 2015;41(2):219-24.
131. Cavalcanti TM, Almeida-Barros RQ, Catão MH, Feitosa AP, Lins RD. Knowledge of the physical properties and interaction of laser with biological tissue in dentistry. *An Bras Dermatol*. 2011;86(5):955-60.
132. Olivi G, DiVito EE. Advanced Laser-Activated Irrigation: PIPS™ Technique and Clinical Protocols. *Lasers in Endodontics*: Springer; 2016. p. 219-91.
133. Do QL, Gaudin A. The Efficiency of the Er: YAG Laser and PhotonInduced Photoacoustic Streaming (PIPS) as an Activation Method in Endodontic Irrigation: A Literature Review. *Journal of lasers in medical sciences*. 2020;11(3):316.
134. Nasher R, Franzen R, Gutknecht N. The effectiveness of the Erbium: Yttrium aluminum garnet PIPS technique in comparison to different chemical solutions in removing

the endodontic smear layer—an in vitro profilometric study. *Lasers in medical science*. 2016;31(9):1871-82.

135. Jezeršek M, Jereb T, Lukač N, Tenyi A, Lukač M, Fidler A. Evaluation of apical extrusion during novel Er: YAG laser-activated irrigation modality. *Photobiomodulation, photomedicine, and laser surgery*. 2019;37(9):544-50.

136. Wang X-N, Shi J. Shock wave-enhanced emission photoacoustic streaming versus photon-induced photoacoustic streaming modes for clearing root canal bacteria using erbium-doped yttrium aluminum garnet lasers: An in vitro study. 2020.

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

138. Galler K, Grubmüller V, Schlichting R, Widbiller M, Eidt A, Schuller C, et al. Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *International endodontic journal*. 2019;52(8):1210-7.

139. Dos Reis S, Cruz VM, Duarte MAH, da Silveira Bueno CE, Vivan RR, Pelegri RA, et al. Volumetric analysis of irrigant extrusion in immature teeth after different final agitation techniques. *Journal of endodontics*. 2020;46(5):682-7.

140. Zhabuawala MS, Nadig RR, Pai VS, Gowda Y, Aswathanarayana RM. Reinforcing Effects of Calcium Silicate-based Cement and Dual Cure Composite Resin in Simulated Immature Teeth with an Open Apex: An in vitro Study. *International journal of clinical pediatric dentistry*. 2017;10(4):351.

141. Toyoglu M, Altunbaş D. Influence of Different Kinematics on Apical Extrusion of Irrigant and Debris during Canal Preparation Using K3XF Instruments. *J Endod*. 2017;43(9):1565-8.

142. Chueh L-H, Ho Y-C, Kuo T-C, Lai W-H, Chen Y-HM, Chiang C-P. Regenerative endodontic treatment for necrotic immature permanent teeth. *Journal of endodontics*. 2009;35(2):160-4.

143. Allen R, Mackie IC. Management of the immature apex—a clinical guide. *Dental update*. 2003;30(8):437-41.

144. Altundasar E, Nagas E, Uyanik O, Serper A. Debris and irrigant extrusion potential of 2 rotary systems and irrigation needles. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2011;112(4):e31-e5.

145. Garcia-Godoy F, Murray PE. Recommendations for using regenerative endodontic procedures in permanent immature traumatized teeth. *Dental Traumatology*. 2012;28(1):33-41.

146. Welbury R, Walton A. Continued apexogenesis of immature permanent incisors following trauma. *British dental journal*. 1999;187(12):643-4.

147. Reddy SA, Hicks ML. Apical extrusion of debris using two hand and two rotary instrumentation techniques. *Journal of endodontics*. 1998;24(3):180-3.

148. Ok E, Altunsoy M, Tanriver M, Capar ID, Kalkan A, Gok T. Fracture resistance of simulated immature teeth after apexification with calcium silicate-based materials. *European journal of dentistry*. 2016;10(02):188-92.

149. . !!! INVALID CITATION !!! .

150. Hacer A, Sevinc A, Cigdem C, Ahmet S. Effect of needle insertion depth and apical diameter on irrigant extrusion in simulated immature permanent teeth. *Brazilian oral research*. 2014;28:1-6.

151. Topçuoğlu HS, Kesim B, Düzgün S, Tuncay Ö, Demirbuga S, Topçuoğlu G. The effect of various backfilling techniques on the fracture resistance of simulated immature teeth performed apical plug with B iodentine. *International journal of paediatric dentistry*. 2015;25(4):248-54.

152. Zhabuawala MS, Nadig RR, Pai VS, Gowda Y. Comparison of fracture resistance of simulated immature teeth with an open apex using Biodentine and composite resin: An in

- vitro study. Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry. 2016;34(4):377.
153. Sarıılmaz E, Keskin C. Evaluation of double and triple antibiotic paste removal efficiency of various irrigation protocols. Meandros Medical and Dental Journal. 2019;20(2):129.
 154. Psimma Z, Boutsoukis C, Kastrinakis E, Vasiliadis L. Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo. Journal of endodontics. 2013;39(4):521-4.
 155. Rodríguez-Figueroa C, McClanahan SB, Bowles WR. Spectrophotometric determination of irrigant extrusion using passive ultrasonic irrigation, EndoActivator, or syringe irrigation. Journal of endodontics. 2014;40(10):1622-6.
 156. Toyoğlu M, Altunbaş D. Influence of different kinematics on apical extrusion of irrigant and debris during canal preparation using K3XF instruments. Journal of endodontics. 2017;43(9):1565-8.
 157. Uzunoglu E, Görduysus M, Görduysus Ö. A comparison of different irrigation systems and gravitational effect on final extrusion of the irrigant. Journal of clinical and experimental dentistry. 2015;7(2):e218.
 158. Karatas E, Ozsu D, Arslan H, Erdogan A. Comparison of the effect of nonactivated self-adjusting file system, Vibringe, EndoVac, ultrasonic and needle irrigation on apical extrusion of debris. International endodontic journal. 2015;48(4):317-22.
 159. Kivanç BH, Arisu HD, Yanar NÖ, Silah HM, İnam R, Görgül G. Apical extrusion of sodium hypochlorite activated with two laser systems and ultrasonics: a spectrophotometric analysis. BMC Oral Health. 2015;15(1):1-5.
 160. Azim AA, Aksel H, Jefferson MM, Huang GT-J. Comparison of sodium hypochlorite extrusion by five irrigation systems using an artificial root socket model and a quantitative chemical method. Clinical oral investigations. 2018;22(2):1055-61.
 161. Sarıılmaz E, Keskin C. Apical Extrusion of Debris and Irrigant Using XP-Endo Finisher, EndoActivator, Passive Ultrasonic Irrigation or Syringe Irrigation. Meandros Medical and Dental Journal. 2018;19(2):127.
 162. Yost RA, Bergeron BE, Kirkpatrick TC, Roberts MD, Roberts HW, Himel VT, et al. Evaluation of 4 different irrigating systems for apical extrusion of sodium hypochlorite. Journal of endodontics. 2015;41(9):1530-4.
 163. Rungcharoenporn N, Pimkhaokham S. Comparison in amount of sodium hypochlorite extrusion during irrigation with needle-syringe and EndoActivator: in vitro study. CU Dent J. 2014;37:39-46.
 164. Akçay A, Gorduysus M, Rahman B, Gorduysus MO. Effects of six different irrigation systems on potential apical extrusion of irrigants. Journal of International Dental and Medical Research. 2019;12(1):1-5.
 165. Myers GL, Montgomery S. A comparison of weights of debris extruded apically by conventional filing and Canal Master techniques. Journal of endodontics. 1991;17(6):275-9.
 166. Boutsoukis C, Psimma Z, Kastrinakis E. The effect of flow rate and agitation technique on irrigant extrusion ex vivo. International Endodontic Journal. 2014;47(5):487-96.
 167. Gupta J, Nikhil V, Jha P. Corelation between machines assisted endodontic irrigant agitation and apical extrusion of debris and irrigant: a laboratory study. The scientific world journal. 2014;2014.

