



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

**EĞRİ KANALLARDA KONVANSİYONEL İĞNE
İRRİGASYONU, IRRIFLEX, ENDOACTIVATOR VE
EDDY KULLANIMINDA APİKALDEN DEBRİS
TAŞMA MİKTARININ KARŞILAŞTIRMALI
OLARAK İN VİTRO DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ayşe Selin SÖNMEZ

UZMANLIK TEZİ

Doç. Dr. Davut ÇELİK

TRABZON-2021



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

**EĞRİ KANALLARDA KONVANSİYONEL İĞNE
İRRİGASYONU, IRRIFLEX, ENDOACTIVATOR VE
EDDY KULLANIMINDA APİKALDEN DEBRİS
TAŞMA MİKTARININ KARŞILAŞTIRMALI
OLARAK İN VİTRO DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ayşe Selin SÖNMEZ
ORCID: 0000-0001-7095-9784

UZMANLIK TEZİ

Doç. Dr. Davut ÇELİK
ORCID: 0000-0002-1062-0241

TRABZON-2021

İthaf

Bu uzmanlık tezimi, benim bu günlere gelmem için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve her zaman yanımda olan sevgili aileme ve kedim prense ithaf ediyorum.



TEŞEKKÜRLER

Uzmanlık eğitimim boyunca büyük bir özveri ile bana her zaman destek olan, akademik deneyimi ve tecrübesi ile her daim yol gösteren, öğrencisi olmaktan büyük gurur ve onur duyduğum danışman hocam Sayın Doç. Dr. Davut Çelik'e,

Uzmanlık sürecimde değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, tez süreci boyunca fikir ve önerileri ile destek olup eğitimime büyük katkıda bulunan değerli hocalarım Prof. Dr. Tamer Taşdemir'e ve Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Koşar'a,

Asistanlık hayatımızda yoğun çalışma temposunda birbirimize hep destek olduğumuz ve yardımlarımızı esirgemediğimiz beni bu şehirde yalnız olduğumu hissettirmeyen canım bölüm arkadaşlarım Şeyma Nur Ögel, Pınar Navruz, Seren Beykoz, Elif Balkan, Feyzanur Bayraktar, Merve Dilara Onat, Şeyba Doğan, Yasin Özgenç, Furkan Özekten ve daima yanımda olduğunu hissettiğim Emirhan Yılmaz'a,

Yardımları ve güler yüzleri ile beraber çalışmaktan mutluluk duyduğum, bölüm personelimiz Yeşim Yılmaz Aydın, Yurdanur Usta, Betül Akçay, Hilal Tandoğan, Seda Albayrak ve Şeyma Karakaş'a

Bu noktaya gelmemde en büyük payı olan, beni sonsuz ve sevgi şefkatleri ile her zaman destekleyen, her zaman yanımda olan diğer yarım Serra Sönmez'e, canım annem Nimet Sönmez'e ve canım babam Sinan Sönmez'e, benden kilometrecelerde uzakta olduğu halde teknolojik bilgileri ile bana her zaman yardımcı olan erkek kardeşim Mehmet Alp Sönmez'e,

Bu şehirde yalnız kalmamam için tüm çabalarını gösteren ve beni her zaman destekleyen sevgili teyzem Hikmet Efendioğlu, sevgili dayılarım Kadir Yaşar Efendioğlu, Mete Efendioğlu ve Mustafa Efendioğlu'na

Tüm kalbimle teşekkür ederim...

Arş. Gör. Ayşe Selin SÖNMEZ

İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK SAYFASI

Sayfa

ONAY

BEYAN

İTHAF

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER

vii

TABLolar DİZİNİ

ix

ŞEKİLLER DİZİNİ

x

RESİMLER DİZİNİ

xi

KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ

xii

ÖZET

ABSTRACT

1.GİRİŞ ve AMAÇ

1

2. GENEL BİLGİLER

3

2.1 Kök Kanal Tedavisi

3

2.2 Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyon

4

2.3 Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyonun Faydaları

4

2.4 İdeal İrrigasyon Solüsyonunun Özellikleri

5

2.5 Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemleri ve Cihazları

6

2.5.1 Manuel Aktivasyon Teknikleri

7

2.5.1.1 Konvansiyonel İğne İrrigasyonu

7

2.5.1.2 Fırçalar

11

2.5.1.3 Manuel Dinamik Aktivasyon

13

2.5.2.1 Rotary Fırçalar

14

2.5.2.2 Döner Enstrümantasyon Sırasında Sürekli İrrigasyon

16

2.5.2.3 Ultrasonik İrrigasyon	18
2.5.2.4 Sonik İrrigasyon Sistemleri	19
2.5.2.5 Basıncı Değiştiren Sistemler	21
2. 6.Apikal Debris Ekstrüzyonu	24
2.7 Apikal Debris Ekstrüzyon Miktarını Etkileyen Faktörler	25
2.7.1 Apikal Çap ve Patensi	25
2.7.2 Çalışma Boyunun Debris Ekstrüzyonuna Etkisi	25
2.7.3 Kök Kanal Eğimi	26
2.7.4 Alet tipi, Tasarımı ve Kullanılan Yöntem	26
2.7.5 İrrigasyon Yöntemi ve İğne Tasarımı	28
2.8. Apikal Debris Ekstrüzyonu Ölçümünde Kullanılan Yöntemler	29
3. GEREÇ ve YÖNTEM	32
3.1 Örneklerin Seçilmesi ve Saklanması	32
3.2. Örneklerin Hazırlanması	33
3.3 Deney Düzeneklerinin Hazırlanması	34
3.4 Kök Kanal Şekillendirilmesi ve İrrigasyonu	36
3.5 Ekstrüze Debris Miktarının Değerlendirilmesi	39
3.6. Sonuçların İstatistiksel Analizi	40
4.BULGULAR	41
5.TARTIŞMA	42
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
7. KAYNAKLAR	54
EKLER	79
EK 1. Etik Kurul Onay Belgesi	79
ÖZGEÇMİŞ	80

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No		Sayfa
Tablo 1.	Endodontide kullanılabilecek irrigasyon aktivasyon teknikleri ve cihazlarının özeti	7
Tablo 2.	Apikal debris ekstrüzyon miktarı (gr)	41



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.	Açık uçlu iğneler: A-B-C Kapalı uçlu iğneler; D-E-F	8
Şekil 2.	IrriFlex®	11
Şekil 3.	IrriFlex®	11
Şekil 4.	Farklı boyutlara sahip açılı güta perkalar	13
Şekil 5.	Self-Adjusting File ve kafes yapısı	17
Şekil 6.	Ultrasonik irrigasyon ucu	18
Şekil 7.	Posterior dişler için çeşitli ultrasonik uçlar	19
Şekil 8.	EndoActivator	20
Şekil 9.	EDDY sonic irrigasyon aktivasyon ucu	21
Şekil 10.	EDDY sonic irrigasyon aktivasyon ucu	21
Şekil 11.	EndoVac sistemi	22
Şekil 12.	RinsEndo Sistemi	23
Şekil 13.	Apikal debris ekstrüzyon miktarı (gr)	41

RESİMLER DİZİNİ

Resim No		Sayfa
Resim 1.	İrrigasyon için kullanılan farklı hacimlerdeki Luer-Lock tasarımlı plastik şırıngalar	10
Resim 2.	Endobrush	12
Resim 3.	NaviTip FX	12
Resim 4.	Canalbrush	15
Resim 5.	Quantec-E-irrigasyon Sistemi	16
Resim 6.	Schneider yöntemi ile üst 1.molar dişin MB kökünün eğim derecesinin belirlenmesi	33
Resim 7.	Hazırlanan örnekler	34
Resim 8.	1-60'a kadar numarandırılan eppendorf tüpleri	35
Resim 9.	40 numaralı boş eppendorf tüpünün 10^{-4} hassas terazide tartılması	35
Resim 10 A.	Deney düzeneğinin oluşturulması	36
Resim 10 B.	Düzeneğin rubberdam ile örtülmesi	36
Resim 11 A.	Çalışmamızda kullanılan VDW Rotate™ döner alet serisi	37
Resim 11 B.	Çalışmamızda kullanılan endomotor Morita TriAuto ZX2	37
Resim 12.	Çalışmamızda kullanılan 30G lateral perfore iğne	37
Resim 13.	IrriFlex®	38
Resim 14.	EndoActivator ve çalışmamızda kullanılan 25/.04 boyutundaki ucu	39
Resim 15.	EDDY ucu ve çalışmamızda kullanılan TA-200	39

KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ

Kısaltmalar

Mikro BT	Mikro Bilgisayarlı Tomografi
Ni-Ti	Nikel Titanyum
MDA	Manuel Dinamik Aktivasyon
SAF	Self-Adjusting File
SI	Sonik Aktivasyon
UI	Ultrasonik İrrigasyon
PUI	Pasif Ultrasonik İrrigasyon
SNI	Standart neddle irrigation (konvansiyonel iğne irrigasyonu)
EA	EndoActivator
IAF	Initial Apical File
ISO	International Standart Organization
ark.	Arkadaşları
E. faecalis	Enterococcus Faecalis
Gr	Gram
mm	Milimetre
ml	Mililitre
µm	Mikrometre
sn	Saniye
rpm	Devir/Dakika
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
Cpm	Circle Per Minute
S	Small
M	Medium

L	Large
N	Newton

Simgeler

C	Santigrat
>	Büyük
<	Küçük
°	Derece
%	Yüzde
+	Artı
-	Eksi
=	Eşittir

Formüller

NaOCl	Sodyum Hipoklorit
EDTA	Etilen Diamin Tetra Asetik

ÖZET

Eğri Kanallarda Konvansiyonel İğne İrrigasyonu, IrriFlex, EndoActivator ve EDDY Kullanımında Apikalden Debris Taşma Miktarının Karşılaştırmalı Olarak İn Vitro Değerlendirilmesi

Bu çalışmanın amacı; konvansiyonel iğne irrigasyonu ve farklı 3 güncel irrigasyon sisteminin (IrriFlex, EndoActivator, EDDY) eğimli kök kanallarına sahip molar dişlerin kök kanal tedavisi esnasında kök ucundan çıkan debris ekstrüzyon miktarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir.

Çalışmada kök ucu gelişimi tamamlanmış, rezorpsiyon, kırık, kök çürükleri, kalsifikasyon ve kök kanal dolgusu bulunmayan, %0,1 Timol solüsyonunda bekletilmiş, kanal eğrilikleri Schneider'in yöntemine göre 20°- 40° arasında olan çekilmiş insan mandibular veya maksiler molar dişlere ait 60 adet meziobukkal kök kanalı kullanılmıştır. Dişlerin çalışma uzunlukları 17 mm'ye standardize edilmiştir. Meziyal kök kanallarında #10 K tipi eğe görsel olarak apikal uçta görülene kadar ilerlenmiş ve tam uçta gözlendiğinde ölçülen boyundan 1 mm kısa olacak şekilde çalışma boyu belirlenmiştir. Dişler rastgele 4 eşit (n=15) gruba ayrılmıştır. VDW.Rotate™ döner alet serisi kullanılarak final apikal çapı 25/.06 olacak şekilde kök kanalları şekillendirilmiştir. İşlemden önce eppendorf tüplerin boş ağırlıkları 10⁻⁴ hassas terazi kullanılarak ölçülmüştür. Tüm gruplarda her eğe arası irrigasyon için 1 ml distile su, final irrigasyon olarak 3 ml distile su olmak üzere toplam 6 ml distile su kullanılmıştır. En son kök yüzeyinde kalan debris temizlemek için 1 ml distile su tüpün alt kısmına eklenmiştir. Distile suyun buharlaşması için örnekler 37 °C'de 15 gün etüvde bekletilmiştir. Sonrasında eppendorf tüpler 10⁻⁴ hassas terazi ile tartılmıştır. Apikal debris ekstrüzyon miktarının karşılaştırılması Myers & Montgomery yöntemi kullanılarak eppendorf tüpünün son ağırlığından ilk ağırlığın çıkarılması ile hesaplanmıştır. İstatistiksel analiz için ANOVA testi kullanılmıştır. Tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (p>0.05). Bu çalışmanın sonucuna göre tüm irrigasyon sistemleri apikal debris ekstrüzyonuna neden olmuştur. Yeni bir kanül tasarımı olan IrriFlex® ve yeni bir sonik aktivasyon sistemi olan EDDY ucu ile ilgili daha fazla apikal debris ekstrüzyon çalışmalarına ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: debris ekstrüzyonu, irrigasyon, endodonti

ABSTRACT

Comparative evaluation of the amount of debris extruded apically using Conventional needle irrigation, IrriFlex, EndoActivator and EDDY in curved canals: An in vitro study

The aim of this study was to compare the effects of conventional needle irrigation and 3 different current irrigation systems (Irriflex, EndoActivator, EDDY) on the amount of apically extruded debris in curved canals.

In this study, we used extracted 60 human mandibular or maxillary molar teeth which apical foramen with a mature closed apex and there was no resorption, no fracture, no root caries, no calcification and no root canal filling. Teeth were stored in 0.1% Thymol solution until used. The canal curvatures, which were determined according to Schneider's method were between 20° and 40. The working length of the teeth is standardized to 17 mm and it was determined by measuring the length of the initial instrument (size 10) at the apical foramen minus 1 mm. The teeth were randomly divided into 4 equal (n=15) groups. Root canals were prepared with VDW.Rotate™ rotary instrument series up to apical size 25/.06 In all groups, we used 1 ml distilled water for irrigation between each file and 3 ml distilled water as final irrigation. A total of 6 mL solution was used in all groups. After the completion of instrumentation, each tooth with separated stoppers was removed from the Eppendorf tubes and the debris adhering to the root surface was collected by washing the root surface with 1 mL distilled water in the Eppendorf tube. The tubes were then stored in an incubator at 37°C for 15 days to evaporate the irrigant before weighing the dry debris. After that, the eppendorf tubes were weighed three times with 10⁻⁴ electronic weighing machine. Comparison of the amount of apical extrusion of debris was calculated by subtracting the initial weight from the final weight of the eppendorf tube using the Myers & Montgomery method. ANOVA test was used for statistical analysis. There was no statistically significant difference between all groups (p>0.05). According to the results of this study, all irrigation systems caused apical debris extrusion. Further studies are needed to compare debris extrusion properties of EDDY and IrriFlex systems.

Keywords: debris extrusion, irrigation, endodontic

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Endodonti, insan dişi pulpa ve periapikal dokularının morfolojisi, fizyolojisi ve patolojisiyle ilgilenen diş hekimliği dalıdır (1). Kök kanal tedavisi, kök kanallarının dezenfeksiyonunu, kök kanal boşluğunda enfeksiyonu kontrol etmeyi ve pulpal ve periradiküler hastalıkların iyileşmesini veya önlenmesini amaçlamaktadır. Dezenfeksiyon sağlamak için kök kanallarının mekanik preparasyonu ve irrigasyonu kök kanal tedavisinin önemli aşamalarıdır. Kök kanallarının temizlenip şekillendirilmesi sırasında sadece mekanik enstrümantasyon yeterli olmamaktadır (2). Kanal aletlerinin ulaşamadığı düzensiz alanların ve istmusların temizlenmesi, kanaldaki vital ve nekrotik pulpa artıklarının uzaklaştırılması ve dezenfeksiyonun sağlanması için kanallar irrigasyon solüsyonu ile yıkanmalıdır. Bu yıkama sırasında organik ve inorganik debris, mikroorganizmalar ve ürünlerinin periapikal dokulara taşması sonucu hastada postoperatif ağrı, şişlik ve flare-up gibi komplikasyonlar meydana gelebilmektedir (3–5).

Günümüzde, kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunu iyileştirmek için farklı irrigasyon teknikleri ve cihazları kullanılmaktadır. Kök kanal irrigasyon sisteminin tipi ve irrigasyon iğnelerinin tasarımı, apikalden debris taşıma sıklığını ve miktarını etkileyebilmektedir (6). İğnenin penetrasyon derinliği ve verilen irrigant hacminin kontrolü tatmin edici olmasa da konvansiyonel irrigasyon iğnesi ve enjektörü maliyeti düşük ve kullanımının kolay olması sebebiyle en yaygın kullanılan sistemdir(7).

Son zamanlarda, gelişmiş kök kanalı irrigasyonu için yenilikçi bir iğne tasarımı olan IrriFlex® (Produits Dentaires SA, Switzerland) piyasaya sunulmuştur. Konvansiyonel metal iğnelerin aksine, IrriFlex® her kök kanal anatomisine kolayca adapte olabilen yumuşak bir polipropilen gövdeden yapılmıştır. Bununla birlikte irrigasyon solüsyonun tek başına kullanılması kök kanalını temizlemede yeterli etkinlik sağlamamaktadır (8). İrrigasyonun aktive edildiği en yaygın yöntemlerden biri olan ultrasonik aktivasyonun neden olduğu zararlı etkileri önlemek için kesici etkisi olmayan plastik uçlara sahip sonik aktivasyon önerilmiştir (9). Bu tekniği kullanan cihazlar arasında EndoActivator (DentsplyMaillefer, Ballaigues, Switzerland) Frekansı 33–167 Hz olan, taşınabilen, kök dentinini kesmeyen farklı 3 tip tek kullanımlık esnek polimer uçlara sahip bir sonik aktivasyon sistemidir. Son yıllarda boyutu 25.04 olan kesici olmayan, steril, tek kullanımlık esnek polimer uçlara sahip, hava ünitesine bağlı olarak çalışan, Frekansı 6000 Hz olan bir sonik aktivasyon sistemi EDDY (VDW, Munich, Germany) tanıtılmıştır (10). Biz bu çalışmamızda konvansiyonel

iğne irrigasyonu ve farklı 3 güncel irrigasyon sisteminin (IrriFlex, EndoActivator, EDDY) eğimli kök kanallarına sahip molar dişlerin kök kanal tedavisi esnasında apikalden çıka debris taşıma miktarını Myers&Montgomery yöntemi ile karşılaştırarak klinik için en uygun irrigasyon sisteminin seçilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktayız. Güncel literatürde irrigasyonda yeni bir iğne tasarımı olan Irriflex ile ilgili ulaşabildiğimiz kaynaklar neticesinde bir çalışma bulunmamakla birlikte, irrigasyon ajanlarını sonik uçlar ile aktive eden EndoActivator ve EDDY ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (11, 12). Ayrıca yeni bir cihaz olan EDDY sonik aktivasyon sisteminin apikalden debris taşıma miktarı ile ilgili herhangi bir akademik çalışmaya ulaşılammıştır.

Çalışmanın sonuçlarına göre eğimli kök kanallarına sahip olan dişlere kanal tedavisi yaparken irrigasyon sisteminin seçiminde diş hekimleri için yol gösterici olmasını hedeflemekteyiz. Çalışmanın sıfır hipotezi, ekstrüze debris miktarı yönünden karşılaştırılacak olan irrigasyon sistemlerinin birbirinden farklı olmadığı yönündedir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1 Kök Kanal Tedavisi

Kök kanal tedavisi; dişi çevreleyen periapikal dokuların korunması ile birlikte, sağlıklı ve/veya enfekte kron ve kök pulpa dokusu çıkarıldıktan sonra, kök kanallarının mekanik olarak şekillendirilmesi, kök kanal sisteminin dezenfekte edilmesi ve kök kanalının biyouyumlu materyaller ile koronalden apikale kadar üç boyutlu bir şekilde hermetik olarak doldurulmasını kapsayan bir tedavi şeklidir (13, 14).

Kemomekanik debridman, kök kanal tedavisinin önemli bir parçasıdır çünkü uygun dolum için şekillendirmenin yanı sıra, apikal periodontitis nedeni olan kök kanalının bakteriyel enfeksiyonunu ortadan kaldırmaktadır. Kemomekanik debridman; mekanik debridman kök kanalının enstrümantasyonu ve irrigasyonun mekanik etkileri, kimyasal debridman ise kök kanalının irrigasyon solüsyonları ile yıkanmasıdır. Bu ikisi başarılı bir kök kanal tedavisi için bir bütündür ve birbirinden ayrı düşünülmemelidir. Mekanik ve kimyasal debridman ile bakterilerin yeniden büyümesi için substrat görevi gören bakteri ve ürünleri ve nekrotik dokular kanaldan uzaklaştırılmaktadır (15). Mekanik enstrümantasyon, kök kanalını şekillendirirken aynı zamanda kök kanal dolumu ve irrigantların ve antibakteriyel etkili medikamentlerin bakterileri daha etkili bir şekilde yok etmesine ve bakteriyel yan ürünleri ortadan kaldırmasına izin veren bir alan oluşturur (16).

Mekanik debridmanın hedefleri arasında;

- Kök kanallarından vital ve nekrotik dokunun uzaklaştırılması,
- İrrigasyon solüsyonları ve medikamentler için yeterli boşluk oluşturulması,
- Kanal anatomisinin korunması,
- Kanal sisteminde ve kök yapısında iyatrojenik zarar vermeyi önleme,
- Kolay bir kök kanal dolumu elde etme,
- Periradiküler dokularda irritasyon ve/veya enfeksiyonun önlenmesi,
- Sağlam kök dentininin korunması yer almaktadır (16).

Yapılan mikro-BT (Mikro Bilgisayarlı Tomografi) çalışmalarında mekanik enstrümantasyon ile kök kanalının tamamen temizlenemediği kök kanal yüzeyinin %35 ila 40'ından fazlasının dokunulmadan kaldığı tespit edilmiştir (17–19). Mekanik

enstrümantasyonla dokunulamayan bu alanlara etki etmenin tek yolu irrigasyon yapmaktır. Ayrıca pulpa dokusunun kök kanalından mekanik olarak uzaklaştırılması ve kök kanallarının anatomik forma uygun mekanik şekillendirilmesi sırasında kök dentin duvarlarında smear tabakası olarak adlandırılan ince bir tabaka oluşmaktadır (14). Bu tabaka odontoblastik uzantı, vital ve nekrotik pulpa artıkları, mikroorganizmalar ve yan ürünleri ve dentin talaşlarından oluşan organik ve inorganik maddeler içeren amorf, düzensiz, granüler bir yapıdır (20, 21).

Böyle bir tabakanın varlığı irrigasyon solüsyonlarının, kanal içi medikamentlerin dentin tübüllerine girmesini, kanal patlarının ve kök dolgu materyalinin kanal duvarına adaptasyonunu engelleyerek endodontik tedavinin başarısızlığına yol açabilmektedir (22). Bu nedenle, bu tabakanın endodontik başarıyı artırmak için kök kanal duvarları ve dentin tübüllerinden kök kanal irrigantları yardımıyla uzaklaştırılması gerekmektedir.

2.2 Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyon

İrrigasyon, “vücut boşluğunu veya yarayı, suyla veya ilaçlı bir sıvıyla yıkamak” ve “sıvıları veya gazları bir emme cihazı ile vücuttan çıkarma işlemi” olarak tanımlanmaktadır (23). Endodontide irrigasyonun mekanik, kimyasal ve biyolojik olmak üzere 3 amacı vardır. Mekanik ve kimyasal amaçta; debrisin kök kanalından uzaklaştırılması, kanalın lubrikasyonu, organik ve inorganik dokuların çözünmesi ve enstrümantasyon sırasında smear tabakasının oluşumunun önlenmesi veya oluşuktan sonra bu tabakayı çözmektir. Mekanik etkinlik, irrigasyonun kök kanalı içerisinde akış kuvveti oluşturma yeteneğine ve kanal duvarına iletilmesi ile ilgilidir. Kimyasal etkinlik, antimikrobiyal irrigantın konsantrasyonuna, temas alanına ve irrigant ile enfekte olmuş materyal arasındaki etkileşimin süresine bağlıdır (24). Biyolojik amaç ise kök kanal içindeki mikroorganizmalar üzerindeki antimikrobiyal etki ile ilgilidir.

2.3 Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyonun Faydaları

1. Enstrümantasyon sırasında ve sonrasında mikroorganizmaların, nekrotik ve iltihaplı dokuların ve dentin kalıntılarının kök kanal sisteminden uzaklaştırılmasını kolaylaştırır.
2. Organik debrisi kök kanalından uzaklaştırarak mikroorganizmaların beslenmelerini zorlaştırır, böylece mikroorganizmaların sayı ve türlerinin azalmasına yardımcı olur.
3. Antimikrobiyal etkinlikleri ile birçok mikroorganizmaları öldürür, endotoksinleri inaktive eder.

4. Endodontik enstrümantasyonun erişemediği düzensiz alanların ve lateral kanalların temizlenmesine ve dezenfeksiyonuna katkı sağlar.
5. Kök kanal duvarlarını ıslatır ve kayganlaştırır. Bu sayede kök kanal aletlerinin kanalda daha rahat ilerlemesini sağlar ve kanal aletlerinin kırılma riskini azaltır.
6. Mekanik enstrümantasyon sırasında oluşan sert veya yumuşak debrisin apikal kök kanalında apikalde birikmesini önleyerek apeksin tıkanmasını engeller, mikroorganizmaların periapikal dokulara ekstrüzyonunu önler.
7. Kök kanal aleti ile dentin arasındaki sürtünmeyi azaltır, eğelerin ve dişin ısınmasını engeller, eğelerin kesme etkinliğini artırır.
8. Planktonik ve biyofilm halindeki bakterileri öldürür.
9. Biyofilmin yapısal bütünlüğünü bozar.
10. Smear tabakasını çözerek dentin tübüllerinin tıkanmasını önler, dentin tübüllerinin açığa çıkmasını sağlar (25).

2.4 İdeal İrrigasyon Solüsyonunun Özellikleri

- Periapikal dokuları irrite etmemeli
- Stabil kalabilmeli
- Uzun süreli antimikrobiyal etki göstermeli
- Geniş antimikrobiyal spektruma sahip olmalı
- Etkili germisid ve fungusid özellik göstermeli
- Mikroorganizmaların endotoksinlerini inaktive edebilmeli
- Lubrikant özellik göstermeli, kanal aletlerinin kullanımını kolaylaştırmalı
- Kan, serum ve doku proteinleri varlığında aktif olmalı
- Düşük yüzey gerilimi göstermeli, bu sayede daha akışkan olarak kök kanal sistemine daha iyi penetre olurlar.
- Periapikal doku onarımını engellememeli
- Diş yapısında renklenmelere yol açmamalı
- İmmün sistemde herhangi bir yanıtı neden olmamalı
- Enstrümantasyon sırasında smear tabakasının oluşmasını önlemeli veya tabaka oluşuktan sonra çözebilmeli ve dentin tübüllerini dezenfekte edebilmeli

- Diş çevre dokularına karşı antijenik, toksik veya kanserojen olmamalı
- Dentin dokusunu zayıflatmamalı
- Diğer dental materyallerle olumsuz etkileşime girmemeli, etkisini kaybetmemeli
- Dolgu materyalinin sızdırmazlığını ve kanala bağlanmasını olumsuz etkilememeli
- Düşük maliyetli olmalı
- Uygulaması kolay olmalı
- Raf ömrü uzun olmalı (25–28)

2.5 Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemleri ve Cihazları

Kemomekanik debridman, başarılı bir kök kanal tedavisinin önemli bir parçasıdır. Temel amacı mikroorganizma ve debris kalıntısı içermeyen temiz bir kök kanalı elde etmektir (29) .

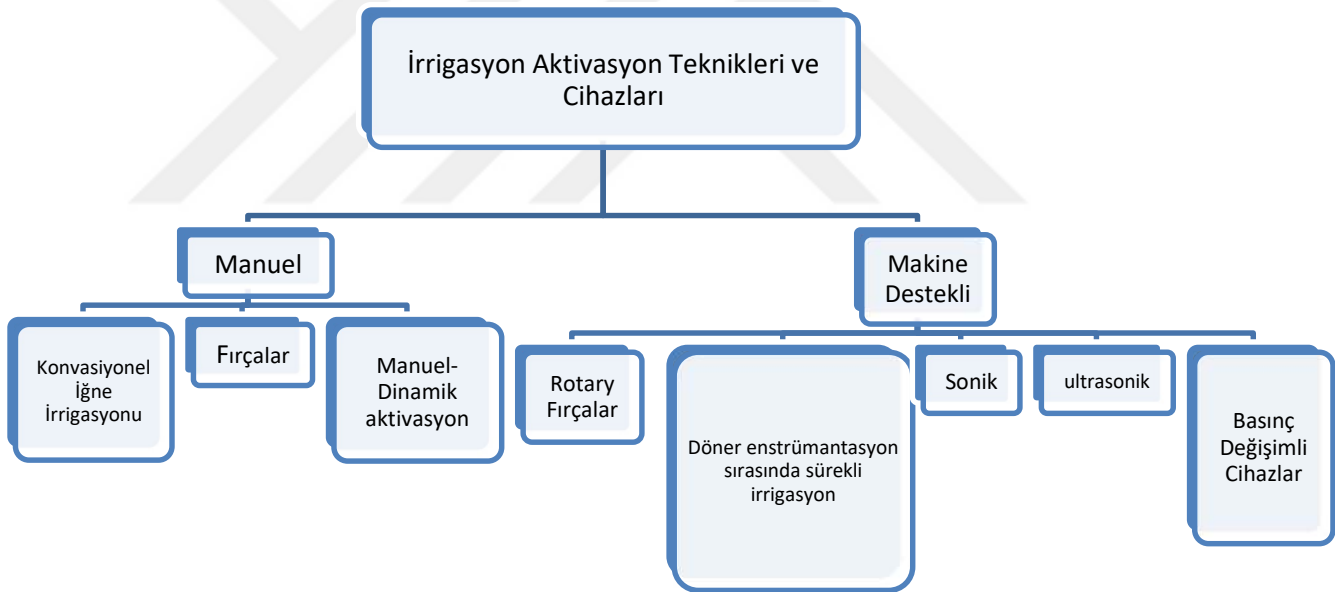
Kök kanal sistemi isthmus, aksesuar kanal, lateral kanal, finler ve deltalar, C- şekilli kanallar ile oldukça karmaşık bir anatomik yapıya sahiptir (30). Bu karmaşık anatomik yapılar endodontik patolojilerin gelişmesine veya sürdürülmesine neden olabilecek dokuları, mikroorganizmaları ve enfekte debrisleri barındırmaktadır (31). Karmaşık anatomi yapı ve biyofilmlerin kompleks bir yapıya sahip olması kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunu zorlaştırmaktadır (32).

Kök kanal aletleri esas olarak ana kanal üzerinde hareket ederler. Bu nedenle, istmusların, girintilerin ve dallanmaların uygun şekilde temizlenmesi ve dezenfeksiyonu çoğunlukla irrigantların etkinliğine bağlıdır (33). Ana kanalda bile, aletlerin kanal duvarlarının tüm alanlarına ulaşamadığı gösterilmiştir (16, 34–37). Yapılan mikro BT çalışmalarında mekanik enstrümantasyon ile kök kanalının tamamen temizlenemediği küçük ve/veya yuvarlak kanallarda, farklı enstrümantasyon sistemlerinin kök kanal yüzey alanının yaklaşık %10 ila %50'sini enstrümansız bıraktığını bildirilmiştir (17, 38–45). Sadece apikal kanal yüzeyi değerlendirildiğinde bu rakamlar daha da yüksek olabilmektedir (38, 40, 41, 46). Oval/düz kanallara gelince, şekillendirmeden sonra kök kanal aleti ile dokunulmamış yüzey alanı miktarının %10 ile %80 arasında değiştiği gösterilmiştir (18, 47–54) . Mekanik enstrümantasyonla dokunulamayan bu alanlara etki etmenin tek yolu irrigasyon yapmaktır.

İrrigasyonun başarılı olabilmesi için tüm kök kanal duvarlarına ve kök kanal sistemindeki karmaşık yapılara temas ve nüfuz etmesi gerekmektedir (28, 55). Günümüzde

irrigasyon solüsyonunun kök kanal sistemi içinde dağıtımını ve verimliliğini artırmak ve aynı zamanda solüsyonlarının kök ucundan taşmasını önleme amacıyla farklı irrigasyon yöntemleri, aktivasyon sistemleri ve cihazları kullanılmaktadır (56, 57).

İrrigant aktivasyonu, bir aletin kök kanal sistemi içine yerleştirilerek irrigant solüsyonunu aktive etme ve solüsyonu resiprokasyon, oskülasyon, ve rotasyon hareketleri ile kök kanalı içinde hareket ettirme işlemidir (58). Aynı zamanda mekanik veya diğer enerji formlarıyla kök kanal sisteminin karmaşıklık yapılarına irrigant solüsyonlarının dağıtımını kolaylaştırmak ve aktive etmek için kullanılan yöntemler olarak da tanımlanabilmektedir (59). Kök kanalı içerisine yerleştirilen irrigant, kök kanalı içinde aktive edilirse, ulaşılması zor olan alanlara ve mekanik olarak dokunulmamış alanlara daha etkili bir şekilde ulaşır (60). Günümüzde kullanılan mevcut irrigant aktivasyon teknik ve cihazları manuel ve makine destekli olmak üzere 2 ana grupta incelenebilmektedir (61) (Tablo 1).



Tablo 1. Endodontide kullanılabilecek irrigasyon aktivasyon teknikleri ve cihazlarının özeti (61)

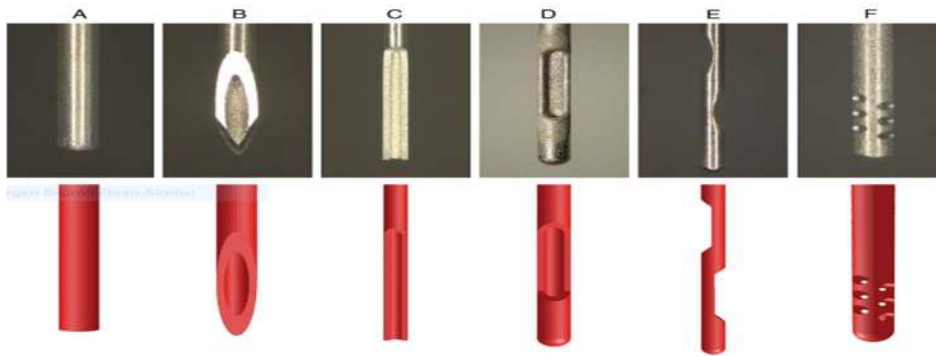
2.5.1 Manuel Aktivasyon Teknikleri

2.5.1.1 Konvansiyonel İğne İrrigasyonu (Konvansiyonel Şırınga)

Konvansiyonel iğne irrigasyonu; irrigasyon solüsyonunun şırınga yardımıyla çekilerek çeşitli gaugelara sahip iğne ve/veya kanüller ile kök kanalına iletilmesi şeklinde

uygulanan bir yöntemdir. İğne veya kanül kök kanal duvarına sıkışmadan pasif olarak yerleştirilmelidir. Bu sayede iğne ve kanal duvarı arasında yeterli boşluk kalarak irrigasyon solüsyonunun geri akışına izin verir ve solüsyonun apikalden taşmasını önleyerek periradiküler dokulara zarar vermesini engeller (62, 63). Konvansiyonel şırınga ile yapılan irrigasyon aktivasyonu, iğne veya kanülün kök kanalı içerisinde ileri- geri hareket ettirilmesi ile yapılmaktadır. İğne veya kanül kök kanalı içerisinde hareket ettirilmez ise pasif şekilde çalışmış olur. Bu manuel aktivasyon tekniği uygulaması kolay, maliyeti düşük ve kök kanalı içindeki iğnenin penetrasyon derinliğinin ve kanal içine verilen solüsyon hacminin kolay kontrol edilebilmesi sayesinde endodontide yaygın olarak kullanılan irrigasyon tekniklerindendir (64).

Konvansiyonel iğne irrigasyonunun etkinliğini etkileyen faktörler arasında iğne/kanül çapı, tasarımı, kök kanalına yerleştirilen iğnenin penetrasyon derinliği ve kök kanal preparasyonun final boyutu yer almaktadır (65, 66). İrrigasyon etkinliğini kolaylaştırmak ve güvenlik risklerini en aza indirmek için son yıllarda iğne ucu tasarımında çeşitli değişiklikler yapılmıştır. İrrigasyonda kullanılan farklı iğne tipleri ve üç boyutlu modelleri Şekil 1’de gösterilmiştir. İrrigasyon iğnelerini tasarımı; apikalden debris, irrigant solüsyonunun taşma sıklığını ve miktarını ve kök kanal dezenfeksiyonunun etkinliğini etkileyebilmektedir.



Şekil 1. Açık uçlu iğneler: A-B-C Kapalı uçlu iğneler; D-E-F

A; düz uçlu **B;** eğimli **C;** çentikli **D;** yandan perforant **E;** çift taraflı perforant **F;** multi-vented (67)

Kökün apikal kısmına irrigant solüsyonunun daha iyi erişim sağlaması ve daha etkili bir temizlik ve dezenfeksiyon sağlaması için daha küçük çaplara sahip 27 veya 30 gauge iğneler önerilmiştir (68). Küçük çaplara sahip irrigasyon iğnelerinin daha büyük çaplı

irrigasyon iğnelerine göre irrigasyon solüsyonunun kök kanalı içinde önemli ölçüde daha iyi yer değiştirdiği bildirilmiştir (69). Ayrıca küçük çaplara sahip iğneler ince ve esnek olma ve keskin olmayan kanal eğimlerini aşabilme gibi ekstra avantajlara sahiptirler ve kök kanal duvarlarına sıkışmadan apikal üçlüye rahatça ulaşabilirler (62). Daha büyük çaplı irrigasyon iğnelerin ise daha hızlı ve daha fazla miktarda irrigasyon solüsyonun akmasına izin vermesine rağmen, kök kanal sisteminin apikal ve dar alanlarının temizlenmesinde yeterli olmadığı söylenmiştir (70).

Yapılan çalışmalarda irrigasyon solüsyonun iğne ucundan en fazla 1-1,5 mm öteye gidebildiğini göstermiştir (7, 71, 72). Yapılan başka bir çalışmada ise irrigasyon solüsyonun iğnenin ucundan yalnızca 0-1.1 mm daha derine nüfuz ettiğini göstermiştir (73). Irrigasyonun etkili olabilmesi için iğnenin çalışma uzunluğuna mümkün olduğunca yakın yerleştirilmesi önerilmiştir (62). Bu durum irrigasyon solüsyonun periapikal alana ekstrüzyon riskini artırabilmektedir. Bu sebeple ekstrüzyon ve doku hasarı riskini en aza indirmek için ucu kapalı, yan taraftan açılan irrigasyon iğneleri geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar açık uçlu iğnelerin, kapalı ve yan taraftan açılan iğnelere göre daha fazla debris ve solüsyon ekstrüzyonuna neden olduğu gösterilmiştir (74–77). Yan taraftan açılan iğnelerin açık uçlu iğnelere göre irrigasyonda daha güvenilir olduğu söylenebilir (78). Kapalı uçlu ve tek taraftan açılan irrigasyon iğnesi, irrigasyon için en güvenli iğne tasarımı olarak kabul edilmektedir. (28, 67, 79, 80).

Irrigasyon için genellikle farklı boyutlarda (1–20 mL) plastik şırıngalar kullanılmaktadır (Resim 1). Büyük hacimli şırıngalar biraz daha fazla zaman tasarrufu sağlasa da basıncı kontrol etmek daha zordur ve kazalar meydana gelebilir. Bu nedenle, güvenliği ve kontrolü en üst düzeye çıkarmak için, büyük hacimli olanlar yerine 1 ila 5 mL'lik şırıngaların kullanılması önerilmektedir. Endodontik irrigasyon için tüm şırıngalar Luer-Lok tasarımına sahip olmalıdır. Irrigasyon solüsyonları arasında oluşan olası kimyasal reaksiyonlar nedeniyle, her solüsyon için ayrı şırıngalar kullanılması tavsiye edilmektedir (81).



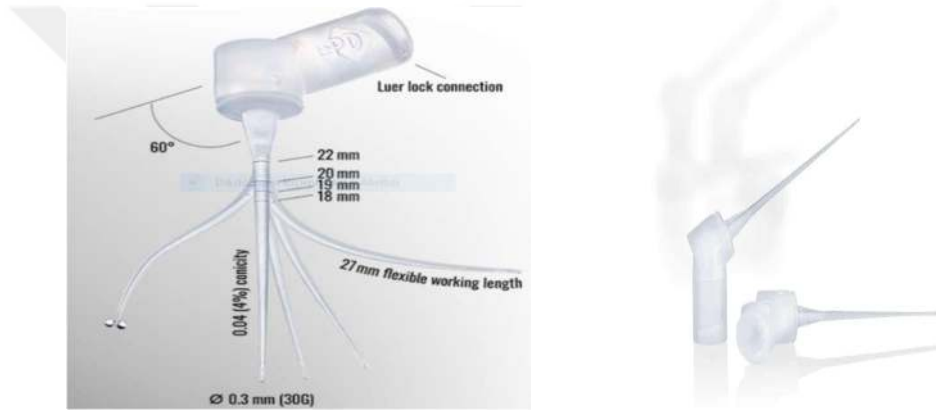
Resim 1. İrrigasyon için kullanılan farklı hacimlerdeki Luer-Lock tasarımlı plastik şırıngalar (81)

Konvansiyonel iğne irrigasyonu yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmasına karşın birtakım dezavantajlara sahiptir. Kök kanal sistemindeki erişilemeyen kök kanalları ve düzensiz alanların, iğnenin çapı ve sertliği, kök kanallarındaki eğrilikler konvansiyonel iğne irrigasyonu ile elde edilen mekanik yıkama etkisinin yetersiz olmasına sebep olmuştur (62, 68, 82–84).

Endodontik tedavinin en zorlu yönü, kök kanalının apikal üçte birlik kısmının dezenfeksiyonudur (85). Yapılan çalışmalar konvansiyonel iğne irrigasyonunun kök kanallarının koronal kısımlarını temizlemede etkili olabileceğini, ancak kanalların apikal kısımlarında irrigasyon solüsyonunun etkinliğinin, smear tabakası ve debrisin giderilmesinde çok daha az etkili olabileceğini göstermiştir (61, 86, 87). Bu sebeple konvansiyonel iğne irrigasyonundan sonra, erişilemeyen kök kanal uzantıları ve kök kanalındaki düzensiz yapıların debris ve bakteri barındırması muhtemeldir (83). Ayrıca konvansiyonel iğne irrigasyonu, kök kanalının apikal kısmında irrigant solüsyonunun difüzyonunu ve debridman etkinliğini engelleyen hava kabarcığının oluşması ile sonuçlanan vapor lock etkisinin oluşmasına sebep olabilmektedir (88).

Konvansiyonel şırınga ile yapılan iğne irrigasyonunda iğnenin sertliği ve çapı, kök kanallarındaki kurvatürler kök kanal irrigasyonunu zorlaştırmaktadır. Dar ve kurvatürlü kök kanallarında, bu kurvatürleri aşip irrigasyonun maksimumu etkinli göstermesi için 30 gauge esnek bir iğne kullanılması önerilmiştir (62). Son zamanlarda, gelişmiş kök kanal irrigasyonu için yenilikçi bir kanül tasarımı olan IrriFlex® (Produits Dentaires SA, Switzerland) piyasaya sunulmuştur. Luer lock enjektörlere kolayca takılabilen, 30 gauge, %4 taper ve 27 mm çalışma uzunluğuna sahip olan bu plastik kanül Şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir. IrriFlex®,

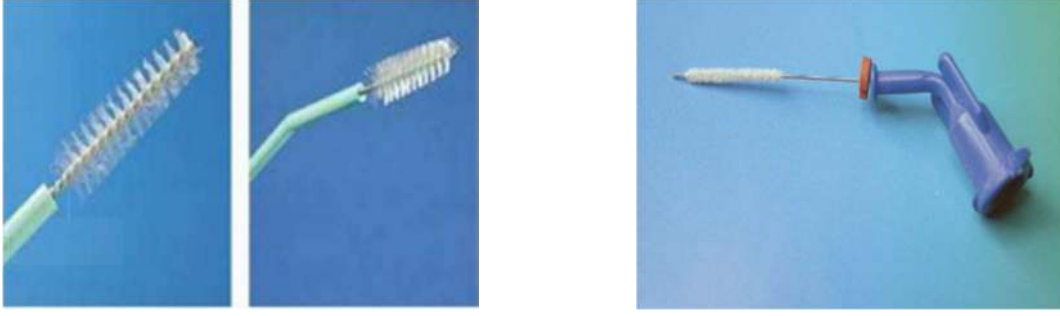
kapalı uçlu ve uç kısmında tek bir düzlemde bulunan iki yan deliğe sahiptir (89). Bu özellik irrigasyon solüsyonunun kök kanalına daha dengeli verilmesini sağlamaktadır. Konvansiyonel metal iğnelerin aksine, IrriFlex® her kök kanal anatomisine kolayca adapte olabilen yumuşak bir polipropilen gövdeden yapılmıştır. Kanülün konik şekli kök kanalının şeklini takip eder. Polipropilen gövdenin esnekliği, dentin duvarlarına direnç veya hasar vermeden kök kanalının apikal üçlüsüne kolayca erişilmesini sağlamaktadır. Bu sayede apikal kısımdaki debris, smear tabakası ve biofilmin çıkarılmasını sağlayarak kök kanalının debridmanın ve dezenfeksiyonunu iyileştirmektedir.



Şekil 2 ve 3. IrriFlex® (Produits Dentaires SA, Switzerland) (90)

2.5.1.2 Fırçalar

Kök kanalı içerisine gönderilen irrigasyon solüsyonunun etkinliğini artırmak ve kök kanalından smear tabakasının mekanik olarak uzaklaştırılmasına yardımcı olmak için manuel olarak kullanılan endodontik fırçalar üretilmiştir. Fırçanın kılları, kök kanal enstrümentsyonu ile ulaşılamayan ve kanal içindeki düzensiz alanların temizlenmesine yardımcı olurlar. Örnekler arasında Endobrush (C&S Micro-Instruments Ltd, Ontario, Kanada) (Resim 2) ve NaviTip FX (Ultradent Products Inc, South Jordan, UT) bulunmaktadır (Resim 3).



Resim 2. Endobrush (C&S Micro-Instruments Ltd, Ontario, Canada) **Resim 3.** NaviTip FX (Ultradent Products Inc, South Jordan, UT) (91)

Endobrush, spiral bir tel etrafına yerleştirilmiş naylon kıllardan oluşan, el ile tutulan plastik bir sapa sahip ve kök kanalındaki kalıntıları gidermek için tasarlanmış, endodontik boyutta spiral bir fırçadır. Fırçanın esnek olması ve fırça kıllarının kanal içindeki düzensizliklere erişerek kök kanal debridmanına yardımcı olduğu düşünülmektedir. Keir ve ark. fırçanın açılı olmasının, fırçalama esnasında daha fazla fırça kıllarının kanal duvarına temas etmesine olanak sağladığını ve yumuşak kauçuk bir sap yerine sert plastik saplı fırçanın kullanılmasının dokunma hissinin arttıracağını aynı zamanda yaptıkları bir çalışmada Endobrush ile enstrümantasyonun, kök kanal debridmanında tek başına yapılan enstrümantasyondan önemli ölçüde daha iyi olduğunun sonucuna varmışlardır (92). Fırçanın boyutu sebebiyle çalışma boyuna ulaşamaması, bu sebeple de debrisin apikal alanda birikmesine sebep olması Endobrush'ın dezavantajıdır (92).

Fırçalar irrigasyon solüsyonunun kök kanal sistemine gönderilmesinde dolaylı olarak da yer alırlar. Fırça ile kaplı 30 gauge irrigasyon iğnesi olan NaviTip FX irrigasyon iğnesi, kanal duvarlarının aktif fırçalanması ile mekanik debridmanı artırmak ve irrigasyon solüsyonunun kimyasal etkisini artırmak için aktive edilmesine yardımcı olmak için tasarlanmışlardır (93). Yapılan bir çalışmada aynı teknik kullanılarak, NaviTip (fırçasız) iğne ile irriye edilen kanal duvarlarına kıyasla NaviTip FX iğnesi ile irriye edilen kök kanal duvarlarının koronal üçlüde debridmanın daha iyi olduğunu göstermiş, orta üçlü ve apikal kısımlarında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (91). Fırça kılları ile kanal düzensizlikleri arasında oluşan sürtünmeden dolayı kopan fırça kıllarının radyolüsent olması ve cerrahi mikroskop ile görülememesi NaviTip FX iğnesinin dezavantajıdır (61).

2.5.1.3 Manuel Dinamik Aktivasyon

Manuel dinamik aktivasyon (MDA); şekillendirmesi tamamlanmış kök kanalına yerleştirilen ana kon ile uyumlu yüksek açılı bir gütaperkanın (Şekil 4), kök kanalında irrigasyon solüsyonu varken ileri geri hareket ettirilmesi işlemidir. 30 saniyede 100 vuruş gibi 2-3 mm'lik kısa ve hafif vuruşlarla uygulanan gütaperka konu irrigant solüsyonunu aktive etmiş olur (58). Bu kon, çalışma uzunluğuna yerleştirildiğinde, irrigasyon solüsyonu dışarıya doğru yer değiştirirken, gütaperka kanaldan çıkarıldığında, irrigasyon solüsyonunun içeri doğru yer değiştirmesine izin vererek hidrodinamik bir etki oluşmasını sağlamaktadır (94).



Şekil 4. Farklı boyutlara sahip açılı gütaperkalar (Protaper Universal Dentsply-Maillefer)

MDA tekniğinin uygulanışı basit ve kolaydır, aynı zamanda ayrı özel bir ekipman gerektirmediğinden maliyeti uygun bir tekniktir (95). Bu tekniğin kök kanalının apikalinde (0-2 mm) oluşan hava kabarcığını yok ederek vapor lock etkisini önlemede faydalı olduğu, böylece irrigasyon solüsyonunun apikal alana difüzyonunu kolaylaştırdığı ve dezenfeksiyon etkinliğinin artmasında etkili olduğu söylenmiştir (61).

Yapılan bir çalışmada eğimli kanalların apikal üçte birlik kısmında MDA tekniğinin konvansiyonel iğne irrigasyonu ile karşılaştırıldığında smear tabakasının çıkarılmasında daha etkili olduğu bulunmuştur (94). Bunun sebebinin MDA'nın irrigasyon solüsyonunun gütaperka konu boyunca apikal ve koronal yönde akışına izin vermesi gösterilmiştir (96). Yapılan bir başka çalışmada da yine eğimli kök kanallarının apikal kısmında otomatik-dinamik bir irrigasyon sistemi olan RinsEndo ve konvansiyonel iğne irrigasyon sistemine göre daha etkili olduğu bulunmuştur (97).

- Gütaperkanın kök kanalı içerisinde ileri geri hareket ettirilmesinin kanal içi basıncı arttırarak irrigasyon solüsyonunun kök kanallarında ulaşamayan alanlara daha iyi iletilmesini sağlaması,

- MDA ile oluşturulan frekansın (3.3Hz) RinsEndo cihazı ile oluşturulan frekanstan (1,6 Hz) daha fazla olması ve RinsEndo'dan daha fazla türbülans oluşturması,
- Güta-perkanın ileri geri hareketi ile vizkositesi fazla olan solüsyonunun vizkositesini azaltarak, solüsyonun fiziksel olarak kanal içinde yer değiştirmesi ve daha iyi yayılmasını sağlaması,
- Reaksiyona girmiş solüsyonun, reaksiyona girmemiş solüsyon ile yer değiştirmesini sağlaması olarak düşünülmüştür (61).

MDA tekniği, basit ve maliyeti düşük olsa da bazı klinisyenler tarafından zahmetli sayılmıştır. Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda MDA tekniğinin ultrasonik ve sonik aktivasyon tekniklerine göre daha fazla irrigant ekstrüze ettiği, bu sebeple de postoperatif dönemde daha fazla ağrıya sebep olduğu saptanmıştır (98, 99).

2.5.2.1 Rotary Fırçalar

Kök kanal enstrümantasyonundan sonra kalan debris ve smear tabakasını uzaklaştırarak kök kanal debridmanını artırmak amacıyla rotary başlıklar ile kullanılan endodontik mikrofırçalardır. RuddleBrush (Ruddle 2001) ve CanalBrush (Colte'ne Whaledent GmbH + Co. KG, Langenau, Germany) bu amaçla üretilen rotary fırçalardır.

RuddleBrush, ilk kez 2001 yılında Ruddle tarafından kullanılan bir mikrofırça olduğu için bu ismi almıştır. Fırça içeren kısım koniktir, radyal olarak uzanan çok sayıda kıl içermektedir ve yaklaşık 16 mm uzunluğundadır. Manuel veya sonik/ultrasonik aletler ile kullanılabilir. 300 rpm hızla çalışan fırça kolları, kök kanal sistemindeki debrislerin koronal kısma doğru uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır (100). RuddleBrush, günümüzde ticari olarak bulunmamaktadır.

CanalBrush (Resim 4); polipropilenden yapılmış oldukça esnek yapıda bir endodontik mikrofırçadır. Kök kanal şekillendirmesini takiben, irrigasyon solüsyonuyla beraber kullanılan CanalBrush'ın; kök kanalında kalan debris ve smear tabakasını uzaklaştırılmasına ve kök kanal aletlerinin ulaşamadığı alanların temizlenmesine yardımcı olduğu düşünülmektedir. CanalBrush, döner hareketler ile manuel olarak da kullanılabilir. Ancak üretici tarafından maksimum 600 rpm'de bir anguldruva ile kullanılmasının daha verimli olduğu tavsiye edilmiştir (61).

Fırçanın mekanik özellikleri ve boyutsal özellikleri standartlaştırılmıştır (101). ISO sınıflandırmasına göre sırasıyla 20/ .02, 25/ .02, 30 / .02 (S, M, L) olmak üzere üç boyutta

mevcuttur. CanalBrush kullanımı için üretici tarafından tavsiye edilen minimum kanal preparasyon boyutu S boyutu için 25 / .04, M boyutu için 30 / .04, L boyutu için 35 / .04'tür (102).



Resim 4. CanalBrush (Colte'ne Whaledent GmbH + Co. KG, Langenau, Germany)(103)

CanalBrush'un toplam uzunluğu 41 mm, aktif çalışan fırça kıllarını içeren kısım ise 16mm'dir. Fırça kılları uç kısmının 1 mm gerisinden başlar. 0,3-0,5 mm uzunluğundaki fırça kılları 30 tanedir, fırça kılları arasındaki mesafe 0,5 mm'dir ve birbirlerine göre zıt yönde dizayn edilmiştir. Fırça uç kısmına doğru daralan %2'lik bir tapera sahiptir (104).

CanalBrush ile ilgili yapılan çalışmaların sonuçları farklılık göstermekte ve rotary kanal fırçasının kullanımı için net avantajlar gösterememiştir. Garip ve ark. yaptığı bir çalışmada canal Brush ile daha temiz kanallar elde edilmesine rağmen, smear tabakasını kaldırmada istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Aynı zamanda CanalBrush'ın kök kanal yüzeyi ile daha iyi temas halinde olduğu kök kanalının daha dar kısımlarında (orta ve apikal üçlüde) koronal bölgeye göre daha temiz alanların elde edildiğini söylemişlerdir (103).

Salman ve ark. yapmış olduğu bir çalışmada %17 EDTA (Etilen Diamin Tetra Asetik) ile CanalBrush fırçasının sonik aktivasyonunun, özellikle kök kanalının apikal üçlüsünde kök kanal debridmanını iyileştirdiğini bildirmişlerdir (104). Başka bir çalışmada, CanalBrush kök kanallarının apikal ve orta üçte birlik kısımlarında smear tabakası skorunu iyileştirmemiş, ancak koronal kısımdaki smear tabakası puanını iyileştirmiştir (87).

Kök kanallarından kalsiyum hidroksit uzaklaştırmak için yapılan bir çalışmada CanalBrush kullanımının, tek başına yapılan irrigasyona göre daha başarılı olduğunu

bildirmişlerdir (105). Kök kanallarından kanal patını uzaklaştırmak için yapılan bir çalışmada CanalBrush'ın kanal duvarlarını ve yanal olukları temizlemede başarılı bulunmamıştır (106). Ayrıca CanalBrush ile yapılan 2 farklı çalışmada fırçanın kullanımı sırasında deforme olduğu bildirilmiştir (102, 106).

2.5.2.2 Döner Enstrümantasyon Sırasında Sürekli İrrigasyon

Quantec-E-irrigasyon Sistemi (SybronEndo, Orange, CA) ve Self-Adjusting File sistemi (SAF; ReDent-Nova, Israel) kök kanalını şekillendirirken aynı zamanda kök kanal irrigasyonu sağlayan sistemlerdir.

Quantec-E-irrigasyon Sistemi (SybronEndo, Orange, CA) (Resim 5) ; SybronEndo şirketi tarafından tanıtılmış, Quantec-E Endo cihazına bağlı, kendi kendine yeten bir irrigant dağıtım ünitesidir (107). Döner enstrümantasyon sırasında sürekli irrigasyon sağlamak için bir pompa konsolu, 2 irrigasyon rezervuarı ve tüp içermektedir (108). Quantec-E irrigasyon sisteminin, konvansiyonel şırınga irrigasyonu ile karşılaştırıldığı bir çalışmada, Quantec-E sisteminin konvansiyonel şırınga irrigasyonuna göre kök kanalının koronal üçte birlik kısmında daha temiz kanal duvarları ve daha az smear tabakası saptanmış ancak orta ve apikal üçte birde bir farklılık gözlenmemiştir (108). Başka bir çalışmada ise kök kanal debridmanının etkinliği açısından bir fark bulunmamış, Quantec-E-irrigasyon Sisteminin; konvansiyonel iğne irrigasyonuna göre daha fazla irrigant hacmi ve akış hızı sağlayarak daha fazla irrigant değişimine izin verdiği, daha hızlı ve kullanışlı olduğu söylenmiştir (109).



Resim 5. Quantec-E-irrigasyon Sistemi (SybronEndo, Orange, CA)

Self-Adjusting File (SAF; ReDent-Nova, Israel) sistemi tasarım ve çalışma şekli bakımından oldukça farklı bir sistemdir (Şekil 5). SAF, 120 µm kalınlığındaki nikel-

titanyum kafesten oluşan, 1.5 veya 2.0 mm çapında sıkıştırılabilir, ince duvarlı, sivri uçlu bir silindir olarak tasarlanmış, esnek içi boş bir eğdir (110). Kök kanalına yerleştirildiğinde hem uzunlamasına hem de enine kesit boyunca kanalın şekline uyarak kök kanalının üç boyutlu şeklini alırlar. SAF'ın kafes tasarımı, irrigasyon solüsyonunun içi boş eğe boyunca sürekli akmasına izin verir. İrrigantın sürekli akışıyla kanalda her zaman sürekli yeni irrigantın bulunması sağlar. Eğenin metal kafesinin irrigant içindeki titreşimi kök kanal debridmanını kolaylaştırmaktadır (110).



Şekil 5. Self-Adjusting File (SAF; ReDent-Nova, Israil) ve kafes yapısı (110)

Metal ağ, irrigasyon solüsyonunun koronal bölgeye doğru geri akışına izin verdiği için SAF kök kanalı içinde basınç oluşturmaz (111). Apeksi açık olan dişlerin üzerinde yapılan bir çalışmada SAF'ın apikal foramenden solüsyon taşımadığı sonucuna varılmıştır (111). SAF'ın smear değerlendirmesi için yapılan çalışmalarda örneklerin çoğunda debris içermeyen ve smear tabakasından neredeyse tamamen arınmış kök kanalları ile sonuçlanmıştır (112). Öte yandan yapılan testler sonucu SAF'ın yüksek mekanik dayanıklılığa sahip olduğu ortaya konmuştur (111). SAF, diğer nikel-titanyum aletler gibi bir çekirdeğe sahip değildir. Ona uygulanan herhangi bir gerilim, hassas parçalarının çoğuna dağıtılmaktadır (111). Yapısal bozulma meydana geldiğinde, kafes yapısındaki bozulmalar ve kopmalar ile sınırlıdır, diğer nikel-titanyum eğelerde karşılaşılan ayrılma tipinde bir kırılma söz konusu değildir (111).

Kök kanallarında bakteriyel eliminasyon üzerinde üç irrigasyon aktivasyon sisteminin etkinliğinin karşılaştırıldığı bir çalışmada; SAF'ın EndoVac sistemine göre E. Faecalis'in eliminasyonunda önemli ölçüde daha etkili olduğu ve NaOCl'nin (Sodyum Hipoklorit) 2 dakika süreyle SAF ile aktivasyonunun etkili bir alternatif yaklaşım olarak kabul edilebileceği bildirilmiştir (113).

SAF sistemi ile ilgili yapılan çalışmalarda oval/düz kanalların geleneksel döner aletlere göre daha iyi temizleme, şekillendirilme ve dezenfekte edilmesini teşvik ettiği görülmektedir (49, 93, 114, 115) Ayrıca SAF'ın oval kanallarda daha az el değmemiş alanın bıraktığı (% 6-35) gösterilmiştir (39, 49, 51, 112, 116). Farklı enstrümantasyon sistemlerinin temizleme ve şekillendirme sırasında apikal debris ve irrigant ekstrüzyonun değerlendirildiği bir çalışmada, tüm sistemlerin debris ve irrigant ekstrüzyonuna neden olduğu, en düşük irrigant ekstrüzyonun SAF grubuna ait olduğu saptanmıştır(117).

2.5.2.3 Ultrasonik İrrigasyon

Ultrason, insan kulağının işitebileceği en yüksek frekanstan (2 kHz) daha yüksek frekanslara sahip ses dalgasıdır (118). Ultrasonik cihazların Endodontik olarak kullanımı ilk olarak 1957 yılında Richman tarafından gerçekleştirilmiştir (119). Frekansları sonik cihazlardan daha yüksek olup 25-30 kHz arasındadır.

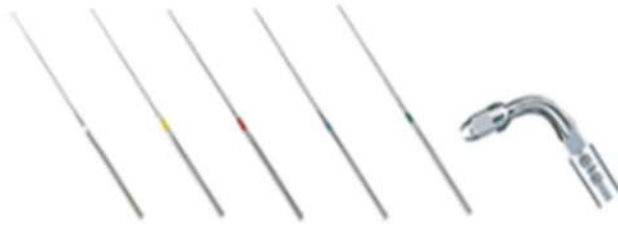
Kök kanal irrigasyonunda; ultrasonik irrigasyon (UI) ve pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) olmak üzere 2 farklı tipi vardır (60).

1-Ultrasonik irrigasyon (UI) (Şekil 6): Ultrasonik enstrümantasyon ile eş zamanlı kök kanal irrigasyonu yapan sistemdir. UI sırasında, kök kanal enstrümanı kök kanal duvarı ile temas ettirilerek aktif olarak kullanılır. Bu durum kök kanal morfolojisini bozma, zarar verme, kontrolsüz dentin duvarının kesimi, perforasyon gibi istenmeyen durumlara sebep olabilmektedir (120, 121). Bu sebeplerden dolayı günümüzde irrigasyon solüsyonunun UI ile aktivasyonu terk edilmiş, PUI aktivasyonu önerilmiştir (122). Ayrıca kök kanal sisteminden debris ve smear tabakasının uzaklaştırılmasının PUI'nin UI'ye göre daha başarılı olduğu bulunmuştur (123, 124).



Şekil 6. Ultrasonik irrigasyon ucu (pro ultra endo tips titanium, satalec, dentsply maillefer)

2- Pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) (Şekil 7): İlk olarak 1980 yılında Weller ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır (123). Kök kanal duvarı ile temas etmediği için pasif ultrasonik irrigasyon olarak adlandırılmıştır. Kök kanalı şekillendirilmesi bitirildikten sonra kök kanalında irrigasyon solüsyonu ile dolu iken aktive edilmektedir. Akustik enerjinin salınımlı bir eğe veya düz bir tel vasıtasıyla kök kanalındaki irrigasyon solüsyonuna iletilmesine dayanmaktadır (60).



Şekil 7. Posterior dişler için çeşitli ultrasonik uçlar (U file, Endo kit E 12, NSK, Japan)

PUI; en yaygın kullanılan irrigant aktivasyon yöntemleri arasında yer almaktadır (125). PUI'nin esas etkinliği kök kanalındaki irrigant solüsyonu üzerindeki iki fiziksel etkisi olan kavitasyon ve mikro-akustik akımdır (126). Yapılan çeşitli çalışmalarda PUI'nin kök kanalındaki pulpa dokusu, debris ve planktonik bakterileri uzaklaştırmada konvansiyonel iğne irrigasyonuna göre daha başarılı bulunmuştur (127–129).

Ultrasonikler irrigasyon aktivasyonunda genel olarak başarılı olmalarının yanında birkaç dezavantaja sahiptirler. Ultrasonik sistemlerde salınım yapan alet kök kanal duvarı ile temas ettiğinde enerjiyi azaltır ve bu da eğelerin hareketlerini sınırlandırır (130). Bu yüzden eğimli kök kanallarına sahip dişlerde serbestçe salınım yapamazlar (9).

Ayrıca eğimli kök kanallarının irrigasyonunda kök kanal morfolojisinde değişikliklere yol açabilir, kök kanal duvarlarına zarar verebilirler (131). Ultrasonik aktivasyonun neden olduğu zararlı etkilerden kaçınmak için, irrigasyon solüsyonunun kök kanal duvarlarına zarar vermeyen sonik sistemler ile aktive edilmesi önerilmiştir (9).

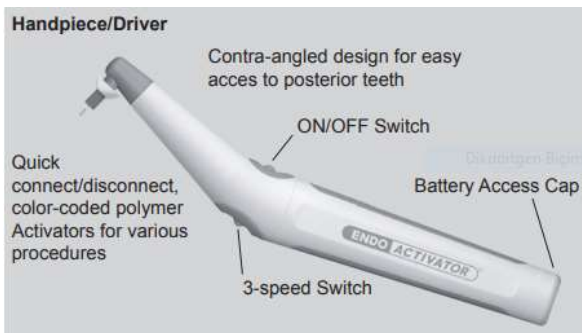
2.5.2.4 Sonik İrrigasyon Sistemleri (SI)

Endodontide sonik sistemler ilk olarak 1985 yılında Tronstad ve ark. tarafından kullanılmıştır (132). Sonik cihazların frekansları 1500-6000 Hz arasında değişmektedir ve frekansları ultrasonik cihazlardan (25000-30.000Hz) daha düşüktür (130). Ayrıca SI,

ultrasonik sistemlere göre daha küçük kesme gerilimi oluşturmaktadır (124). Ultrasonik sistemlerin kök kanalında göstermiş olduğu hasarları göstermezler (60). Sonik enerji önemli ölçüde daha yüksek salınım ve ileri-geri uç hareketi üretir ve oskülasyon hareketleri ultrasonik cihazlardan farklılık göstermektedir (61). Sonik aktivasyon sistemleri hızlı ve pratik olmaları sebebiyle klinikte sıklıkla tercih edilirler. Günümüzde MM 1500, EndoActivator, Vibringe, EDDY gibi çeşitli sonik aktivasyon sistemleri bulunmaktadır.

EndoActivator (DentsplyMaillefer, Ballaigues, Switzerland) (Şekil 8) frekansı 33–167 Hz olan, taşınabilen, pil ile çalışan, kök dentinini kesmeyen, tek kullanımlık 3 farklı boyutta (sarı 15/.02, kırmızı 25/.04, mavi 35/.04) esnek polimer uçlara sahip bir sonik aktivasyon sistemidir. Poliamid uç kullanmanın amacı; irrigasyon solüsyonunu aktive etmek, kök kanal dentininin zarar görmesini engellemek ve apikal daralımın korunmasını sağlamaktır (9). Esnek polimer uçlar kök dentinini kesmez. Bu sayede yeni smear tabakası oluşumunu engeller (133, 134). Ancak uçlarının radyolüsent olması bir dezavantajdır. Kök kanal şekillendirilmesi ve irrigasyonu tamamlandıktan sonra kök kanalında irrigasyon solüsyonu varken 30–60 saniye boyunca 10.000 döngü / dk'da etkinleştirilmesi önerilmektedir (135).

Mandibular 1. Molar dişlerinin kök kanallarının apikal üçte birlik kısmındaki dentin smear tabakasının çıkarılmasında beş farklı irrigasyon tekniği etkinliğinin karşılaştırıldığı bir çalışmada SI, PUI ve Negatif apikal basınçtan (NAP) daha başarılı olduğu bulunmuştur (136). Yapılan birkaç çalışmada da SI'nın smear tabakasını PUI'ye göre uzaklaştırmada daha etkili olduğunu bulunmuştur (137–139). Bu durumun nedeninin; sonik aktivasyon sırasında pulpa odasında oluşan yüksek sıvı ajitasyonu ve sonik ucun kısa ve dikey vuruşlarla ileri geri hareket ettirilmesiyle oluşan titreşimlerin hidrodinamik bir etki oluşturması olarak düşünülmüştür (136).



Şekil 8. EndoActivator (DentsplyMaillefer, Ballaigues, Switzerland)

EDDY (VDW, Munich, Germany) (Şekil 9-10); steril, kesici olmayan, 25.04 apikal çaplı, esnek polimer uçlara sahip, hava ünitesine bağlı olarak çalışan son yıllarda tanıtılmış bir sonik aktivasyon sistemidir (140). Esnek poliamid ucun kırılma riski düşüktür, kök kanal duvarına zarar vermez, kök kanal anatomisinin bütünlüğünü korur ve kök kanal eğimlerini rahatlıkla dönebilir. EDDY sonik uç diğer sonik cihazlardan daha yüksek bir frekansta (6000 Hz) çalışmaktadır (140–144). Üretilen titreşim, yüksek genlikli oskülasyon hareketi sayesinde poliamid uca aktarılır (142–144). Üreticiye göre bu üç boyutlu hareket ile pasif ultrasonik irrigasyon gibi kavitasyon ve akustik akım ürettiği iddia edilmiştir (142, 143).

Yapay kök kanallarındaki düzensizliklerden debris çıkarılması amacıyla yapılan bir çalışmada sonik ve ultrasonik cihazların karşılaştırılmış ve lateral uzantılardaki debrisin çıkarılmasında EDDY sisteminin daha başarılı olduğu bulunmuştur (142). K. Urban ve ark. debris ve smear tabakasının çıkarılmasında farklı aktivasyon sistemleri etkinliğinin değerlendirilmesi ile ilgili yapmış olduğu çalışmalarında EDDY'yi, PUI'den daha üstün bulmuşlardır (10). Düz ve kavisli kanallarda kök kanal dezenfeksiyonunun antibakteriyel etkinliği ile ilgili yapılan bir çalışmada EDDY'nin PUI ile benzer hatta daha iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir (9).



Şekil 9-10. EDDY sonic irrigasyon aktivasyon ucu (VDW, Munich, Germany) (145)

Basıncı Değiştiren Sistemler

İrrigasyon solüsyonunu kök kanalı boyunca boyuna boyunca iletmek ve iyi bir sıvı akışı elde etmek için basınç değişimli cihazlar geliştirilmiştir (57). Basınç değişimli cihazların çalışma boyunda irrigasyon aktivasyonu yaparken apikal alana irrigantın ve debrisin ekstrüze olma olasılığının düşük olması, kök kanalında hava sıkışmasına neden olmaması

ve irrigasyon solüsyonun apikal üçlüye daha iyi erişebilmesi gibi avantajlara sahiptir (58, 61). EndoVac, RinsEndo, EndoSafe basınç değişimli irrigasyon yapan sistemlerdendir.

Endovac (Discus Dental, Culver City, CA, ABD) (Şekil 11); irrigasyon solüsyonlarını kök kanalının apikal kısmına ve enstrümantasyonla ulaşamayan kısımlara güvenli bir şekilde iletme amacıyla tasarlanmış, 2007 yılında piyasaya sürülen negatif basınç sistemidir (146). EndoVac; pozitif basınç uygulamak yerine, irrigasyon solüsyonunu kök kanal ucuna iletirken aynı zamanda özel emici uçları sayesinde debris ve irrigasyon solüsyonu aspire eder. Bu şekilde apikalden debris ve irrigantın ekstrüzyonu önlenir. Negatif apikal basınç ile çalışan bu sistem, diş ünitesindeki suction kısma takılan bir multiport adaptör ve bu adaptöre takılan; ana dağıtım ucu, makrokanül ve mikrokanül olmak üzere 3 bileşenden oluşan farklı bir sistemdir (58, 135). Ana dağıtım ucu, pulpa odasına sürekli yeni irrigasyon solüsyonunun verilmesini sağlar. Makrokanül; ISO # 55.02 boyutuna sahip bir eğeye eşdeğerdir, mümkün olduğunca çalışma uzunluğuna yakın konumlandırılarak kök kanalının orta üçlü ve koronal üçlüdeki debrislerin giderilmesini sağlamaktadır. ISO 32, .02 denk gelen Mikrokanül ise; kök kanal boşluğunda ve isthmus alanlarında bulunan debris ve smear tabakasını gidermek için tam çalışma uzunluğunda kullanılmaktadır (60, 147).

EndoVac sisteminin yapılan birkaç çalışmada daimi dişlerde debridman etkinliği, smear tabakasının kaldırılması ve antimikrobiyal etkinlik açısından konvansiyonel iğne irrigasyonundan daha üstün olduğu bulunmuştur (148, 149). Ayrıca periapikal alana irrigasyon solüsyonun taşması minimum olduğu için olası bir NaOCl kazası riskini en aza indirmiş olmaktadır (135).



Şekil 11. EndoVac sistemi (Discus Dental, Culver City, CA, USA) (81)

Basınç değişim teknolojisini ile çalışan sistemlerden bir diğeri de RinsEndo (Dürr Dental GmbH & Co KG, Bietigheim-Bissingen, Germany) (Şekil 12) sistemidir. Bu sistem, basınç-emme prensibi ile çalışarak kök kanalında hidrodinamik aktivasyon oluşturmaktadır (150, 151). Verimli bir sıvı değişimi sağlayarak yüksek bir irrigasyon dinamiği sağlar. Titanyum başlık ve bu başlığa takılabilen şırınga ve tek kullanımlık kanüller ve kanüllerde referansı sağlayan ve aynı zamanda irrigasyon solüsyonunun sıçramasını engelleyen koruyuculardan oluşmaktadır. 1,6 Hz frekansında çalışan RinsEndo cihazının sıvı iletme hızı dakikada 6.2 ml'dir (95).

Tedavi ünitesine bağlı, ayak pedalı ile etkinleştirilen başlık, basınçlı fazda 65ml'lik irrigasyon solüsyonunu bu başlığa takılı olan şırıngadan otomatik çeker ve kök kanalına enjekte eder. Sonrasında verilen irrigasyon solüsyonu otomatik olarak geri çekilir. Bu basınç-emme döngüsü dakikada 100 kez gerçekleşmektedir (61). Kanül ince ve esnek bir yapıya sahiptir. Tasarımı, verimli bir sıvı değişimine izin verir ve esnekliği sayesinde kök kanal apeksine kolayca erişilebilmektedir. İlk 7 mmlik uç kısmı yarı açıktır, bu açıklık irrigasyon solüsyonun serbestçe akmasını kolaylaştırmaktadır (151).

Irrigasyon etkinliğinin değerlendirilmesi için yapılan bir çalışmada V.Haus ve ark. RinsEndo'nun irrigasyon solüsyonunun dentin tübüllerine olan nüfusun konvansiyonel iğne irrigasyonundan daha başarılı olduğunu ancak apikal ekstrüzyon riskinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir (152). McGill ve ark. yapmış olduğu bir çalışmada biofilm tabakasının çıkarılmasında RinsEndo, MDA ve konvansiyonel iğne irrigasyonunu karşılaştırmışlar ve RinsEndo'nun konvansiyonel iğne irrigasyonundan daha başarılı olduğunu fakat MDA'ya göre ise daha az başarılı olduğunu bulmuşlardır (95).



Şekil 12. RinsEndo Sistemi (Co. Duerr-Dental, Bittigheim-Bissingen, Germany) (153)

2. 6. Apikal Debris Ekstrüzyonu

Kök kanal sisteminin kemomekanik preparasyonu endodontik tedavinin önemli bir parçasıdır. Bu prosedürde, irrigasyon solüsyonları pulpa dokusu, dentin talaşları, mikroorganizmalar ve yan ürünlerini kök kanal sisteminden uzaklaştırmak için kullanılır ve en az kök kanal enstrümantasyonu kadar önemlidir (135). Bu aşamada periapikal dokulara debris ekstrüzyonu meydana gelebilmektedir. Ekstrüze debris, mikroorganizmalar ve yan ürünleri, pulpa dokusu artıkları, dentin talaşları ve irrigasyon solüsyonunu içerebilmektedir (154). Apikal debris ekstrüzyonu periapikal inflamasyon, postoperatif ağrı, periapikal iyileşmede gecikmeler ve uzun süreli başarısızlık ile ilişkilendirilmiştir (3, 5).

Kanal tedavisini takiben birkaç saat ve/veya birkaç gün içinde ortaya çıkan şiddetli ağrı ve/veya şişlik olarak gelişen tablo flare-up olarak ifade edilmektedir (155). Yapılan araştırmalar sonucunda flare-up görülme sıklığının % 1.4 ile 16 arasında olduğu bildirilmiştir (156–159). Endodontide daimi dişlerin kök kanal enstrümantasyonu sırasında enfekte materyalin apikal foramenden taşıtığının kanıtlanması ilk kez 1968 yılında Chapman ve ark. tarafından gerçekleştirilmiştir (160). Van de Visse & Brilliant 1975 yılında yapmış oldukları çalışmalarında kök kanallarında irrigasyon solüsyonunun debris ekstrüzyon miktarı üzerine etkisini araştırmışlar ve irrigant solüsyonu mevcudiyetinde toplanabilir apikal debris ekstrüzyonu ürettiğini, irrigasyon solüsyonu olmadan yapılan enstrümantasyonun toplanabilir apikal debris ekstrüzyon üretmediğini bulmuşlardır. Böylece irrigant solüsyonu olmadan kök kanal sistemini temizlemenin imkânsız olduğu sonucuna varmışlardır (161). Apikal debris ekstrüzyonu 1985 yılında Seltzer & Naidorf tarafından ‘worm’ of necrotic (nekrotik debris yumağı) olarak adlandırılmıştır (5).

Günümüzde, kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunu iyileştirmek için farklı irrigasyon teknikleri ve cihazları gelişmesine rağmen apikal debris ekstrüzyonu kök kanal tedavisinde hala zorluk teşkil etmektedir (6, 162). Periapikal bölgeye ekstrüze olan debris miktarı bazı faktörlere göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu faktörler arasında kanal tipi, apikal foramen çapı, kök kanal şekillendirme teknikleri, irrigasyon tekniği ve kullanılan irrigasyon solüsyonu yer almaktadır. Bununla birlikte, günümüzde henüz apikale ekstrüze olan debris engelleyen ideal bir teknik bulunmamaktadır (163, 164). Kök kanal tedavisinde hastada ortaya çıkan postoperatif reaksiyonları en aza indirmek ve başarılı bir endodontik tedavi için apikal debris ekstrüzyonunu en aza indirmek büyük önem taşımaktadır.

2.7 Apikal Debris Ekstrüzyon Miktarını Etkileyen Faktörler

2.7.1 Apikal Çap ve Patensi

Kök kanal preparasyonu sırasında üretilen dentin talaşları ve pulpa dokusu artıkları apikal foramende birikebilmekte ve apikal tıkanmaya neden olabilmektedir. Apikal kontrüksiyonu genişletmeden küçük ve esnek bir K-file eğesinin pasif hareketleri ile apikal foramenin açıklığının sağlanması apikal patensi olarak tanımlanmıştır (165, 166). Apikal patensinin amacı, apikal forameni dentin talaşları, pulpa dokusu artıkları ve diğer kalıntılardan arındırılmış olarak erişilebilir bırakmak, apikal tıkanma sonucunda kök kanalında oluşabilecek basamak, transportasyon, perforasyon ve çalışma boyu kaybını önlemek ve periapikal alandaki enfeksiyonun elime edilmesine yardımcı olmaktır (166, 167). Öte yandan apikal patensi debrislerin yanlışlıkla periapikal bölgeye ekstrüze olmasına sebep olabilmektedir.

Cailleteau ve Mullaney apikal patensi için çalışma uzunluğundan 1 mm daha uzun ve genellikle 10 veya 15 numaralı bir eğenin tercih edilmesi gerektiğini söylemiştir (167). Souza ise apikal patensi için kullanılan eğenin tercihen ana eğeden 2 boy daha küçük olması gerektiğini söylemiştir (166).

Apikal çap ve patensinin apikalden debris ekstrüzyonu üzerine etkisini inceleyen birkaç çalışma bulunmakla birlikte farklı sonuçlar elde edilmiştir. Al - Omari ve Dummer (1995) ve Hinrichs ve ark. (1998) yapmış oldukları çalışmalarda ekstrüze debris ve apikal çap arasında bir ilişki olmadığı sonucuna varmışlardır (168, 169).

Lambrianidis ve ark. yapmış oldukları çalışmada apikal kontraksiyon ve foramenin apikal debris ekstrüzyonu üzerindeki rollerini değerlendirmişler ve apikal kontraksiyonun sağlam kaldığında daha fazla apikal debris ekstrüzyonu meydana geldiğini bulmuşlardır. Elde edilen bu sonucun enstrümantasyon sırasında yeniden apikal kontraksiyon oluşturulurken apikal tıkaçın oluşmasına bağlamışlardır (170). Tınaz ve ark. yapmış oldukları çalışmalarında tam tersi bir sonuç bulmuşlar ve apikal çapta arttıkça daha fazla apikal debris ekstrüzyonu olduğu sonucuna varmışlardır (171).

2.7.2 Çalışma Boyunun Debris Ekstrüzyonuna Etkisi

Kök kanal çalışma boyu, koronal olarak belirlenen bir referans noktasından kanalın şekillendirilip doldurulacağı noktaya kadar uzanan mesafedir. Kök kanal tedavisinin apikal kontraksiyonda bitirilmesi gerektiği kabul görmektedir (172). Apikal konstriksiyon

iyileşmeye yardımcı olan anatomik ve morfolojik bir sınırdır (173, 174). Çalışma uzunluğunun doğruluğu, başarılı bir kök kanal tedavisi için önemli bir rol oynamaktadır. Kısa belirlenen çalışma boyu kök kanal sisteminin yetersiz enstrümantasyon ve dezenfeksiyonuna, uzun belirlenen çalışma boyu ise apikal alana debris ekstrüzyonuna, apikal kontraksiyonun bozulmasına neden olarak periapikal doku iltihabına ve / veya enfeksiyona yol açabilmektedir (175, 176). Myers GL ve Montgomery S. yapmış oldukları çalışmalarında apikal foramenden 1 mm kısa yapılan kök kanal enstrümantasyonunun apikal foramende yapılan kök kanal enstrümantasyona göre çok daha az miktarda apikale debris ekstrüzyonu olduğunu bildirmişlerdir (177). Yapılan başka bir çalışmada ise apikal debris ekstrüzyonunda anlamlı bir fark bulunmamıştır (178). Farklı çalışma uzunlukları ve farklı apikal boyutların enstrümantasyonunda bakterilerin apikal debris ekstrüzyonuna etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada ise, foraminal enstrümantasyon ve foramenlerden 1 mm kısa enstrümantasyon arasında bakteri ekstrüzyonunda önemli bir fark olmadığı ortaya konulmuştur (179).

2.7.3 Kök Kanal Eğimi

Apikal debris ekstrüzyonu ile ilgili çalışmaların çoğunda çalışma kolaylığı açısından <5–10 derece kök kanal eğimine sahip, nispeten düz kök kanallarına sahip tek köklü dişler tercih edilmiştir. Ayrıca araştırmaların çoğunda daha çok, hafif ve orta dereceli eğime sahip dişlerin karşılaştırıldığı görülmüş ve apikal debris ekstrüzyonu açısından aralarında istatistiksel anlamlı bir fark olmadığı bildirilmiştir (29, 74, 76). Karataşlıoğlu ve ark. (180) ve Şerefioğlu ve ark. (181) yapmış oldukları çalışmalarında hafif, orta ve şiddetli kök kanal eğiminin apikal debris ekstrüzyonu üzerinde etkisini araştırmışlardır. Her 2 çalışmada da kanal eğiminin debris ekstrüzyonu üzerinde önemli bir rol oynadığını, şiddetli eğimli kök kanalların hafif eğimli kök kanallarına göre önemli ölçüde daha fazla apikal debris ekstrüzyonu gösterdiğini bildirmişlerdir (180, 181). Bu durumun, eğimli kök kanallarının enstrümantasyonunda daha fazla gagalama hareketinin yapılması ve düz kök kanallarında debrislerin koronal yöne hareketinin daha kolay olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

2.7.4 Alet tipi, Tasarımı ve Kullanılan Yöntem

Şimdiye kadarki tüm endodontik enstrümantasyon tekniklerinin ve sistemlerinin birbirinden farklı apikal debris ekstrüzyonuna neden olduğu bilinmektedir (4). Al-Omari & Dummer sekiz farklı manuel enstrümantasyon tekniğini karşılaştırmış ve çevresel, anti-kurvatür tekniği ile step-back enstrümantasyonun en fazla apikal debris ekstrüzyonuna yol

açtığını, crown- down ve dengeli kuvvet tekniklerinin ise en az miktarda debris ekstrüzyonu ürettiğini bulmuşlardır (168). Nikel-Titanyum (Ni-Ti) eğeler, tasarımları nedeniyle debrislerin koronal yönde yer değiştirmesini sağlarken, step-back yönteminde manuel eğeler debrislerin apikal yöne ilerlemesine sebep olmaktadır (181). Bu durum da manuel enstrümantasyonun, endomotor destekli döner enstrümantasyona göre daha fazla debris ekstrüzyonuna sebep vermektedir (75, 182). Hatta yapılan bir çalışmada rotary sistemleri yüksek hızda bile manuel enstrümantasyona göre daha düşük apikal ekstrüzyona neden olduğu bildirilmiştir (183).

Öte yandan, tek eğeli sistemlerin, çoklu eğeli sistemlere kıyasla daha fazla debris ekstrüzyonu ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (184). Reddy ve Hicks, apikal debris ekstrüzyonunu manuel enstrümantasyon ve motorlu teknikler arasında karşılaştıran ilk kişilerdir (185). Martin ve Cunningham ultrasonik enstrümantasyonun manuel enstrümantasyondan daha az debris ekstrüzyonuna neden olduğunu öne sürmüştür (186). Fairbourn ve ark. yapmış oldukları çalışmasında 4 farklı enstrümantasyon yönteminin debris ekstrüzyonu üzerinde etkisini araştırmış ve step-back tekniğinde manuel enstrümantasyon ve sonik enstrümantasyon arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu, sonik enstrümantasyonun en düşük apikal debris ekstrüzyonu gösterdiğini bildirmişlerdir (187).

Ni-Ti döner aletler tasarımları ve kesitsel şekilleri açısından farklılık gösterdiğinden, apikal debris ekstrüzyon miktarı da farklılık gösterebilmektedir. Bıçak dizaynının debris ekstrüzyonu üzerine etkisini araştıran bir çalışmada kısa, orta ve uzun yivlere sahip döner aletler karşılaştırılmış ve kısa yivlere sahip tasarımın orta ve uzun yivlere sahip olanlardan daha az apikal debris ekstrüzyonuna sebep olduğu bildirilmiştir (188).

Reciproc, WaveOne ve HyFlex CM döner aletlerin debris ekstrüzyonunun karşılaştırıldığı bir çalışmada WaveOne kök kanal alet tasarımında diğerlerinden farklı olarak radyal alanların debris taşınmasını koronal yönde azaltarak apikal debris ekstrüzyonunu arttırabileceği, Reciproc döner aletin ise yüksek kesme etkinliğine sahip olduğu için kök kanal enstrümantasyonu sırasında daha fazla debris üretilmesine neden olarak apikale debris ekstrüzyonunu arttırabileceği düşünülmüştür (189). Yapılan birkaç çalışmada Hyflex CM kök kanal aletinin kök kanal preparasyonu sırasında yivlerinin açılarak deforme olduğu bildirilmiştir (190, 191). Bu durumun da kök kanal duvarını daha az aşındırarak daha az debris üretilmesine neden olacağı bu yüzden de aletin apikal debris ekstrüzyonunu azaltabileceği iddia edilmiştir. Farklı tasarım özelliklerine sahip ProTaper

Universal, ProTaper Next ve HyFlex sisteminin karşılaştırıldığı bir çalışmada, ProTaper Universal ve HyFlex CM sisteminin; ProTaper Next sistemine göre daha fazla apikal debris ekstrüzyonu olduğunu bildirmişlerdir (191). ProTaper Universal sisteminin daha büyük tapera sahip olması, HyFlex CM sisteminin kök kanal preparasyonu sırasında deforme olmasının daha fazla apikal debris ekstrüzyonuna yol açtığı düşünülmüştür. ProTaper Next sisteminin ise farklı tasarımı ve dönme hareketi sayesinde kök kanal dentin ve ege temasını en aza indirerek apikalden taşan debris miktarını azalttığı düşünülmüştür (191, 192).

2.7.5 İrrigasyon Yöntemi ve İğne Tasarımı

Kök kanal irrigasyon sisteminin tipi ve irrigasyon iğnelerinin tasarımı, iğnenin çapı, iğnenin kök kanalında yerleştirme derinliği apikalden debris ve irrigant ekstrüzyon sıklığını ve miktarını etkileyebilmektedir (76, 193). Konvansiyonel iğne irrigasyonu kök kanal irrigasyonunda kullanılan temel tekniktir (96). Konvansiyonel iğne irrigasyonunun, kök kanalında iğne penetrasyon derinliğinin kontrolüne izin verdiği bilinmektedir (64). İrrigasyon iğnesinin etkili bir kök kanal irrigasyonu için mümkün olduğunca çalışma uzunluğuna yakın konumlandırılması gerektiği fakat bu durum irrigant solüsyonunun ve debrislerin periapikal dokulara ekstrüzyon riskini artırmaktadır (62, 76). Yapılan birkaç çalışmada, iğnelerin apekse daha yakın yerleştirilmesi ve iğne çapının artması ile daha fazla apikal debris ekstrüzyonu ilişkilendirilmiştir (76, 194, 195). İğne tipi, penetrasyon derinliği ve irrigant akış hızı ve apikal basınç üzerindeki etkisinin analiz edildiği bir çalışmada; çalışma boyuna yakın yerleştirilen tüm iğne tiplerinde apikal basıncın ve akış hızının artmasına bağlı olarak irrigant solüsyonun kök kanal apikalinden ekstrüze olma ihtimali olduğu bildirilmiştir (196). İrrigasyon etkinliğini artırmak ve ekstrüzyon riskini en aza indirmek için farklı tipte iğne uçları bulunmaktadır. Akışkan dinamiği modelini kullanan son çalışmalar, iğnenin uç tasarımının da irrigant akış hızı ve sonuçta ortaya çıkan apikal basıncı etkilediğini göstermiştir (67, 79, 196). Bu çalışmaların sonuçlarına göre açık uçlu iğnelerin, kapalı uçlu iğnelere göre daha fazla apikal basınç oluşturduğu bu yüzden de apikal ekstrüzyon ihtimalinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca yan taraftan açılan iğnelerin açık uçlu iğnelere göre irrigasyonda daha güvenilir olduğu söylenmiştir (78). Kapalı uçlu ve tek taraftan açılan irrigasyon iğnesi, irrigasyon için en güvenli iğne tasarımı olarak kabul edilmektedir (28, 67, 79, 80).

Periapikalden debris ve irrigant ekstrüzyonunu minimuma indirmek için uygulanan apikal basınç da minimum olmalıdır. SAF' ın kök kanalı içinde kullanımı sırasında kanalda

basınç oluşturmadağı bilinmektedir. Açık apeksli dişler üzerinde yapılan bir çalışmada SAF'ın apikal foramenden solüsyon taşımadığı sonucuna varılmıştır (111). SAF, Vibringe, EndoVac, pasif ultrasonik ve konvansiyonel iğne irrigasyonun karşılaştırıldığı bir çalışmada tüm sistemlerin apikal debris ekstrüzyonuna yol açtığı ve tüm sistemler içinde SAF'ın en düşük apikal debris ekstrüzyonuna sahip olduğu bildirilmiştir (6). Bunun haricinde EndoVac sisteminin irrigasyon yaparken negatif basınç uyguladığı bilinmekte ve bu sebeple apikalden debris ve irrigant ekstrüzyon riskinin düşük olduğu tahmin edilmektedir. EndoVac sisteminin diğer irrigasyon sistemi ile karşılaştırıldığı çalışmalarda, diğer irrigasyon sistemlerine göre daha az apikal debris ekstrüzyon miktarı elde edilmiştir (193, 197).

2.8. Apikal Debris Ekstrüzyonu Ölçümünde Kullanılan Yöntemler

Günümüze kadar apikal debris ekstrüzyonunun değerlendirilmesi amacıyla birkaç farklı deney düzenekleri kullanılmasına karşın en sık kullanılan yöntem Fairbourn ve ark. (1987) tarafından geliştirilen bir düzeneğin modifikasyonu olan Myers ve Montgomery (1991) metodu olmuştur. Bu düzenek, dişlerin içine yerleştirildiği kauçuk bir tıpa, ekstrüze debrisin birikeceği bir toplama kabı, toplama kapının içine yerleştirildiği bir şişe ve şişenin içindeki ve dışındaki hava basıncını eşitlemek için kullanılan 25 gauge bir iğneden oluşmaktadır (177). Myers ve Montgomery (1991) düzeneğinin, Fairbourn (1987) düzeneğinden farkı, toplama kabı olarak cam şişe kullanılmasıdır. Fairbourn ve ark. (1987) kullandıkları düzenekte cam şişe yerine, dişlerin altına tel yardımıyla asılan alüminyum kronlar kullanmışlardır (187).

Ekstrüze debrisin biriktiği toplama kabı olarak eppendorf tüpler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durumda dişlerin eppendorf tüplerin plastik kapaklarına sabitlenip hermetik bir sızdırmazlık sağlamak için otopolimerizan bir akril veya siyanoakrilat kullanılmalıdır (198). Böylece sabitlenen dişin apeksi eppendorf tüpünün içinde ekstrüze debrisin toplanmasını sağlayacak şekilde asılı kalmış olur. Deney düzeneğinin standardizasyonun bozulmaması için iyi bir şekilde sabitlenmesi ve objektif bir çalışma için çalışmayı yapan operatörün dişin apeksini görmesinin engellenmesi için düzeneğin rubberdam veya alüminyum folyo ile örtülmesi çalışmanın önemli noktalarını oluşturmaktadır. Bu durum aynı zamanda çalışma uzunluğunun radyografiler veya apeks bulucular tarafından belirlendiği klinik çalışma ortamını taklit etme olanağı sağlamaktadır. Bu metotta, işlemden önce ve işlemden sonra toplama kapları hassas terazi yardımıyla tartılmaktadır. Ekstrüze debris miktarı toplama kaplarının işlemden sonraki ağırlığından

işlemden önceki ağırlığının çıkarılması ile belirlenmektedir. Kök yüzeyine yapışan debrislerin giderilmesi için işlemden sonra kökün yıkanması gerekmektedir. İşlem sırasında debris ile birlikte irrigasyon solüsyonları da apikalden ekstrüze olabileceğinden işlem sonrasında ekstrüze olan irrigasyon solüsyonunu buharlaştırmak için farklı ortam sıcaklığı sağlayan etüvler kullanılmaktadır (11, 199, 200). Debris ve irrigasyon ekstrüzyon miktarı, toplama kabının yanına 0.5 ml'lik kalibreli irrigant ile doldurulmuş rehber bir kap yerleştirilerek ölçülmektedir (177). Debris ve irrigant ekstrüzyonunda kullanılan başka bir yöntem ise toplama kabının önceden tamamen sıvı ile doldurulmasıdır. Kalibreli bir enjektör yardımıyla taşan irrigant geri çekilerek apikalden taşan debris ve irrigant miktarı ölçülmüş olmaktadır (171, 201).

Hazırlanan düzeneklerde periapikal doku basıncını taklit etmesi için silikon (202, 203), çiçek köpüğü (75, 204) , agar jel (205) gibi materyallerin kullanıldığı yöntemler de kullanılmıştır. Çiçek köpüğü; sıfır geri basıncın kullanıldığı düzeneklerden daha gerçekçi olmasına rağmen periapikal direnci kısmen taklit ettiği ve periapikal dokulardan farklı bir yoğunluğa sahip olması, ayrıca apikalden ekstrüze olan irrigantın emilmesine sebep olarak ekstrüze debris miktarını etkileyebileceği bildirilmiştir (75, 206). Agar jelin ise periapikal dokulara benzer bir yoğunluğa sahip olduğu, apikal debris ve irrigant ekstrüzyonuna direnç sağladığı ve klinik olarak boş toplama kaplarının kullanıldığı yöntemlerden daha iyi simule ettiği söylenmiştir (206).

Net debris ölçümü yapılabilmesi için irrigasyon solüsyonunun ortamdan uzaklaştırıldığı buharlaşma yönteminde oda sıcaklığı ve havadaki nemin ekstrüze debris üzerine çökerek sistemi olumsuz etkileyebileceğinden kullanılan başka bir yöntem de liyofilizasyon olarak adlandırılan dondurarak kurutma yöntemidir (198). Liyofilizasyon yöntemi; taşan sıvının dondurulduğu ardından da süblimleşme ve desorpsiyon yöntemiyle ekstrüze debristen uzaklaştırıldığı bir işlemdir (207). Bu yöntem kapalı bir ortam kullanıldığı için buharlaşma yöntemindeki olumsuzlukları elimine etmektedir (198). Maliyetli ve uygulaması zor bir işlem olduğundan çalışmalarda sıklıkla tercih edilmemektedir (207).

Buharlaşma işleminden sonra ekstrüze debris miktarını sayısal olarak ölçmek için hassas mikro teraziler kullanılmaktadır. Fairbourn ve ark. havadaki nem gibi çevresel koşulların örneklerin ağırlığına etki ettiğini bildirmişlerdir (187). Bu yüzden hassas mikro terazi ile ölçüm sırasında büyük hassasiyet gösterilmeli ve doğru bir ölçüm sonucu elde edilmesi için örneklerin en az 3 kez tartılıp ortalama bir değer elde etmek gerekmektedir.

Ekstrüze debris çalışlarında kullanılan başka bir yöntem ise çekilmiş dişler yerine akrilik blokların kullanıldığı ‘filter column suction’ yöntemidir (208). Ruiz-Hubard ve ark.’nın kullanmış oldukları bu yöntemde hem düz hem eğri kanallar içeren akrilik blokların apikalinde debrisin toplandığı bir hazne bulunmaktadır. Daha sonrasında kanallar hazede biriken debris ve sıvının tekrardan kanallara gitmesini önlemek için doldurulur. Toplanan debris içinde milipor plastik bir filtre içerisine yerleştirilir ve bu filtreler sıvının buharlaşması için 110 ° C'deki fırında 4 dakika bekletilir. Filtrenin boş ağırlığı önceden hesaplanmıştır. Debris içeren filtrenin ağırlığından boş filtre ağırlığı çıkartılarak ekstrüze debris miktarı belirlenir (208). Kanal boyutu, şekli ve kurvatürünün ayarlanması ve uygun bir model elde edilmesi ve standart bir yapı olduğu için dentindeki farklılıkları elimine etmesi akrilik modellerin avantajları arasında yer almaktadır (164). Bunun yanı sıra; akrilik modellerde pulpa dokusu, kanal düzensizlikleri, üç boyutlu yapıyı ve doğal apikal kontrüksiyonu içeren dişin anatomik yapılarını taklit edemediği için klinik durumu tamamen yansıtamaması dezavantajıdır (164). Ayrıca Kum ve ark. döner alet kullanımının neden olduğu ısının rezin materyalini yumuşatıp, deney düzeneğinin güvenilirliğini azaltabileceğini bildirmişlerdir (209). Tüm bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda çekilmiş dişlerin kullanılması, akrilik bloklara göre daha uygun bir seçenektir.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Çalışmamız Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 03/07/2020 tarihinde 2020/154 protokol numarası ile onay almış olup (Ek-1), örnek hazırlama ve deney aşamaları Karadeniz Teknik Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nda yürütülmüştür.

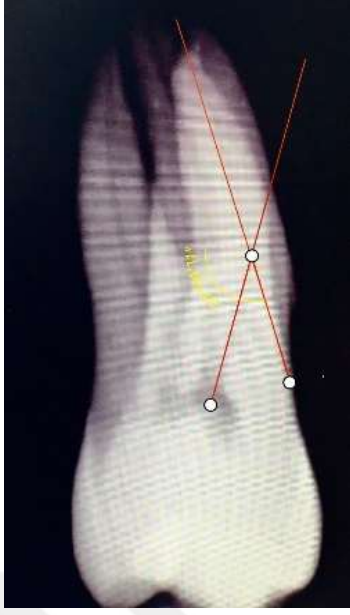
Çalışmamızdaki farklı irrigasyon tekniklerinin, kök kanal apikalinden debris ekstrüzyon potansiyelleri ekstrüzyon deneyleri ile değerlendirilmiştir.

3.1. Örneklerin Seçilmesi ve Saklanması

Çalışmamızda farklı nedenlerle çekim endikasyonu konulmuş 60 adet mandibular ve maksiller molar insan dişine ait kök kanalları kullanıldı. Dişlerin çekiminin ardından, dişler deney aşamasına kadar oda sıcaklığında %0,1 Timol (Galenik Ecza ve Kimyevi Maddeler Deposu, Menderes, İzmir) solüsyonunda bekletildi.

Dişlerin bukkolingual ve mezyodistal yönünden radyografileri alındı. Radyografiye göre; kök ucu gelişimi tamamlamamış, iç-dış rezorpsiyon, kök çürükleri, kalsifikasyon, kök kanal dolgusu ve anatomik düzensizlikler bulunan dişler elimine edildi. Kök yüzeyinde kırık ve/veya çatlak bulunan dişler Dental Operasyon Mikroskobu (Möller-Wedel Denta 300, Wedel, Germany) ile x8'lik büyütme altında değerlendirildi ve elimine edildi. Çalışmamıza tek köklü ve kök apeksine ulaşamayan dişler dahil edilmedi.

Kök kanallarının eğimi, en çok kullanılan yöntem olan Schneider'in yöntemine göre belirlendi (210). Bukkolingual ve mezyodistal yönden alınan radyografilerde meziobukkal kanal ağzının ortasından, kök kanalının aksını takip eden bir çizgi çizildi. Bu çizginin kök kanalını terk ettiği nokta ile apikal formane ikinci bir çizgi çizildi ve 2 doğru birleştirildi. Bu doğruların kesiştiği noktadaki iç açı bize kanalın eğimini verdi (Resim 6). Çalışmamızda Schneider açısı 20°- 40° arasında olan kök kanalları kullanıldı.



Resim 6. Schneider yöntemi ile üst 1.molar dişin MB kökünün eğim derecesinin belirlenmesi

Çalışmamızda kullanılacak olan dişler belirlendikten sonra dişler üzerindeki diştaşları kavitrone, yumuşak dokular ise kretuar yardımıyla mekanik olarak uzaklaştırıldı. Çalışmanın deney aşamaları tek bir araştırmacı tarafından gerçekleştirildi.

3.2. Örneklerin Hazırlanması

Örneklerin standardizasyonunu sağlamak amacıyla mevcut olan kron kısmındaki çürükler tungsten karbid frez ile temizlenip, eksik koronal diş yapısı kompozit rezin ile restore edildi. Üst molar dişlerin palatinal ve distal kökleri, alt molar dişlerin distal kökleri eppendorf tüplerinin kapaklarına rahatça yerleştirilmesi için elmas fissür frez ile kesilerek çıkartıldı (Resim 7). Köklerin çıkarılması ile oluşan boşluklar mum ile kapatıldı. Çalışma boyları 17 mm olacak şekilde dişler elmas fissür frez (Sunshine Diamonds, Langenhagen, Almanya) ile dekorone edildi. Meziyal kök kanallarında #10 K tipi eğe (Anteos, VDW GmbH, Münih, Almanya) görsel olarak apikal uçta görülene kadar ilerlendi ve tam apikal foramende gözlendiğinde ölçülen boyundan 1 mm kısa olacak şekilde çalışma boyu belirlendi. Bu aşamada kök apeksine ulaşamayan ve apikal patensi sağlanamayan dişler çalışmaya dahil edilmedi. Kök kanal preparasyonu ve irrigasyon işlemleri için çalışma boyları belirlendi.



Resim 7. Hazırlanan örnekler

3.3 Deney Düzenekinin Hazırlanması

Çalışmamızda apikal debris ekstrüzyonu için Myers ve Montgomery (177) tarafından tasarlanan deney düzenekği kullanıldı. Olası bir karışıklığı önlemek için eppendorf tüpleri 1-60'a kadar numaralandırıldı ve numaralar asetat kalemı ile üzerlerine yazıldı (Resim 8). Eppendorf tüpün kapak kısımları kesilerek tüpten ayrılması sağlandı. Numaralandırılan eppendorf tüpler 10^{-4} hassas terazi (Radwag, AS 220.R2, Poland) (Resim 9) kullanılarak tartıldı. Her tüp art arda üç kez tartıldı ve çıkan üç sonucun ortalaması alınarak bir değer belirlendi, bu değer ilk ağırlık olarak belirlendi.



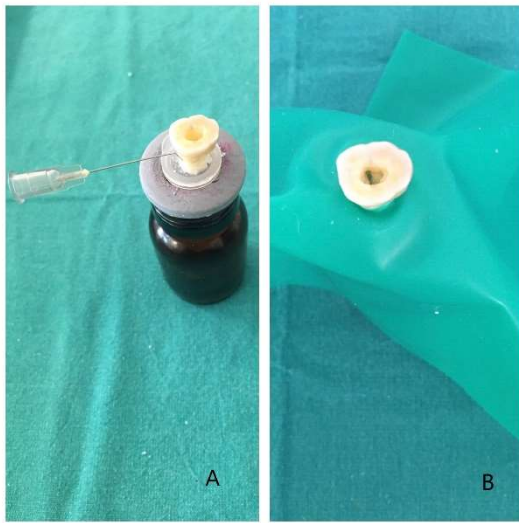
Resim 8. 1-60'a kadar numaralandırılan eppendorf tüpleri



Resim 9. 40 numaralı boş eppendorf tüpünün 10^{-4} hassas terazide tartılması

Kullanılacak olan diş köklerinin 3mm'lik apikal kısmını dışında kalan tüm kök yüzeyi olası lateral kanallar veya rezopsiyondan dolayı meydana gelebilecek debris ekstrüzyonunu elimine etmek için siyonaakrilat adeziv (Quikstar cyanoacrylate adhesive, Furkan Kimya, Turkey) ile kaplandı. Eppendorf tüplerinin kesilerek çıkarılan plastik kapaklarına mandibular ve maksiller dişlerin mesial köklerinin yerleştirilebilmesi için sıcak bir siman spatülü yardımıyla kapaklara delikler açıldı ve dişler bu deliklere basınç yardımıyla yerleştirildi. Dişler mine sement birleşimlerinden siyanoakrilat adeziv ile plastik kapaklara

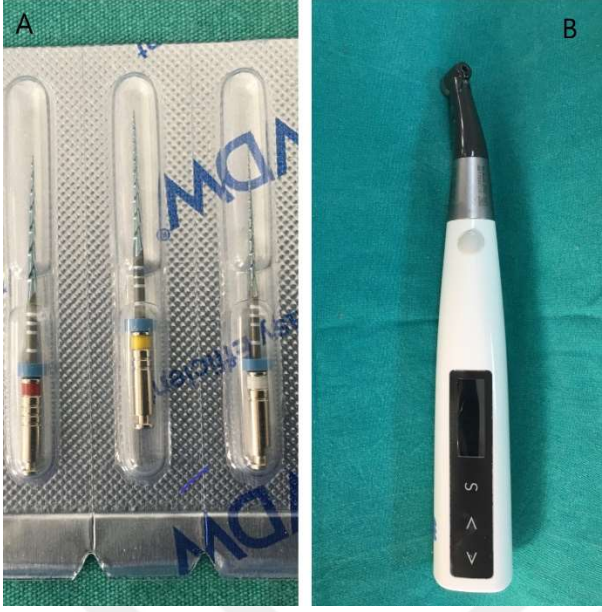
sabitlendi. Bu düzenek daha sonra 4 ml'lik eppendorf tüpüne, eppendorf tüpleri de deney sırasında cam şişeye yerleştirildi. Böylece kökün apikal kısmı ekstrüze debrisin toplanacağı Eppendorf tüpünün içinde kaldı. Tüpün içindeki ve dışındaki hava basıncını dengelemek için 27 gauge enjektör iğnesi kıvrılarak plastik eppendorf tüplerinin kapaklarına tüpün içerisine ulaşabilecek şekilde yerleştirildi (Resim 10A). Şekillendirme ve irrigasyon sırasında koronal yönde taşan debris ve irrigasyon solüsyonunun eppendorf tüpe sızması ve deney sırasında araştırmacının kökü görmesinin engellenmesi amacıyla dişler rubberdam ile izole edildi (Resim 10 B).



Resim 10 A. Deney düzeneğinin oluşturulması **B.** Düzeneğin rubberdam ile örtülmesi

3.4 Kök Kanal Şekillendirilmesi ve İrrigasyonu

Her bir grupta 4 üst molar ve 11 alt molar olmak üzere toplam 15 diş rastgele 4 gruba ayrıldı (n=15). Tüm gruplarda VDW Rotate™ döner alet serisi (Resim 11A) ve Morita TriAuto ZX2 (Morita, Kyoto, Japan) (Resim 11B) endomotor ile final apikal çapı 25/.06 olacak şekilde kök kanalları şekillendirildi. Üretici firma tavsiyesine uygun olarak 15/.04 döner alet için 1.3 N (Newton) tork ve 300 rpm, 20/.05 döner alet için 2.1 N tork ve 300 rpm, 25/.06 döner alet için 2.3 N tork ve 300 rpm kullanılarak kök kanalları şekillendirildi. Her bir Ni-Ti eğe uç kanalda kullanıldıktan sonra yenisiyle değiştirildi.



Resim 11 A. Çalışmamızda kullanılan VDW Rotate™ döner alet serisi **B.** Çalışmamızda kullanılan endomotor Morita TriAuto ZX2 (Morita, Kyoto, Japan)

1.Grup (Konvansiyonel iğne irrigasyonu, SNI): İrrigant 30 gauge lateral perfore iğneye (Resim12) sahip bir şırınga ile uygulandı. İğne daha önce belirlenmiş olan çalışma uzunluğundan 1 mm kısa kök kanalına yerleştirip her alet kullanımından sonra kök kanalları 1mL distile su ile 1 dakika boyunca irrigate edildi. Final irrigasyon olarak 3 ml distile su 1 dakika boyunca (çalışma boyundan 1 ve 2 mm geride işaretlenen konvansiyonel iğne ile) 1-2 mm koronal-apikal yönde aktive edildi.



Resim 12. Çalışmamızda kullanılan 30G lateral perfore iğne (Steri Irrigation Tips, Diadent, Cheongju, Korea)

2.Grup (IrriFlex, Plastik Kanül ile Şırınga İrrigasyonu): İrrigasyon solüsyonu 30/04, çift taraflı açılan kapalı uca sahip plastik bir kanül olan IrriFlex (**Resim13**) ile çalışma uzunluğundan 1mm kısa uygulandı. Her alet kullanımından sonra kök kanalları 1ml distile su ile 1 dakika boyunca irrigate edildi. Final irrigasyon olarak 3 ml distile su 1 dakika boyunca (çalışma boyundan 1-2 mm geride işaretlenen IrriFlex ile) 1-2 mm koronal-apikal yönde aktive edildi.



Resim 13. IrriFlex® (Produits Dentaires SA, Switzerland)

3.Grup (EndoActivator, EA): Bu gruptaki irrigasyon prosedürleri, konvansiyonel iğne irrigasyonundaki aynı iğne kullanılarak gerçekleştirildi. Kök kanal şekillendirmesi bitirildikten sonra irrigasyon solüsyonunu sonik olarak aktive eden 25/04 uca sahip EA (**Resim14**), çalışma uzunluğundan 1 mm kısa yerleştirilip üretici tavsiyesine uyularak (çalışma boyundan 2-3 mm geride işaretlenen EA ucu ile) 2-3 mm dikey vuruşlarla 1 ml distile su 20 saniye boyunca aynı şekilde 3 kez aktive edildi. Final irrigasyonda toplam 3 ml distile su 60 saniye aktive edildi. Çalışmamızda EA, en yüksek güç ayarı olan frekansı 167 Hz'ye denk gelen 10000 cpm'de kullanıldı.



Resim 14. EndoActivator (DentsplyMaillefer, Ballaigues, Switzerland) ve çalışmamızda kullanılan 25/.04 boyutundaki ucu

4.Grup (EDDY): Bu gruptaki irrigasyon prosedürleri de konvansiyonel iğne irrigasyonundaki aynı iğne kullanılarak gerçekleştirildi. Kök kanal şekillendirilmesi bitirildikten sonra, irrigasyon solüsyonunu sonik olarak aktive eden 25/.04 esnek poliamid uca sahip EDDY ucu (**Resim 15**) ile, çalışma uzunluğundan 1 mm kısa yerleştirilen ve üretici tavsiyesine uyularak (çalışma boyundan 3-4 mm kısa işaretlenen EDDY ucu ile) 3-4 mm dikey vuruşlarla 1 ml distile su 20 saniye boyunca aynı şekilde 3 kez aktive edildi. Final irrigasyonda 3 ml distile su 60 saniye aktive edildi. Çalışmamızda EDDY ucu 3 atm basınçta 6000 Hz’de TA-200 ile birlikte kullanılmıştır.



Resim 15. EDDY (VDW, Munich, Germany) ucu ve çalışmamızda kullanılan TA-200 (TA-200-S2H, Micron, Japan)

Tüm gruplarda, her eğe arasında apikal patensi için 8 numaralı K tipi eğe kullanıldı ve apikal foramenin açıklığının devamı sağlandı. Yine tüm gruplarda her bir örnek için, kök kanal irrigasyonu işlemi sırasında 6 ml distile su ve en son aşamada dişlerin kök yüzeylerinde kalan debrisı temizlemek için 1 ml distile su kullanıldı. Tüm gruplarda toplam 7 ml distile su kullanıldı.

3.5 Ekstrüze Debris Miktarının Değerlendirilmesi

Deney aşaması bitirildiğinde distile suyun buharlaşması için örnekler eppendorf tüplerin ağzı açık kalacak şekilde 15 gün boyunca 37 °C etüvde bekletildi. Buharlaştırma işlemi tamamlandıktan sonra kuru debris içeren eppendorf tüpler çalışma öncesinde olduğu gibi aynı elektronik tartı ile kapaksız 10⁻⁴ hassas terazi ile 3'er kez tartıldı ve çıkan sonuçların ortalaması alınarak bir değer elde edildi ve bu değer son ağırlık olarak belirlendi. Apikal debris ekstrüzyon miktarı eppendorf tüplerinin son ağırlığından ilk ağırlığının çıkarılması ile belirlendi.

$$\text{Apikal Debris Ekstrüzyon Miktarı} = \text{Tüpün Son Ağırlığı} - \text{Tüpün İlk Ağırlığı}$$

3.6. Sonuçların İstatistiksel Analizi

Çalışmamız, 4 grup ve her grupta 15 adet çekilmiş diş kullanılarak gerçekleştirildi. Her gruba ait kök kanal irrigasyon sisteminin apikal debris ekstrüzyon miktarı verilerine ait ortalama ve standart sapma değerleri hesaplandı. Verilerin istatistiksel analizi IBM SPSS Statistics Version 13 programı ile analiz edildi.

Tüm parametrelere ait verilerin normal dağılıma uyduğu One Sample Kolmogorov Smirnov istatistik testi kullanılarak belirlendi. Bu gruplara ait ortalama değerler ANOVA istatistik testi kullanılarak karşılaştırıldı. İstatistiksel açıdan anlamlı farklılığın göstergesi olarak p <0.05 değeri kabul edildi.

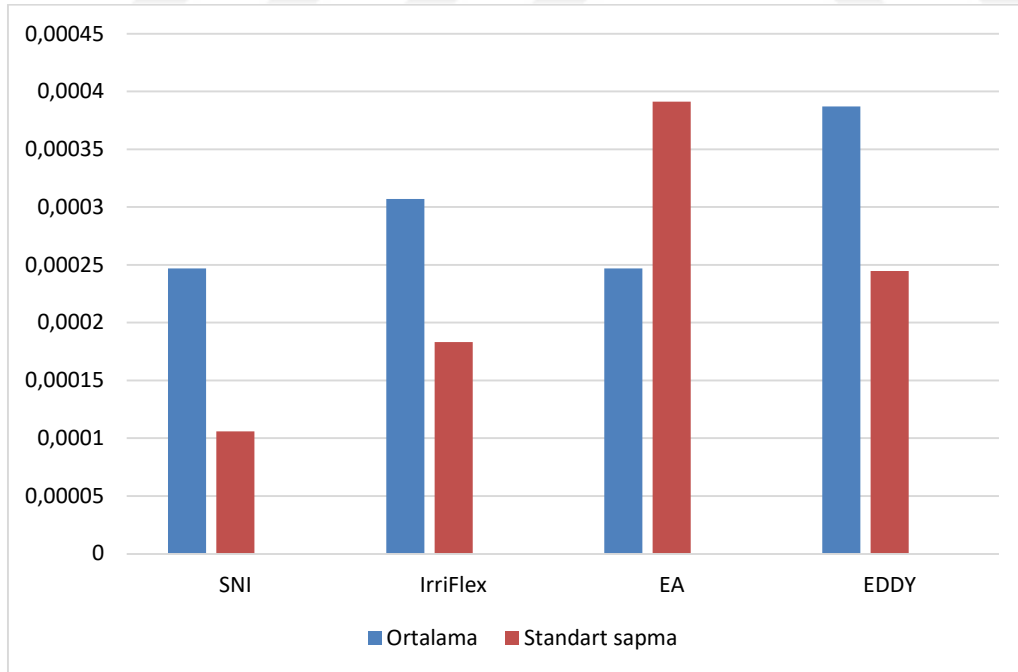
4.BULGULAR

Çalışmamızda farklı irrigasyon sistemlerinin kullanımından sonra meydana gelen apikal debris ekstrüzyon miktarı Tablo 2’de verilmiştir. Çalışmamızda kullanılan tüm irrigasyon grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$).

Tablo 2. Apikal debris ekstrüzyon miktarı (gr)

GRUPLAR	N	ORTALAMA	STANDART SAPMA
SNI	15	0,000247	0,0001060
IRRIFLEX	15	0,000307	0,0001831
EA	15	0,000247	0,0003913
EDDY	15	0,000387	0,0002446

Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p=0.389$)



Şekil 13. Apikal debris ekstrüzyon miktar grafiği (gr)

5.TARTIŞMA

Başarılı bir endodontik tedavi için kök kanal sisteminden vital ve/veya nekrotik pulpa dokusu, mikroorganizmalar ve toksinlerinin uzaklaştırılması esastır. Bu noktada kök kanal sisteminin kemomekanik preparasyonu endodontik tedavinin önemli bir parçası olarak kabul görmektedir ve kimyasal debridman en az kök kanal enstrümantasyonu kadar önemli bir yer tutmaktadır (135, 196).

Yapılan birçok Mikro-BT çalışmalarında kök kanal yüzeyinin % 35- 40'ından fazlasının mekanik enstrümantasyon sonrası dokunulmadan kaldığı gösterilmiştir (17, 18, 38, 41, 48, 211, 212). Bu da bize, sadece mekanik debridman ile kök kanalının temizlenemeyeceğini ve kök kanal irrigasyonunun ne kadar gerekli olduğunu göstermektedir. Kök kanal sisteminden bakterileri ve yan ürünlerini elimine etmek, mekanik debridman sonrası organik ve/veya inorganik yapıları kök kanal sisteminden uzaklaştırmak için kimyasal irrigasyon mutlaka mekanik preparasyona eşlik etmelidir (213).

Kök kanal sisteminin anatomik yapısını daha da karmaşık hale getiren apikal deltalar, lateral kanallar, isthmuslar, kök kanal duvarındaki düzensizlikler klasik endodontik prosedürler ile kök kanalını tamamen şekillendirmede ve temizlemede zorluklar yaratmaktadır (214–216). Bu karmaşık anatomik yapılar özellikle apikal üçlüde daha fazla görülmekte (217) ve mikroorganizmaların yaşamlarını sürdürebileceği ve gelişebileceği alanlar sunmaktadır. Kök kanal irrigasyon solüsyonlarının etkili olabilmesi ve daha iyi bir kök kanal dezenfeksiyonu için kök kanalının bu tür karmaşık kısımlarına nüfuz etmesi gerekmektedir (128, 218).

Pulpa dokusunun, dentin talaşlarının, irrigasyon solüsyonlarının, mikroorganizmaların ve bunların yan ürünlerinin apikal forameninden ekstrüzyonu, kemomekanik debridmanın istenmeyen bir sonucudur (164). Postoperatif ağrı, periapikal inflamasyon ve bunun sonucunda periapikal iyileşmenin bozulması gibi komplikasyonlar, apikal debris ekstrüzyonu nedeniyle meydana gelebilmektedir (3, 4, 156). Meydana gelen bu postoperatif reaksiyonları en aza indirmek için kök kanal enstrümantasyonu ve irrigasyonu aşamalarında her türlü iyileştirme çabaları desteklenmelidir. Bu iyileştirme çabalarından olan kök kanal irrigasyon ve/veya aktivasyon sisteminin tipi ve irrigasyon iğnelerinin tasarımı, apikal debris ekstrüzyon miktarını etkileyebilmektedir (6).

Günümüzde irrigasyon solüsyonunun kök kanal sistemi içindeki karmaşık ve düzensiz anatomik yapılara dağılımını sağlayarak irrigasyon verimliliğini artırmak ve

dezenfeksiyonu iyileştirmek amacıyla farklı irrigasyon ve/veya aktivasyon sistemleri cihazları piyasaya çıkmaktadır. Çalışmamızda konvansiyonel iğne irrigasyonu ve farklı 3 güncel irrigasyon sisteminin (IrriFlex, EndoActivator, EDDY) apikalden debris taşıma miktarını Myers&Montgomery yöntemi ile karşılaştırarak klinik için en uygun irrigasyon sisteminin seçilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktayız.

Etkin bir kök kanal irrigasyonu ve aktivasyonu yapılırken, postoperatif ağrının azalmasını amaçlayan apikalden taşan debris miktarını azaltan irrigasyon sistemleri kullanılmalıdır. Böylelikle kliniğe katkı sağlayacak irrigasyon sistemleri kullanılarak hastanın kanal tedavisi sonrası konforu ve dişin ağızda kalma süresi artacaktır. Çalışmamızın sonuçlarının eğimli kök kanallarına sahip olan dişlere kanal tedavisi yaparken irrigasyon sisteminin seçiminde diş hekimleri için yol gösterici olması hedeflenmektedir.

Güncel literatürde irrigasyonda yeni bir iğne tasarımı olan IrriFlex ile ilgili ulaşabildiğimiz kaynaklar neticesinde bir çalışma bulunmamakla birlikte, irrigasyon ajanlarını sonik uçlar ile aktive eden EndoActivator (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) ve EDDY (VDW, Munich, Germany) ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (11, 12).

Kök kanal irrigasyonu ve enstrümantasyonu sırasında apikalden ekstrüze olan debris miktarını belirleyen çalışmalarda çekilmiş insan dişleri, şeffaf rezin diş modelleri, akrilik blok modeller kullanılmış fakat sıklıkla insan dişleri tercih edilmiştir (164, 208, 209, 219, 220). Ruiz- Hubard ve ark. önceden belirlenebilen boyut, şekil ve kök kanal eğim derecesi ile tutarlı bir deneysel model elde edebilmek için çalışmalarında akrilik modelleri tercih etmelerine rağmen çalışmalarının sonucunda insan dişlerinin kullanılmasını önermişlerdir (208). Bunun yanında Tanalp ve ark. çekilmiş dişlerin mikrosertliklerinin farklı olabileceği, yumuşak dentine sahip dişlerin, sert dentin dokusuna sahip dişlere göre daha fazla apikal debris ekstrüzyonuna neden olabileceğini bildirmiştir ve çekilmiş dişlerin kök dentin sertliği açısından standardizasyonunun mümkün olmaması bu tür çalışmaların dezavantajlarından biri olarak görülmüştür (198). Lim ve Webber kök kanal şekillendirmesinde rezin modellerin geçerliliğini araştırdığı bir çalışmada çekilmiş insan dişlerinde ve şeffaf rezin bloklarda kök kanallarının şekillendirilebilirliğinin hem nicel hem de nitel olarak karşılaştırılabilir olduğu ve simüle edilmiş kök kanallarının kullanımının geçerli olduğu sonucuna varmışlardır (219). Kum ve ark. ise kök kanal preparasyonu sırasında döner aletin ürettiği ısı ile birlikte rezin akrilik modelin yumuşadığını ve bu nedenle deney düzeneğinin

güvenirliğinin az olduğunu bildirmişlerdir (209). Ayrıca akrilik modeller pulpa dokusu, kök kanal dentini, kanal içi düzensizlikleri, doğal apikal daralım gibi anatomik yapıları taklit edemeyeceği için tercih edilmemeleri gerekmektedir. Tüm bu durumlar göz önüne alınarak ve klinik durumu daha iyi yansıtması açısından çalışmamızda çekilmiş insan dişleri kullanılmıştır.

Dişlerin kök kanallarının eğimlerinin standart hâle getirilmesi için deney aşaması öncesinde Schneider yöntemi kullanılarak kök kanal eğimi belirlenmiştir ve çalışmamızda Schneider açısı 20-40 derece aralığına sahip molar dişler kullanılmıştır. Kavisli kök kanallarında apikal debris ekstrüzyonunu inceleyen çalışmalarda Schneider açısı 20°- 40° arasında olan kök kanalları sıklıkla kullanılmıştır (188, 221–223). Çalışmamızda kullanılacak olan dişler belirlendikten sonra çalışma sırasında hassas terazi ile yapılan ölçümü etkileyebileceği için kron ve kök üzerindeki diştaşları kavitrone, yumuşak dokular ise kretuar yardımıyla mekanik olarak uzaklaştırılmıştır. Çalışmanın tüm aşamaları tek bir araştırmacı tarafından gerçekleştirilerek araştırmacı farklılığından doğabilecek farklı sonuçların ortaya çıkması engellenmiştir.

Yapılan çalışmalarda çekilmiş dişler deney aşamasında kullanılabilecek kadar formol, etanol, timol, serum fizyolojik, distile su, sodyum hipoklorit gibi çeşitli solüsyonlarda saklanmıştır (168, 171, 187, 224–226). Sodyum hipoklorit solüsyonunun kullanıldığı çalışmalarda genellikle çekilmiş dişlerin üzerindeki periodontal dokuları çözmek amacıyla kullanılmış olup, çekilmiş dişlerin 2 saat gibi bekletildiği geçici solüsyon olarak tercih edilmiştir (171, 227, 228). Ayrıca sodyum hipoklorit çözeltisinin dişin organik dokusunu çözerek dişleri kırılma eğiliminde bu yüzden de esas bekleme solüsyonu olarak kullanılmaması gerektiği bilinmektedir. Bizim çalışmamızda kullandığımız dişler dezenfeksiyon amacıyla deney aşamasına kadar oda sıcaklığında, %0.1 timol solüsyonu içeren distile suda bekletilmiştir. Ayrıca debris ekstrüzyon çalışmalarında timol solüsyonu %0.05, %0.1, %2 gibi farklı yüzdelere de tercih edilmiştir (181, 184, 221, 222).

Apikal debris ekstrüzyonu ile ilgili çalışmaların çoğunda çalışma kolaylığı açısından <5–10 derece kök kanal eğimine sahip, nispeten düz kök kanallarına sahip tek köklü dişler tercih edilmiş olsa da klinikte daha fazla kök eğimine sahip dişler karşımıza çıkabilmektedir (6, 184, 230). Hafif ve orta eğime sahip kök kanallarının apikal debris ekstrüzyonu açısından incelendiği çalışmalarda aralarında anlamlı bir fark bulunmamıştır (29, 74, 76). Hafif, orta ve şiddetli kök kanal eğimine sahip dişlerin kullanıldığı çalışmalarda ise şiddetli eğime sahip

kök kanallarının hafif eğime sahip kök kanallarına göre önemli ölçüde daha fazla apikal debris ekstrüzyonu gösterdiği bildirilmiştir (180, 181).

Çalışmamız mandibular ve maksiller molar dişlerin meziobukkal kanalları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu kanallar anatomik özelliklerinden dolayı seçilmiştir. Çünkü bu kanalların çoğu dar ve kavisli bir yapıya sahiptir. Kavisli kök kanalları temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi zor kanallar olduğu için irrigasyonun verimliliği düşük seyredebilmektedir (84, 224). Eğimli kök kanalları ile yapılan apikal debris ekstrüzyonu ile ilgili çalışmalarda mandibular ve maksiller molarların mesiobukkal kanalları sıklıkla tercih edilmiştir (70, 197, 226, 227). Ayrıca apikalden ekstrüze olan debris miktarı ile çeşitli diş numaraları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir (232).

Örneklerin standardizasyonunu sağlamak amacıyla mevcut olan kron kısmındaki çürükler tungsten karbid frez ile temizlenmiş ve eksik koronal diş yapısı kompozit rezin ile restore edilmiştir. Üst molar dişlerin palatinal ve distal kökleri, alt molar dişlerin distal kökleri eppendorf tüplerinin kapaklarına rahatça yerleştirilebilmesi için elmas fissür frez ile kesilerek çıkartılmıştır. Köklerin çıkarılması ile oluşan boşluklardan eppendorf tüpüne debris ve irrigasyon solüsyonunun sızmasını engellemek için boşluklar sirkolant (yapıştırıcı) mum ile kapatılmıştır. Böylece olası bir hatalı sonucun çıkması engellenmiştir.

Her ne kadar kök kanal uzunluğu farklılığının apikal debris ekstrüzyon miktarı açısından önemli olmadığı McKendry (228) ve Fairbourn (183) ve ark. tarafından belirtilmiş olsa da çalışmamızda, dişlerin çalışma boyu 17 mm'ye standardize edilmiştir, böylece farklı kök uzunluklarının sonuçları etkileme olasılığı ortadan kaldırılmıştır. Yapılan birçok apikal debris ekstrüzyon çalışmalarında da çalışma boyları standardize edilmiştir (11, 12, 233).

Klinik olarak kök kanal tedavisinin apikal kontraksiyonda bitirilmesi gerektiği kabul görmektedir (167) ve apikal kontraksiyonun genellikle apikal foramenin 0,5–1.5 mm koronalinde bulunduğu bilinmektedir (60). Çalışma boyunun apikalden çıkan debris üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda, apikal foramenden 1 mm kısa yapılan kök kanal enstrümantasyonunda apikal foramende yapılan kök kanal enstrümantasyona göre çok daha az miktarda apikale debris çıktığını bildirmişlerdir (177, 186). Bu nedenlerle çalışmamızda kullanılan diş örneklerinin çalışma boyları apikal foramenden 1 mm kısa olacak şekilde belirlenmiştir. Bu aşamada kök apeksine ulaşılamayan ve apikal patensi sağlanamayan dişler çalışmaya dahil edilmemiştir.

Apikal foramenin açıklığının sağlanması ve çalışma boyunun kaybını önlemek için apikal patensinin yapılması gereklidir. Cailleateau ve Mullaney apikal patensi için çalışma uzunluğundan 1 mm daha uzun ve genellikle 10 veya 15 numaralı bir eğenin tercih edildiğini önermiştir (162). Souza ise apikal patensi için kullanılan eğenin tercihen ana eğeden 2 boy daha küçük olması gerektiğini bildirmiştir (161). Çalışmamızda çalışma boyu #10 K tipi eğe ile belirlendiğinden patensi eğesi için çalışma boyundan 1 mm ilerletilerek kullanılan #8K tipi eğe tercih ettik.

Chapman ve ark. kök kanal şekillendirmesi sırasında apikal debris ekstrüzyonunu kanıtlayan ilk kişidir (160). Çalışmalarının sonrası, pek çok araştırmacı için merak edilen bir konu olmuştur ve apikalden debris ekstrüzyonunun ölçüldüğü birçok çalışma yapılmıştır. Günümüze kadar apikal debris ekstrüzyonunun değerlendirmesi amacıyla birkaç farklı deney düzenekleri kullanılmasına karşın en sık kullanılan yöntem Fairbourn ve ark. tarafından geliştirilen bir düzeneğin modifikasyonu olan Myers ve Montgomery metodu olmuştur (177). Çalışmamızda deney düzeneği olarak Myers ve Montgomery metodu kullanılmıştır.

Kullandığımız deney düzeneğin en önemli dezavantajı periapikal basıncı taklit edemiyor olmasıdır (177). Bu dezavantajın ortadan kaldırılması için deney düzeneğinde bazı modifikasyonlar yapılmış olup, periapikal dokuları taklit etmesi için çalışmalarda çiçek köpüğü, agar jel ve silikon gibi materyaller kullanılmıştır (75, 202, 205). Çiçek köpüğünün periapikal direnci kısmen taklit ettiği, periapikal dokulardan farklı bir yoğunluğa sahip olduğu ve ekstrüze olan irrigant solüsyonunun emilmesine sebep olarak kuru debris ekstrüzyon miktarını etkileyebileceği bildirilmiştir (71, 203). Agar jelin ise deney esnasında uygulama güçlüğüne bulundğunu ve periapikal dokuları tam olarak taklit edemediği rapor edilmiştir (205). Çalışmamızda tüm deney grupları için aynı ortam şartları sağlandığı için periapikal basıncın debris ekstrüzyonu üzerinde etkisi tüm deney gruplarında standardize edilmiş ve deney sonuçlarının güvenilirliğinin etkilenmesi engellenmiştir.

Deney düzeneklerinde debris toplama kabı olarak sıklıkla cam veya plastik eppendorf tüpleri kullanılmıştır (177, 234–236). Camın ağırlığından dolayı hassas terazideki sapma göz önüne alındığında ölçümlerimizin daha güvenilir olabilmesi ve hassas terazinin sahip olduğu maksimum taşıma kapasitesini aşmaması için çalışmamızda cam şişelere göre daha hafif olan Eppendorf tüpleri tercih edilmiştir.

Çalışmamızın şekillendirme ve irrigasyon işlemleri sırasında koronal yönde taşan debris ve irrigasyon solüsyonunun eppendorf tüpe sızması ve objektif bir çalışma yapılabilmesi için deney sırasında operatörün kökü görmesini engellemek amacıyla deney düzeneği rubberdam ile izole edilmiş ve kahverengi şişe kullanılmıştır. Operatörün çalışılan alanı görmesi deney gruplarının güvenilirliğinin bozulmasına neden olabilmektedir.

Kök kanal şekillendirmesi ve irrigasyon aşamasında kanal içerisinden debris ile birlikte apikal foramenden irrigasyon solüsyonu toplama kabına taşabilmektedir. Net kuru debris miktarının hesaplanabilmesi için bu sıvının buharlaştırılması gerekmektedir. Apikal debris ekstrüzyon çalışmalarında, deney düzeneklerinde bu sıvıyı uzaklaştırmak amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Fairbourn ve ark. çalışmalarında kullandıkları alüminyum kuronları 90° C'de 1 saat inkübatörde kurutmuşlar, ardından kalsiyum sülfat içeren desikatörde 30 dakika ile soğutma işlemi uygulamışlardır (187). Ruiz-Hubard ve ark. kullandıkları milipor plastik filtrelerdeki sıvının buharlaşması için örnekleri 110 ° C'deki fırında 4 dakika bekletmişlerdir (208). Al-Omari ve Dummer örnekleri oda sıcaklığında 1 ay bekletmişlerdir (168). De-Deus ve ark. örnekleri kuru hava sterilizatöründe 140°C'de 5 saat bekletmişlerdir (237). Tanalp ve ark. çalışmalarında farklı bir yöntem olan dondurarak kurutma yani liyofilizasyon yöntemini kullanmışlardır (198). Diğer birçok çalışmalarda sıvının buharlaştırılması için eppendorf tüpleri 68-70°C'de 5-7 gün (200, 238–240) veya 37 °C'de 10-15 gün (6, 189, 199, 226, 230) etüvde bekletilmiştir.

Çalışmamızda kök yüzeyine yapışan debrislerin toplama kabına dahil edilebilmesi için işlemten sonra kök distile su ile yıkanmıştır. Çalışmamızda örneklerin vücut ısısına yakın bir sıcaklıkta saklanarak ekstrüze olan debrislerin yüksek sıcaklıktan etkilenmesinin önüne geçmek ve eppendorf tüplerinin yüksek sıcaklıklarda deformasyona uğramasını önleyip hatalı sonuç çıkma ihtimalini engellemek amacıyla örnekler ağızları açık olarak 37 °C'de 15 gün etüvde bekletilmiştir.

Apikal debris ekstrüzyon çalışmalarında farklı irrigasyon solüsyonları kullanılmıştır. Fairbourn ve ark. çalışmalarında musluk suyu kullanmışlardır (187). Musluk suyunun saf olmaması ve kurutma aşamasında tuz artıklarına neden olarak ekstrüze debris miktarına etki edebileceği bildirilmiştir (187, 224). Benzersiz doku çözme özelliği ve özellikle biofilmlere karşı gösterdiği güçlü antimikrobiyal etkileri sebebiyle sodyum hipoklorit irrigasyon solüsyonu klinikte birincil irrigasyon solüsyonu (28) olarak tercih edildiği için çalışmalarda da sıklıkla kullanılmıştır (74, 230, 233). Ancak, sodyum hipoklorit solüsyonunun

buharlaştırma sonrası oluşan sodyum kristallerinin apikalden ekstrüze olan debrisden ayırt edilemeyerek net debris ağırlığına etki ettiği için bazı araştırmacılar irrigasyon solüsyonu olarak distile suyu tercih etmişlerdir (6, 11, 200, 238). Bizim çalışmamızda deney metotunun güvenilirliğini olumsuz yönde etkileyebilecek sodyum hipoklorit veya diğer irrigasyon maddelerinin kristallerinin apikalden ekstrüze olan net debris ağırlığına karışmasını önlemek amacıyla irrigasyon solüsyonu olarak distile su kullanılmıştır.

Apikal çap genişliğinin farklı olması apikal ekstrüzyon miktarını etkileyebileceğinden tüm gruptaki örneklerin standardizasyonu amacıyla apikalde #10K tipi eğe sıkışan dişler kullanılmış ve tüm örneklerin final apikal çapı #25 ve .06 taper'a sahip olacak şekilde saat yönünde sürekli rotasyon modunda şekillendirilmiştir. Apikal enstrümantasyonda çıkarılması gereken dentin miktarı konusunda fikir birliği bulunmamaktadır (16, 241, 242). Hoppe ve ark. yapmış oldukları çalışmalarında dentin yüzeyinin tam olarak debridmanını sağlamasa da, kanalın #25 boyutuna kadar genişletilmesinin iyi bir kök kanal temizliği sağladığını bildirmişlerdir (243). Başka bir çalışmada ise #25 K-file ile enstrüman edilen kanalların, #40 K-file ile enstrümantasyon yapılan kanallar kadar temiz olduğunu ve kök kanallarından bakteriyel eliminasyon açısından önemli bir fark olmadığını bildirilmiştir (244). Kök kanal şekillendirmesinde geleneksel yaklaşım, apikal kontraksiyonda ilk sıkışan eğeden (IAF) 3 boyut daha büyük eğeye genişletilmesini içermektedir (237). Saini ve ark. çalışmalarında IAF'den 3 boy daha büyük apikal genişletmenin yeterli olduğunu ve kök kanalını daha fazla genişletmenin endodontik tedavinin uzun vadeli prognozu için herhangi bir ek fayda sağlayamayacağı sonucuna varmışlardır (238). Bizim çalışmamızda kök kanalında ilk sıkışan eğe #10K olduğu için kök kanal preparasyonun final apikal çapı #25 olarak belirlenmiştir. Ayrıca kök kanal aletlerinin boyutu arttıkça aletin esnekliği azalmaktadır ve bu nedenle özellikle eğimli kanallarda merkezde kalamazlar. Bu durumda kök kanal duvarının bir tarafındaki dentinin gereksiz yere çıkarılmasına neden olmaktadır. ElAyouti ve ark. yapmış oldukları çalışmalarında yeterli irrigasyonun mümkün olması koşuluyla, eğimli kök kanalların apikal boyutunun mümkün olduğunca az tutulmasını önermişlerdir (239).

Kök kanal irrigasyon sistemi ve irrigasyon iğnelerinin tasarımı, çapı, penetrasyon derinliği apikalden debris ekstrüzyon miktarı üzerinde etkilidir (72, 189). İğne ucunun kanalın koroneline yakın yerleştirildiği çalışmalarda apikal debris ve irrigant ekstrüzyonunun azaldığı ancak; irrigasyon solüsyonunun kanalın apikaline nüfus edemediği

ve etkinliğinin azaldığı bildirilmiştir (94, 241). Etkili bir kök kanal irrigasyonu için iğnenin apekse mümkün olduğunca yakın yerleştirilmesi gerekmektedir (59). Yapılan çalışmalarda irrigasyon solüsyonunun iğne ucundan en fazla 1-1,5 mm öteye gidebildiği gösterilmiştir (7, 67, 68). Bu nedenlerle çalışmamızda irrigasyon iğesinin konumu çalışma boyundan 1 mm geride tutulmuştur.

İrrigasyon iğnesinin çalışma boyuna yakın yerleştirilmesi debris ve irrigasyon solüsyonun periapikal alana ekstrüzyon riskini artırmaktadır (59, 72). Ekstrüzyon ve doku hasarı riskini en aza indirmek için ucu kapalı, yan taraftan açılan irrigasyon iğneleri geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar açık uçlu iğnelerin, kapalı ve yan taraftan açılan iğnelere göre daha fazla debris ve solüsyon ekstrüzyonuna neden olduğunu göstermiştir (70–73). Bu nedenle çalışmamızda kapalı uçlu ve yandan açılan irrigasyon iğneleri kullanılmıştır.

Kök kanalının apikal üçlüsüne irrigant solüsyonunun daha iyi erişimi ve etkili bir irrigasyon sağlanması için daha küçük çaplara sahip 27 veya 30 gauge irrigasyon iğneleri önerilmiştir (64). Yapılan çalışmaların çoğunda 27 veya 30 gauge irrigasyon iğneleri tercih edilmiştir (6, 11, 12, 230, 233, 238). Ayrıca küçük çaplara sahip iğneler ince ve esnek oldukları için kök kanal eğimlerini takip ederek kanal duvarlarına sıkışmadan apikal üçlüye rahatça ulaşabilirler (59). Çalışmamızda eğimli kök kanalları kullanıldığı için 30 gauge irrigasyon iğnesi tercih edilmiştir.

Çalışmamızda irrigasyon protokolünün standardizasyonu amacıyla kök kanallarına sabit hız, basınç ve miktarda irrigasyon solüsyonu verilmiştir. Kök kanalları distile su ile yaklaşık 1ml\20 sn akış hızında yıkanmıştır.

Yapmış olduğumuz çalışmada, konvansiyonel iğne irrigasyonu ve farklı 3 güncel irrigasyon sistemi karşılaştırılmış ve sonuçlar tüm sistemlerin apikal debris ekstrüzyonuna neden olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç diğer çalışmaların sonuçlarını desteklemektedir (6, 11, 230). Bu in vitro çalışmanın sınırları dahilinde karşılaştırılan konvansiyonel iğne irrigasyonu ve farklı 3 güncel irrigasyon sisteminin eğimli kök kanallarında apikal debris ekstrüzyonu açısından aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı bulunmuştur. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı için çalışmanın sıfır hipotezi kabul edilmiştir.

Konvansiyonel iğne irrigasyonu, kök kanal irrigasyonu için en sık kullanılan yöntem olmasına karşın iğnenin çapı, sertliği ve kök kanallarındaki eğrilikler bu yöntemin özellikle kök kanalının apikal üçlüdeki etkilerini sınırlandırmıştır (62, 68, 245). Produits Dentaires

SA tarafından geliştirilen IrriFlex® konvansiyonel metal iğnelerin sınırlamalarını ortadan kaldırmak amacıyla üretilmiştir. Konvansiyonel metal iğnelerin aksine, eğimli kök kanallarına kolayca adapte olabilen yumuşak bir polipropilen gövdeden yapılmıştır. Kapalı uçlu ve uç kısmında tek bir düzlemde bulunan iki yan deliğe sahiptir (86). Bu özellik irrigasyon solüsyonunun kök kanalına daha dengeli verilmesini sağlamaktadır. Çalışmamızda tek taraflı yandan açılan SNI ile iki taraflı yandan açılan IrriFlex irrigasyon iğneleri arasında bir fark bulunmamıştır. Literatürde, IrriFlex'in apikal debris ekstrüzyonu ile ilgili bir çalışma bulunmamakla birlikte Silva ve ark. farklı irrigasyon iğneleri kullanarak yapmış oldukları çalışmalarında tek taraflı yandan açılan SNI ile çift taraflı yandan açılan SNI arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit etmemişlerdir (74).

Sonik aktivasyon kök dentinini kesmeden güvenli ve güçlü bir şekilde hidrodinamik fenomene enerji vermek için tasarlanmıştır. Bu hidrodinamik aktivasyon, kök kanal sisteminin erişilemeyen bölgelerine irrigasyon penetrasyonu, dağılımı ve akışını artırmaya hizmet etmektedir. Sonik cihazların salınım yapmış olduğu uçları plastik benzeri bir malzemeden yapıldığı için kök kanal duvarı ile temas ettiğinde durmaz ve kök kanalını deforme etmez, bu nedenle ultrasonik cihazlara göre kavisli kök kanallarında güvenle kullanılabilir (142). Ayrıca hızlı ve pratik olması nedeniyle klinikte de sıklıkla tercih edilmektedir. Sonik cihazlar düşük frekansta (1500-6000 Hz) çalıştıkları için sonuç olarak, irrigasyonun akış hızı da düşük olmaktadır (143).

EndoActivator 3 farklı frekansta 33–100-167 Hz ve 3 farklı boyutta (15/.02, 25/.04, 35/.04) esnek polimer uçlara sahip olan bir sonik aktivasyon sistemidir. Cihazın düşük (2000 cpm), orta (6000 cpm) ve yüksek (10000cpm) olmak üzere 3 farklı sonik motor seçeneği bulunmaktadır. Üretici tarafından kök kanal şekillendirilmesi ve irrigasyonu tamamlandıktan sonra kök kanalında irrigasyon solüsyonu varken 30–60 saniye boyunca 10.000 döngü / dk'da etkinleştirilmesi önerilmiştir (132). Bu öneriye dayanarak çalışmamızda da EA en yüksek güç ayarı olan frekansı 167 Hz'ye denk gelen 10000 cpm'de kullanılmıştır. Ayrıca EDDY ve EA sonik cihazların karşılaştırıldığı çalışmalarda en yüksek güç ayarı tercih edilmiştir (246, 247). Çalışmamızda kök kanal şekillendirmesinin final boyutu 25.06 olarak bitirildiği için orta boy olan 25.04 uç kullanılmıştır.

Desai P. ve Himel V. final apikal çapı #50/04 olan düz kök kanallarına sahip tek köklü dişlerde kullanmış oldukları 35.04 EA ucu ve iğne penetrasyon derinliğini çalışma boyundan 2mm geride tutarak yapmış oldukları çalışmada, EA'nın SNI'ye kıyasla

apikalden daha az irrigant ekstrüzyonuna neden olduğunu göstermişlerdir (135). Bizim çalışmamızda ise eğimli kök kanallarına sahip molar dişlerde EA ve SNI grupları arasında bir fark bulunmamıştır. Çalışmamızda farklı olarak final apikal çap #25.06 boyutunda yapılmış, 25.04 EA ucu kullanılmış ve iğne penetrasyon derinliği çalışma boyundan 1 mm kısa tutulmuştur. Farklı sonuçların sebebinin 2 çalışmada farklı kök kanal eğimi, final apikal çap, EA uç boyutu ve iğne penetrasyon derinliğinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Çalışmamızın sonucu apikal debris ve irrigant ekstrüzyonunun değerlendirildiği farklı çalışmalar ile de uyumludur (77, 233, 248, 249).

EDDY; son yıllarda tanıtılmış hava ünitesine bağlı olarak sonik aktivasyon sistemi ile çalışan, 25.04 apikal çapa sahip, kesici olmayan esnek bir polimer uçtur (145). EDDY ucu, diğer sonik aktivasyon sistemlerinden farklı olarak daha yüksek bir frekansta (6000 Hz) çalışmaktadır (137–141). Daha yüksek bir frekans, daha yüksek bir akış hızı ile sonuçlanmakta ve hidrodinamik etki aletin uç salınım modelini ve genliğini de belirlemektedir (124). EA'nın salınım genliğinin 1,2 mm ve EDDY'nin 0,35 mm olduğu bildirilmiştir (250, 251). Ayrıca EA ile karşılaştırıldığında, EDDY uçları daha uzundur ve poliamidden yapılmıştır, EA uçları ise güçlendirilmemiş, düşük viskoziteli asetal polimerden yapılmıştır (252). İki sonik cihazın arasındaki farklılıkların apikal debris ekstrüzyonu üzerinde farklılıklar yaratabileceği düşünüldüğünden çalışmamızda karşılaştırılmış ancak aralarında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Literatürde EDDY ve EA sisteminin apikal debris ekstrüzyonu ile ilgili başka bir çalışma bulunmadığından sonucumuz başka çalışmalarla apikal debris ekstrüzyonu açısından karşılaştırılamamıştır. EDDY ve EA'nın apikal ekstrüze bakteri miktarı açısından karşılaştırıldığı bir çalışmada aralarında anlamlı bir fark olmadığı bildirilmiştir (247). Kök kanal eğimi 40-60° olan yapay kök kanallarında EDDY ve EA'nın irrigasyon etkinliğinin değerlendirildiği bir çalışmada ise EDDY EA'dan üstün bulunmuştur (251). Yapay modellerin isthmuslarından biofilm çıkarılmasının taklit edildiği bir çalışmada da EDDY aktivasyon sistemi EA aktivasyon sisteminden daha başarılı bulunmuştur (250).

Yusufoğlu ve ark. kök kanal eğimi 10–20° olan molar dişler ve tek eğeli sistem kullanarak yapmış oldukları çalışmalarında bizim çalışmamızın aksine EDDY grubunun, SNI grubuna göre daha fazla debris ekstrüzyonuna neden olduğunu bildirmişlerdir (11). Çalışma sonuçları arasındaki farklılığın kök kanal eğimi ve kullanılan enstrümantasyon

sistemi ile ilgili olabileceği düşünülmüştür. Çalışmamızda kök kanal eğimi 20-40° olan molar dişler ve çoklu eğe sistemi kullanılmıştır.

Kök kanal eğiminin, aktivasyon yöntemlerinin etkinliğini etkilediği bilinmektedir. Swimerberghe ve ark. yapmış oldukları çalışmalarında kanal eğriliği derecesinin, irrigasyon aktivasyon tekniklerinin debridman etkinliği üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve artan kanal eğriliğinin sonik teknikleri olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir (251). Bu durumu sonik uçların esnek olması sebebiyle kanal duvarı boyunca temas etmesi, plastik uçların elastik deformasyona uğraması ve uçların gerilim altında kalmasına bağlamışlardır. Sonuç olarak, uçların hareketi sınırlanmakta, salınım ve irrigant solüsyonu üzerindeki etkisi azalmaktadır. Ayrıca çalışmanın bulguları EDDY'nin EA'dan üstün olmadığını göstermiştir (251).

Kök kanal tedavisi sırasında apikalden debris ve irrigasyon solüsyonu ile birlikte bakteriler de apikalden ekstrüze olabilmektedir. Farklı irrigasyon aktivasyon sistemlerinin ekstrüze bakteri miktarının değerlendirildiği bir çalışmada EDDY, EA ve SNI grupları arasında bir fark olmadığı bildirilmiştir (247). Öte yandan apikal debris ekstrüzyonu periapikal bölgede irritasyona sebep olabilir ve bu durum postoperatif ağrı ile sonuçlanabilmektedir (4, 253, 254). Farklı irrigasyon aktivasyon tekniklerinden sonra postoperatif ağrının değerlendirildiği bir çalışmada EDDY, EA ve SNI grupları arasında 24.saatten sonra anlamlı bir fark olmadığını bildirmişlerdir (255). Bu durumun sebebinin de çalışmamızın bulgularıyla paralel olan benzer miktarda apikal debris ekstrüzyonu ile ilgili olduğu belirtilmiştir (255).

Bu çalışmanın limitasyonları; in vitro çalışmanın sınırları dahilinde, kullandığımız deney düzeneğinin periapikal doku basıncını taklit edemiyor olması (177), çekilmiş dişlerin mikrosertliklerinin farklı olması (198), kök kanal eğiminin 2 boyutlu yöntem ile belirlenmesi (256, 257) ve irrigasyon solüsyonu olarak distile su kullanılması sonucu klinik koşulları doğrudan yansıtamıyor olmasıdır (74).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızda SNI, IrriFlex, EDDY ve EA irrigasyon sistemi kullanılarak apikal debris ekstrüzyon miktarı karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sınırları dahilinde elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

1. Çalışmanın sıfır hipotezi kabul edilmiştir. SNI, IrriFlex, EDDY ve EA arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$).
2. Çalışmamızda kullanılan tüm irrigasyon sistemlerinin apikal debris ekstrüzyonuna neden olduğu gözlenmiştir.
3. Apikalden taşan debris miktarının değişimi ile postoperatif ağrı insidansı da değişmektedir. Bu nedenle etkin kök kanal irrigasyonu yapılırken, postoperatif ağrının azalmasını amaçlayan apikal debris ekstrüzyon miktarını azaltan irrigasyon sistemleri ve ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır.
4. Kök kanal irrigasyonu için yenilikçi bir kanül tasarımı olan IrriFlex® ve yeni bir sonik aktivasyon sistemi olan EDDY ile ilgili daha fazla apikal debris ekstrüzyon çalışmalarına ihtiyaç vardır.

7. KAYNAKLAR

1. Dowd F. (2007). *Mosby's Review for the NBDE Part II*, 2nd Editio.
2. Attin T, Buchalla W, Zirkel C, Lussi A (2002). Clinical evaluation of the cleansing properties of the noninstrumental technique for cleaning root canals. *International endodontic journal* 35: 929–933.
3. Siqueira JFJ, Rôças IN, Favieri A, Machado AG, Gahyva SM, Oliveira JCM, Abad EC (2002). Incidence of postoperative pain after intracanal procedures based on an antimicrobial strategy. *Journal of endodontics* 28: 457–460.
4. Siqueira JF (2003). Microbial causes of endodontic flare-ups. *International Endodontic Journal* 36: 453–463.
5. Seltzer S, Naidorf IJ (1985). Flare-ups in endodontics: I. Etiological factors. *Journal of endodontics* 11: 472–478.
6. Karatas E, Ozsu D, Arslan H, Erdogan AS (2015). Comparison of the effect of nonactivated self-adjusting file system, Vibringe, EndoVac, ultrasonic and needle irrigation on apical extrusion of debris. *International endodontic journal* 48: 317–322.
7. Ram Z (1977). Effectiveness of root canal irrigation. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology* 44: 306–312.
8. Akcay M, Arslan H, Mese M, Durmus N, Capar ID (2017). Effect of photon-initiated photoacoustic streaming, passive ultrasonic, and sonic irrigation techniques on dentinal tubule penetration of irrigation solution: a confocal microscopic study. *Clinical oral investigations* 21: 2205–2212.
9. Neuhaus KW, Liebi M, Stauffacher S, Eick S, Lussi A (2016). Antibacterial Efficacy of a New Sonic Irrigation Device for Root Canal Disinfection. *Journal of Endodontics* 42: 1799–1803.
10. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S (2017). Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clinical oral investigations* 21: 2681–2687.
11. İnce Yusufoglu S, Keskin NB, Saricam E, Bozkurt DA (2020). Comparison of apical debris extrusion using EDDY, passive ultrasonic activation and photon-

- initiated photoacoustic streaming irrigation activation devices. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endontology Inc* 46: 400–404.
12. Gupta J, Nikhil V, Jha P (2014). Corelation between machines assisted endodontic irrigant agitation and apical extrusion of debris and irrigant: a laboratory study. *TheScientificWorldJournal*, 2014/10/16 2014: 346184.
 13. Dioguardi M, Gioia G Di, Illuzzi G, Laneve E, Cocco A, Troiano G (2018). Endodontic irrigants: Different methods to improve efficacy and related problems. *European journal of dentistry* 12: 459–466.
 14. Sipavičiūtė E, Manelienė R (2014). Pain and flare-up after endodontic treatment procedures. *Stomatologija* 16: 25–30.
 15. Siqueira Junior JF, Rôças I das N, Marceliano-Alves MF, Pérez AR, Ricucci D (2018). Unprepared root canal surface areas: causes, clinical implications, and therapeutic strategies. *Brazilian oral research* 32: e65.
 16. Hulsmann M, Peters OA, Dummer PMH (2005). Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics* 10: 30–76.
 17. Peters OA, Schönenberger K, Laib A (2001). Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *International endodontic journal* 34: 221–230.
 18. Coelho BS, Amaral ROJF do, Leonardi DP, Marques-da-Silva B, Silva-Sousa YTC, Carvalho FMA de, Baratto-Filho F (2016). Performance of Three Single Instrument Systems in the Preparation of Long Oval Canals. *Brazilian dental journal* 27: 217–222.
 19. Wu M-K, van der Sluis LWM, Wesselink PR (2003). The capability of two hand instrumentation techniques to remove the inner layer of dentine in oval canals. *International endodontic journal* 36: 218–224.
 20. Sen BH, Wesselink PR, Türkün M (1995). The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *International endodontic journal* 28: 141–148.
 21. Violich DR, Chandler NP (2010). The smear layer in endodontics - a review. *International endodontic journal* 43: 2–15.

22. Attur K, Joy MT, Karim R, Anil Kumar VJ, Deepika C, Ahmed H (2016). Comparative analysis of endodontic smear layer removal efficacy of 17% ethylenediaminetetraacetic acid, 7% maleic acid, and 2% chlorhexidine using scanning electron microscope: An in vitro study. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry* 6: S160-5.
23. Collins English Dictionary (2003). *No Title*, 11th ed. (HarperCollins, editor).
24. Christous Boutsoukis AK (2012). Fluid dynamics of syringe based irrigation to optimise anti-biofilm efficacy in root-canal disinfection. *Roots International Magazine of Endodontology* 4: 22–25.
25. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y (2014). Irrigation in endodontics. *British dental journal* 216: 299–303.
26. Kandaswamy D, Venkateshbabu N (2010). Root canal irrigants. *Journal of conservative dentistry : JCD* 13: 256–264.
27. Basrani B, Haapasalo M (2012). Update on endodontic irrigating solutions. *Endodontic Topics* 27: 74–102.
28. Zehnder M (2006). Root canal irrigants. *Journal of endodontics* 32: 389–398.
29. Leonardi LE, Atlas DM, Raiden G (2007). Apical extrusion of debris by manual and mechanical instrumentation. *Brazilian dental journal* 18: 16–19.
30. Vertucci FJ (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology* 58: 589–599.
31. Rôças IN, Siqueira JFJ (2011). In vivo antimicrobial effects of endodontic treatment procedures as assessed by molecular microbiologic techniques. *Journal of endodontics* 37: 304–310.
32. Neelakantan P, Romero M, Vera J, Daood U, Khan AU, Yan A, Cheung GSP (2017). Biofilms in Endodontics-Current Status and Future Directions. *International journal of molecular sciences* 18.
33. Siqueira Junior JF, Rôças I das N, Marceliano-Alves MF, Pérez AR, Ricucci D (2018). Unprepared root canal surface areas: Causes, clinical implications, and therapeutic strategies. *Brazilian Oral Research* 32: 1–19.

34. Vera J, Siqueira JFJ, Ricucci D, Loghin S, Fernández N, Flores B, Cruz AG (2012). One- versus two-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a histobacteriologic study. *Journal of endodontics* 38: 1040–1052.
35. Siqueira JFJ, Araújo MC, Garcia PF, Fraga RC, Dantas CJ (1997). Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals. *Journal of endodontics* 23: 499–502.
36. Walton RE (1976). Histologic evaluation of different methods of enlarging the pulp canal space. *Journal of endodontics* 2: 304–311.
37. Mizrahi SJ, Tucker JW, Seltzer S (1975). A scanning electron microscopic study of the efficacy of various endodontic instruments. *Journal of endodontics* 1: 324–333.
38. Paqué F, Ganahl D, Peters OA (2009). Effects of root canal preparation on apical geometry assessed by micro-computed tomography. *Journal of endodontics* 35: 1056–1059.
39. Siqueira JFJ, Alves FRF, Versiani MA, Rôças IN, Almeida BM, Neves MAS, Sousa-Neto MD (2013). Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by self-adjusting file, reciproc, and twisted file systems. *Journal of endodontics* 39: 1044–1050.
40. Paqué F, Zehnder M, De-Deus G (2011). Microtomography-based comparison of reciprocating single-file F2 ProTaper technique versus rotary full sequence. *Journal of endodontics* 37: 1394–1397.
41. Markvart M, Darvann TA, Larsen P, Dalstra M, Kreiborg S, Bjørndal L (2012). Micro-CT analyses of apical enlargement and molar root canal complexity. *International endodontic journal* 45: 273–281.
42. Peters OA, Arias A, Paqué F (2015). A Micro-computed Tomographic Assessment of Root Canal Preparation with a Novel Instrument, TRUShape, in Mesial Roots of Mandibular Molars. *Journal of endodontics* 41: 1545–1550.
43. Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F (2001). Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *Journal of endodontics* 27: 1–6.
44. Yang G, Yuan G, Yun X, Zhou X, Liu B, Wu H (2011). Effects of two nickel-

- titanium instrument systems, Mtwo versus ProTaper universal, on root canal geometry assessed by micro-computed tomography. *Journal of endodontics* 37: 1412–1416.
45. Brasil SC, Marceliano-Alves MF, Marques ML, Grillo JP, Lacerda MFLS, Alves FRF, Siqueira JFJ, Provenzano JC (2017). Canal Transportation, Unprepared Areas, and Dentin Removal after Preparation with BT-RaCe and ProTaper Next Systems. *Journal of endodontics* 43: 1683–1687.
 46. Gergi R, Osta N, Bourbouze G, Zgheib C, Arbab-Chirani R, Naaman A (2015). Effects of three nickel titanium instrument systems on root canal geometry assessed by micro-computed tomography. *International endodontic journal* 48: 162–170.
 47. Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA (2010). Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *Journal of endodontics* 36: 703–707.
 48. Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M (2014). Root canal preparation of mandibular molars with 3 nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomographic study. *Journal of endodontics* 40: 1860–1864.
 49. Versiani MA, Pécora JD, de Sousa-Neto MD (2011). Flat-oval root canal preparation with self-adjusting file instrument: a micro-computed tomography study. *Journal of endodontics* 37: 1002–1007.
 50. Busquim S, Cunha RS, Freire L, Gavini G, Machado ME, Santos M (2015). A micro-computed tomography evaluation of long-oval canal preparation using reciprocating or rotary systems. *International endodontic journal* 48: 1001–1006.
 51. Paqué F, Peters OA (2011). Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the self-adjusting file. *Journal of endodontics* 37: 517–521.
 52. Espir CG, Nascimento-Mendes CA, Guerreiro-Tanomaru JM, Freire LG, Gavini G, Tanomaru-Filho M (2018). Counterclockwise or clockwise reciprocating motion for oval root canal preparation: a micro-CT analysis. *International endodontic journal* 51: 541–548.
 53. Arias A, Paqué F, Shyn S, Murphy S, Peters OA (2018). Effect of canal preparation

- with TRUShape and Vortex rotary instruments on three-dimensional geometry of oval root canals. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 44: 32–39.
54. Lacerda MFLS, Marceliano-Alves MF, Pérez AR, Provenzano JC, Neves MAS, Pires FR, Gonçalves LS, Rôças IN, Siqueira JFJ (2017). Cleaning and Shaping Oval Canals with 3 Instrumentation Systems: A Correlative Micro-computed Tomographic and Histologic Study. *Journal of endodontics* 43: 1878–1884.
 55. Teixeira FB, Sano CL, Gomes BPFA, Zaia AA, Ferraz CCR, Souza-Filho FJ (2003). A preliminary in vitro study of the incidence and position of the root canal isthmus in maxillary and mandibular first molars. *International endodontic journal* 36: 276–280.
 56. Natanasabapathy V, Durvasulu A, Krithikadatta J, Namasivayam A, Deivanayagam K, Manali S, Sureshbabu NM (2020). Current Trends in the Use of Irrigant Activation Techniques Among Endodontists & Post-Graduate Dental Students in India -A Knowledge, Attitude and Practice Based Survey. *European endodontic journal* 5: 73–80.
 57. Plotino G, Cortese T, Grande NM, Leonardi DP, Di Giorgio G, Testarelli L, Gambarini G (2016). New technologies to improve root canal disinfection. *Brazilian Dental Journal* 27: 3–8.
 58. Louis I. Grossman (2014). *Grossman's Endodontic Practice*, 13th ed. (B. S. C. G, V. Gopikrishna, editor) India.
 59. Susila A, Minu J (2019). Activated Irrigation vs. Conventional non-activated Irrigation in Endodontics - A Systematic Review. *European endodontic journal* 4: 96–110.
 60. Hargreaves KM, Hargreaves HB, Rotstein I (2016). *Cohen's Pathways of the Pulp*, 11th ed. Elsevier. doi:10.12968/denu.2021.48.3.248.
 61. Gu L, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR (2009). Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of endodontics* 35: 791–804.
 62. Chow TW (1983). Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *Journal of*

Endodontics 9: 475–479.

63. Malentacca A, Uccioli U, Zangari D, Lajolo C, Fabiani C (2012). Efficacy and safety of various active irrigation devices when used with either positive or negative pressure: an in vitro study. *Journal of endodontics* 38: 1622–1626.
64. van der Sluis LWM, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR (2006). The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *International endodontic journal* 39: 472–476.
65. Hsieh YD, Gau CH, Kung Wu SF, Shen EC, Hsu PW, Fu E (2007). Dynamic recording of irrigating fluid distribution in root canals using thermal image analysis. *International endodontic journal* 40: 11–17.
66. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E, Bekiaroglou P (2007). Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *International endodontic journal* 40: 504–513.
67. Boutsoukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LWM (2010). Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of endodontics* 36: 875–879.
68. Abou-Rass M, Piccinino M V (1982). The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology* 54: 323–328.
69. Druttman AC, Stock CJ (1989). An in vitro comparison of ultrasonic and conventional methods of irrigant replacement. *International endodontic journal* 22: 174–178.
70. Pashley, D.H, Liewehr FR (2010). *Pathways of the Pulp*, 10th ed. (K. M. Cohen, S., Hargreaves, editor) Philadelphia: Mosby Elsevier.
71. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E (2009). Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. *International endodontic journal* 42: 144–155.
72. Hülsmann M, Hahn W (2000). Complications during root canal irrigation--literature

- review and case reports. *International endodontic journal* 33: 186–193.
73. Munoz HR, Camacho-Cuadra K (2012). In vivo efficacy of three different endodontic irrigation systems for irrigant delivery to working length of mesial canals of mandibular molars. *Journal of endodontics* 38: 445–448.
 74. Silva PB, Krolow AM, Pilownic KJ, Casarin RP, Lima RKP, Leonardo R de T, Pappen FG (2016). Apical extrusion of debris and irrigants using different irrigation needles. *Brazilian Dental Journal* 27: 192–195.
 75. Altundasar E, Nagas E, Uyanik O, Serper A (2011). Debris and irrigant extrusion potential of 2 rotary systems and irrigation needles. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 112: e31-5.
 76. Psimma Z, Boutsoukis C, Kastrinakis E, Vasiliadis L (2013). Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo. *Journal of endodontics* 39: 521–524.
 77. Yost RA, Bergeron BE, Kirkpatrick TC, Roberts MD, Roberts HW, Himel VT, Sabey KA (2015). Evaluation of 4 Different Irrigating Systems for Apical Extrusion of Sodium Hypochlorite. *Journal of endodontics* 41: 1530–1534.
 78. Park E, Shen Y, Khakpour M, Haapasalo M (2013). Apical pressure and extent of irrigant flow beyond the needle tip during positive-pressure irrigation in an in vitro root canal model. *Journal of endodontics* 39: 511–515.
 79. Shen Y, Gao Y, Qian W, Ruse ND, Zhou X, Wu H, Haapasalo M (2010). Three-dimensional numeric simulation of root canal irrigant flow with different irrigation needles. *Journal of endodontics* 36: 884–889.
 80. Park E, Shen Y, Haapasalo M (2012). Irrigation of the apical root canal. *Endodontic Topics* 27: 54–73.
 81. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y (2010). Irrigation in endodontics. *Dental clinics of North America* 54: 291–312.
 82. Lee S-J, Wu M-K, Wesselink PR (2004). The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. *International endodontic journal* 37: 607–612.
 83. Falk KW, Sedgley CM (2005). The influence of preparation size on the mechanical

- efficacy of root canal irrigation in vitro. *Journal of endodontics* 31: 742–745.
84. Huang T-Y, Gulabivala K, Ng Y-L (2008). A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *International endodontic journal* 41: 60–71.
 85. Gopikrishna V, Sibi S, Archana D, Pradeep Kumar AR, Narayanan L (2016). An in vivo assessment of the influence of needle gauges on endodontic irrigation flow rate. *Journal of conservative dentistry : JCD* 19: 189–193.
 86. Rödiger T, Sedghi M, Konietschke F, Lange K, Ziebolz D, Hülsmann M (2010). Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo and passive ultrasonic irrigation in removing debris from irregularities in root canals with different apical sizes. *International endodontic journal* 43: 581–589.
 87. Rödiger T, Döllmann S, Konietschke F, Drebenstedt S, Hülsmann M (2010). Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *Journal of endodontics* 36: 1983–1987.
 88. Tay FR, Gu L-S, Schoeffel GJ, Wimmer C, Susin L, Zhang K, Arun SN, Kim J, Looney SW, Pashley DH (2010). Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *Journal of endodontics* 36: 745–750.
 89. Diemer DF, Diemer M, Beaugendre A, Blasco-baqué V, Mallet J (n.d.). Irrigation in endodontics — new needle for better results.
 90. ©2021 Produits Dentaires SA (n.d.). Irriflex. Available at: <https://pd-irriflex.com/#!/top>. .
 91. Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U, Saad AY (2006). Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *Journal of endodontics* 32: 1181–1184.
 92. Keir DM, Senia ES, Montgomery S (1990). Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *Journal of endodontics* 16: 323–327.
 93. Ribeiro EM, Silva-Sousa YTC, Souza-Gabriel AE, Sousa-Neto MD, Lorencetti KT, Silva SRC (2012). Debris and smear removal in flattened root canals after use of

- different irrigant agitation protocols. *Microscopy research and technique* 75: 781–790.
94. Ahuja P, Nandini S, Ballal S, Velmurugan N (2014). Effectiveness of four different final irrigation activation techniques on smear layer removal in curved root canals : a scanning electron microscopy study. *Journal of dentistry (Tehran, Iran)* 11: 1–9.
 95. McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng Y-L (2008). The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen “bio-molecular film” from an ex vivo model. *International endodontic journal* 41: 602–608.
 96. Bronnec F, Bouillaguet S, Machtou P (2010). Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the final irrigation regimen. *International endodontic journal* 43: 663–672.
 97. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P (2010). Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *Journal of endodontics* 36: 1361–1366.
 98. Boutsoukakis C, Psimma Z, Kastrinakis E (2014). The effect of flow rate and agitation technique on irrigant extrusion ex vivo. *International endodontic journal* 47: 487–496.
 99. Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Arslan H (2018). The Effect of Different Irrigation Agitation Techniques on Postoperative Pain in Mandibular Molar Teeth with Symptomatic Irreversible Pulpitis: A Randomized Clinical Trial. *Journal of endodontics* 44: 1451–1456.
 100. J. RC (2001). Microbrush For Endodontic Use RUDDLE, Clifford, J.
 101. Plotino G, Grande NM, Melo MC, Bahia MG SF (2009). Mechanical properties and dimensional characterisation of Roeko CanalBrush. *Int Endod J* 42: 1159.
 102. Protogerou E, Arvaniti I, Vlachos I, Khabbaz MG (2013). Effectiveness of a canal brush on removing smear layer: A scanning electron microscopic study. *Brazilian Dental Journal* 24: 580–584.
 103. Garip Y, Sazak H, Gunday M, Hatipoglu S (2010). Evaluation of smear layer removal after use of a canal brush: an SEM study. *Oral surgery, oral medicine, oral*

pathology, oral radiology, and endodontics 110: e62-6.

104. Salman MI, Baumann MA, Hellmich M, Roggendorf MJ, Termaat S (2010). SEM evaluation of root canal debridement with Sonicare CanalBrush irrigation. *International Endodontic Journal* 43: 363–369.
105. Taşdemir T, Celik D, Er K, Yildirim T, Ceyhanli KT, Yeşilyurt C (2011). Efficacy of several techniques for the removal of calcium hydroxide medicament from root canals. *International endodontic journal* 44: 505–509.
106. Grischke J, Müller-Heine A, Hülsmann M (2014). The effect of four different irrigation systems in the removal of a root canal sealer. *Clinical oral investigations* 18: 1845–1851.
107. Deenadayalan E, Kumar A, Tewari R, Mishra S, Iftekhhar H, Alam S, Andrabi syed mukhtar un nisar (2014). Newer Endodontic irrigation devices: An update. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences* 13: 4–8.
108. Setlock J, Fayad MI, BeGole E, Bruzick M (2003). Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: a comparative scanning electron microscope study. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 96: 614–617.
109. Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG (2002). Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *Journal of endodontics* 28: 837–839.
110. Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R (2010). The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy--a new concept of endodontic files and its implementation. *Journal of endodontics* 36: 679–690.
111. Hof R, Perevalov V, Eltanani M, Zary R, Metzger Z (2010). The self-adjusting file (SAF). Part 2: mechanical analysis. *Journal of endodontics* 36: 691–696.
112. Metzger Z, Teperovich E, Cohen R, Zary R, Paqué F, Hülsmann M (2010). The self-adjusting file (SAF). Part 3: removal of debris and smear layer-A scanning electron microscope study. *Journal of endodontics* 36: 697–702.
113. Koçak S, Koçak MM, Sağlam BC, Aktaş E (2014). Efficacy of three irrigation agitation techniques on bacterial elimination: a microbiologic and microscopic evaluation. *Scanning* 36: 512–516.

114. De-Deus G, Souza EM, Barino B, Maia J, Zamolyi RQ, Reis C, Kfir A (2011). The self-adjusting file optimizes debridement quality in oval-shaped root canals. *Journal of endodontics* 37: 701–705.
115. Siqueira JFJ, Alves FRF, Almeida BM, de Oliveira JCM, Rôças IN (2010). Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments or self-adjusting file to disinfect oval-shaped root canals. *Journal of endodontics* 36: 1860–1865.
116. Peters OA, Paqué F (2011). Root canal preparation of maxillary molars with the self-adjusting file: a micro-computed tomography study. *Journal of endodontics* 37: 53–57.
117. Kütük B, Akpınar KE, Altunbaş D (2017). Evaluation of apically extruded debris and irrigant using different file systems. *Nigerian journal of clinical practice* 20: 1555–1560.
118. Mohammadi Z, Shalavi S, Giardino L, Palazzi F, Asgary S (2015, September 1). Impact of ultrasonic activation on the effectiveness of sodium hypochlorite: A review. *Iranian Endodontic Journal* 10.
119. Richman MJ (1957). The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *Journal of Medicine* 12: 12–8.
120. Abbott P V, Heijkoop PS, Cardaci SC, Hume WR, Heithersay GS (1991). An SEM study of the effects of different irrigation sequences and ultrasonics. *International endodontic journal* 24: 308–316.
121. Lumley PJ, Walmsley AD, Walton RE, Rippin JW (1992). Effect of precurving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. *Journal of endodontics* 18: 616–619.
122. Boutsoukis C, Verhaagen B, Walmsley AD, Versluis M, van der Sluis LWM (2013). Measurement and visualization of file-to-wall contact during ultrasonically activated irrigation in simulated canals. *International endodontic journal* 46: 1046–1055.
123. Weller RN, Brady JM, Bernier WE (1980). Efficacy of ultrasonic cleaning. *Journal of endodontics* 6: 740–743.
124. Ahmad M, Pitt Ford TJ, Crum LA (1987). Ultrasonic debridement of root canals:

- acoustic streaming and its possible role. *Journal of endodontics* 13: 490–499.
125. Souza CC, Bueno CE, Kato AS, Limoeiro AG, Fontana CE, Pelegri RA (2019). Efficacy of passive ultrasonic irrigation, continuous ultrasonic irrigation versus irrigation with reciprocating activation device in penetration into main and simulated lateral canals. *Journal of conservative dentistry : JCD* 22: 155–159.
 126. van der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR (2007). Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International endodontic journal* 40: 415–426.
 127. Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi JM, Holz J (1987). The influence of the smear layer on the sealing ability of canal obturation. *International Endodontic Journal* 20: 228–232.
 128. Gutarts R, Nusstein J, Reader A, Beck M (2005). In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of endodontics* 31: 166–170.
 129. Huque J, Kota K, Yamaga M, Iwaku M, Hoshino E (1998). Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite. *International endodontic journal* 31: 242–250.
 130. Walmsley AD, Williams AR (1989). Effects of constraint on the oscillatory pattern of endosonic files. *Journal of endodontics* 15: 189–194.
 131. Castelo-Baz P, Martín-Biedma B, Cantatore G, Ruíz-Piñón M, Bahillo J, Rivas-Mundiña B, Varela-Patiño P (2012). In vitro comparison of passive and continuous ultrasonic irrigation in simulated lateral canals of extracted teeth. *Journal of endodontics* 38: 688–691.
 132. Tronstad L, Barnett F, Schwartzben L, Frasca P (1985). Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endodontics & dental traumatology* 1: 69–76.
 133. Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM (2010). Effectiveness of the EndoActivator System in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Journal of endodontics* 36: 308–311.
 134. Guo X, Miao H, Li L, Zhang S, Zhou D, Lu Y, Wu L (2014). Efficacy of four

- different irrigation techniques combined with 60 °C 3% sodium hypochlorite and 17% EDTA in smear layer removal. *BMC oral health* 14: 114.
135. Desai P, Himel V (2009). Comparative Safety of Various Intracanal Irrigation Systems. *Journal of Endodontics* 35: 545–549.
 136. Jasrotia A, Bhagat K, Bhagat N, Bhagat RK (2019). Comparison of Five Different Irrigation Techniques on Smear Layer Removal in Apical Thirds of Root Canals of Mandibular First Premolar: A Scanning Electron Microscopic Study. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry* 9: 630–636.
 137. Klyn SL, Kirkpatrick TC, Rutledge RE (2010). In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator system, the F file, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of endodontics* 36: 1367–1371.
 138. Mancini M, Cerroni L, Iorio L, Armellini E, Conte G, Cianconi L (2013). Smear layer removal and canal cleanliness using different irrigation systems (EndoActivator, EndoVac, and passive ultrasonic irrigation): field emission scanning electron microscopic evaluation in an in vitro study. *Journal of endodontics* 39: 1456–1460.
 139. Khaord P, Amin A, Shah MB, Uthappa R, Raj N, Kachalia T, Kharod H (2015). Effectiveness of different irrigation techniques on smear layer removal in apical thirds of mesial root canals of permanent mandibular first molar: A scanning electron microscopic study. *Journal of conservative dentistry : JCD* 18: 321–326.
 140. Eggmann F, Vokac Y, Eick S, Neuhaus KW (2020). Sonic irrigant activation for root canal disinfection: power modes matter! *BMC oral health* 20: 102.
 141. Eneide C, Castagnola R, Martini C, Grande NM, Bugli F, Patini R, Cordaro M, Sanguinetti M, Olivi G, Isola G, *et al.* (2019). Antibiofilm Activity of Three Different Irrigation Techniques: An in Vitro Study. *Antibiotics (Basel, Switzerland)* 8: 112.
 142. Plotino G, Grande NM, Mercade M, Cortese T, Staffoli S, Gambarini G, Testarelli L (2019). Efficacy of sonic and ultrasonic irrigation devices in the removal of debris from canal irregularities in artificial root canals. *Journal of applied oral science : revista FOB* 27: e20180045–e20180045.

143. Park SY, Kang MK, Choi HW, Shon W-J (2020). Comparative Analysis of Root Canal Filling Debris and Smear Layer Removal Efficacy Using Various Root Canal Activation Systems during Endodontic Retreatment. *Medicina (Kaunas, Lithuania)* 56: 615.
144. Hage W, De Moor RJG, Hajj D, Sfeir G, Sarkis DK, Zogheib C (2019). Impact of Different Irrigant Agitation Methods on Bacterial Elimination from Infected Root Canals. *Dentistry journal* 7: 64.
145. Sonic activation for more success (n.d.). .
146. Velmurugan N, Sooriaprakas C, Jain P (2014). Apical Extrusion of Irrigants in Immature Permanent Teeth by Using EndoVac and Needle Irrigation: An In Vitro Study. *Journal of dentistry (Tehran, Iran)*, 2014/07/31 11: 433–439.
147. Nielsen BA, Craig Baumgartner J (2007). Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *Journal of endodontics* 33: 611–615.
148. Miller TA, Baumgartner JC (2010). Comparison of the antimicrobial efficacy of irrigation using the EndoVac to endodontic needle delivery. *Journal of endodontics* 36: 509–511.
149. Chen JE, Nurbakhsh B, Layton G, Bussmann M, Kishen A (2014). Irrigation dynamics associated with positive pressure, apical negative pressure and passive ultrasonic irrigations: a computational fluid dynamics analysis. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 40: 54–60.
150. Khademi AA, Amini K, Ghodsian B, Zahed SM, Teymori F, Shadmehr E (2015). Removal efficiency of calcium hydroxide intracanal medicament with RinsEndo system in comparison with passive ultrasonic irrigation, an in vitro study. *Dental research journal* 12: 157–160.
151. Uzunoglu E, Görduysus M, Görduysus Ö (2015). A comparison of different irrigation systems and gravitational effect on final extrusion of the irrigant. *Journal of clinical and experimental dentistry* 7: e218–e223.
152. Hauser V, Braun A, Frentzen M (2007). Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). *International endodontic*

journal 40: 644–652.

153. Air Consumption : Air Supply Pressure : Irrigation Speed : Pulsation Rate :
Rinsendo Kit includes : Warranty : Contact your authorized Air Techniques dealer
or visit www.airtechniques.com for more information and to schedule a
demonstration . (n.d.). *Techniques*.
154. Vivekanandhan P, Subbiya A, Mitthra S, Karthick A (2016). Comparison of apical
debris extrusion of two rotary systems and one reciprocating system. *Journal of
conservative dentistry : JCD* 19: 245–249.
155. Christopher U, Emmanuel A (2010). Journal of Dentistry and Oral Hygiene. *Journal
of Dentistry and Oral Hygiene* 2: 19–22.
156. Siqueira Jr JF, Barnett F (2004). Interappointment pain: mechanisms, diagnosis, and
treatment. *Endodontic Topics* 7: 93–109.
157. Alves V de O (2010). Endodontic flare-ups: a prospective study. *Oral surgery, oral
medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 110: e68-72.
158. Imura N, Zuolo ML (1995). Factors associated with endodontic flare-ups: a
prospective study. *International endodontic journal* 28: 261–265.
159. Torabinejad M, Kettering JD, McGraw JC, Cummings RR, Dwyer TG, Tobias TS
(1988). Factors associated with endodontic interappointment emergencies of teeth
with necrotic pulps. *Journal of endodontics* 14: 261–266.
160. Chapman CE, Collee JG, Beagrie GS (1968). A preliminary report on the
correlation between apical infection and instrumentation in endodontics. *Journal of
the British Endodontic Society* 2: 7–11.
161. Vande Visse JE, Brilliant JD (1975). Effect of irrigation on the production of
extruded material at the root apex during instrumentation. *Journal of endodontics* 1:
243–246.
162. Ahmad MZ, Sadaf D, MacBain MM, Mohamed AN (2020). Apical extrusion of
debris with different rotary and reciprocating single-file endodontic instrumentation
systems: a systematic review and meta-analysis protocol. *BMJ open* 10: e038502.
163. Young GR, Parashos P, Messer HH (2007). The principles of techniques for
cleaning root canals. *Australian dental journal* 52: S52-63.

164. Tanalp J, Güngör T (2014). Apical extrusion of debris: a literature review of an inherent occurrence during root canal treatment. *International endodontic journal* 47: 211–221.
165. Buchanan LS (1989). Management of the curved root canal. *Journal of the California Dental Association* 17: 18-25,27.
166. Souza RA (2006). The importance of apical patency and cleaning of the apical foramen on root canal preparation. *Brazilian Dental Journal* 17: 6–9.
167. Cailleteau JG, Mullaney TP (1997). Prevalence of teaching apical patency and various instrumentation and obturation techniques in United States dental schools. *Journal of endodontics* 23: 394–396.
168. Al-Omari MAO, Dummer PMH (1995). Canal blockage and debris extrusion with eight preparation techniques. *Journal of Endodontics* 21: 154–158.
169. Hinrichs RE, Walker WA 3rd, Schindler WG (1998). A comparison of amounts of apically extruded debris using handpiece-driven nickel-titanium instrument systems. *Journal of endodontics* 24: 102–106.
170. Lambrianidis T, Tosounidou E, Tzoanopoulou M (2001). The effect of maintaining apical patency on periapical extrusion. *Journal of endodontics* 27: 696–698.
171. Tinaz AC, Alacam T, Uzun O, Maden M, Kayaoglu G (2005). The effect of disruption of apical constriction on periapical extrusion. *Journal of endodontics* 31: 533–535.
172. Kuttler Y (1955). Microscopic investigation of root apexes. *Journal of the American Dental Association (1939)* 50: 544–552.
173. Buchanan LS (2000). The standardized-taper root canal preparation--Part 1. Concepts for variably tapered shaping instruments. *International endodontic journal* 33: 516–529.
174. Siqueira JFJ, Lima KC, Magalhães FA, Lopes HP, de Uzeda M (1999). Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques. *Journal of endodontics* 25: 332–335.
175. Ricucci D, Langeland K (1998). Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *International endodontic journal* 31: 394–

409.

176. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K (1990). Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *Journal of endodontics* 16: 498–504.
177. Myers GL, Montgomery S (1991). A comparison of weights of debris extruded apically by conventional filing and Canal Master techniques. *Journal of endodontics* 17: 275–279.
178. Silva EJNL, Teixeira JM, Kudsi N, Sassone LM, Krebs RL, Coutinho-Filho TS (2016). Influence of apical preparation size and working length on debris extrusion. *Brazilian Dental Journal* 27: 28–31.
179. Teixeira JMS, Cunha FM, Jesus RO, Silva EJNL, Fidel SR, Sassone LM (2015). Influence of working length and apical preparation size on apical bacterial extrusion during reciprocating instrumentation. *International endodontic journal* 48: 648–653.
180. Karataslioglu E, Arslan H, Er G, Avci E (2019). Influence of canal curvature on the amount of apically extruded debris determined by using three-dimensional determination method. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 45: 216–224.
181. Serefoglu B, Kandemir Demirci G, Miçooğulları Kurt S, Kaşıkçı Bilgi İ, Çalışkan MK (2021). Impact of root canal curvature and instrument type on the amount of extruded debris during retreatment. *Restorative dentistry & endodontics* 46: e5.
182. Azar NG, Ebrahimi G (2005). Apically-extruded debris using the ProTaper system. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 31: 21–23.
183. Bidar M, Rastegar AF, Ghaziani P, Namazikhah MS (2004). Evaluation of apically extruded debris in conventional and rotary instrumentation techniques. *Journal of the California Dental Association* 32: 665–671.
184. Bürklein S, Schäfer E (2012). Apically extruded debris with reciprocating single-file and full-sequence rotary instrumentation systems. *Journal of endodontics* 38: 850–852.
185. Reddy SA, Hicks ML (1998). Apical extrusion of debris using two hand and two rotary instrumentation techniques. *Journal of endodontics* 24: 180–183.

186. Martin H, Cunningham WT (1982). The effect of endosonic and hand manipulation on the amount of root canal material extruded. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology* 53: 611–613.
187. Fairbourn DR, McWalter GM, Montgomery S (1987). The effect of four preparation techniques on the amount of apically extruded debris. *Journal of endodontics* 13: 102–108.
188. Elmsallati EA, Wadachi R, Suda H (2009). Extrusion of debris after use of rotary nickel-titanium files with different pitch: a pilot study. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 35: 65–69.
189. Nevares G, Xavier F, Gominho L, Cavalcanti F, Cassimiro M, Romeiro K, Alvares P, Queiroz G, Sobral AP, Gerbi M, *et al.* (2015). Apical Extrusion of Debris Produced during Continuous Rotating and Reciprocating Motion. *TheScientificWorldJournal* 2015: 267264.
190. Bürklein S, Börjes L, Schäfer E (2014). Comparison of preparation of curved root canals with Hyflex CM and Revo-S rotary nickel-titanium instruments. *International endodontic journal* 47: 470–476.
191. Capar ID, Arslan H, Akcay M, Ertas H (2014). An in vitro comparison of apically extruded debris and instrumentation times with ProTaper Universal, ProTaper Next, Twisted File Adaptive, and HyFlex instruments. *Journal of endodontics* 40: 1638–1641.
192. Ruddle CJ, Machtou P, West JD (2013). The shaping movement: fifth-generation technology. *Dentistry today* 32: 94,96-99.
193. Mitchell RP, Baumgartner JC, Sedgley CM (2011). Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems. *Journal of endodontics* 37: 1677–1681.
194. Uzunoglu-Özyürek E, Karaaslan H, Türker SA, Özçelik B (2017). Influence of size and insertion depth of irrigation needle on debris extrusion and sealer penetration. *Restorative dentistry & endodontics* 43: e2–e2.
195. Aksel H, Askerbeyli S, Canbazoglu C, Serper A (2014). Effect of needle insertion depth and apical diameter on irrigant extrusion in simulated immature permanent

- teeth. *Brazilian oral research* 28: 1–6.
196. Snjaric D, Carija Z, Braut A, Halaji A, Kovacevic M, Kuis D (2012). Irrigation of human prepared root canal--ex vivo based computational fluid dynamics analysis. *Croatian medical journal* 53: 470–479.
 197. Tambe VH, Nagmode PS, Vishwas JR, P SK, Angadi P, Ali FM (2013). Evaluation of the Amount of Debris extruded apically by using Conv-entional Syringe, Endovac and Ultrasonic Irrigation Technique: An In Vitro Study. *Journal of international oral health : JIOH* 5: 63–66.
 198. Tanalp J, Kaptan F, Sert S, Kayahan B, Bayirl G (2006). Quantitative evaluation of the amount of apically extruded debris using 3 different rotary instrumentation systems. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 101: 250–257.
 199. Küçükyilmaz E, Savas S, Saygili G, Uysal B (2015). Assessment of apically extruded debris and irrigant produced by different nickel-titanium instrument systems. *Brazilian oral research* 29: 1–6.
 200. Doğanay Yıldız E, Dinçer B, Fidan ME (2020). Effect of different laser-assisted irrigation activation techniques on apical debris extrusion. *Acta odontologica Scandinavica* 78: 332–336.
 201. Toyoğlu M, Altunbaş D (2017). Influence of Different Kinematics on Apical Extrusion of Irrigant and Debris during Canal Preparation Using K3XF Instruments. *Journal of endodontics* 43: 1565–1568.
 202. Bürklein S, Benten S, Schäfer E (2014). Quantitative evaluation of apically extruded debris with different single-file systems: Reciproc, F360 and OneShape versus Mtwo. *International endodontic journal* 47: 405–409.
 203. Yılmaz K, Özyürek T (2017). Apically Extruded Debris after Retreatment Procedure with Reciproc, ProTaper Next, and Twisted File Adaptive Instruments. *Journal of endodontics* 43: 648–651.
 204. Hachmeister DR, Schindler WG, Walker WA 3rd, Thomas DD (2002). The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *Journal of endodontics* 28: 386–390.

205. Lu Y, Wang R, Zhang L, Li HL, Zheng QH, Zhou XD, Huang DM (2013). Apically extruded debris and irrigant with two Ni-Ti systems and hand files when removing root fillings: a laboratory study. *International endodontic journal* 46: 1125–1130.
206. Mitchell RP, Yang S-E, Baumgartner JC (2010). Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *Journal of endodontics* 36: 338–341.
207. Gaidhani KA, Harwalkar M, Bhambere D, Nirgude PS (2015). Lyophilization / Freeze Drying-a Review. *Kunal et al World Journal of Pharmaceutical Research* *World Journal of Pharmaceutical Research SJIF Impact Factor* 5 4: 517.
208. Ruiz-Hubard EE, Gutmann JL, Wagner MJ (1987). A quantitative assessment of canal debris forced periapically during root canal instrumentation using two different techniques. *Journal of endodontics* 13: 554–558.
209. Kum KY, Spångberg L, Cha BY, Il-Young J, Msd, Seung-Jong L, Chan-Young L (2000). Shaping ability of three ProFile rotary instrumentation techniques in simulated resin root canals. *Journal of endodontics* 26: 719–723.
210. Schneider SW (1971). A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology* 32: 271–275.
211. De-Deus G, Belladonna FG, Silva EJNL, Marins JR, Souza EM, Perez R, Lopes RT, Versiani MA, Paciornik S, Neves A de A (2015). Micro-CT Evaluation of Non-instrumented Canal Areas with Different Enlargements Performed by NiTi Systems. *Brazilian dental journal* 26: 624–629.
212. Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M (2013). Micro-computed tomography evaluation of the preparation of mesiobuccal root canals in maxillary first molars with Hyflex CM, Twisted Files, and K3 instruments. *Journal of endodontics* 39: 385–388.
213. Siqueira JFJ, Rôças IN, Santos SRLD, Lima KC, Magalhães FAC, de Uzeda M (2002). Efficacy of instrumentation techniques and irrigation regimens in reducing the bacterial population within root canals. *Journal of endodontics* 28: 181–184.
214. Wu MK, Wesselink PR (2001). A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *International endodontic journal* 34: 137–141.

215. Peters OA (2004). Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *Journal of endodontics* 30: 559–567.
216. Nair PNR, Henry S, Cano V, Vera J (2005). Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after “one-visit” endodontic treatment. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 99: 231–252.
217. Kara Tuncer A, Unal B (2014). Comparison of sealer penetration using the EndoVac irrigation system and conventional needle root canal irrigation. *Journal of endodontics* 40: 613–617.
218. Siqueira JFJ, Rôças IN (2011). Optimising single-visit disinfection with supplementary approaches: a quest for predictability. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 37: 92–98.
219. Lim KC, Webber J (1985). The validity of simulated root canals for the investigation of the prepared root canal shape. *International Endodontic Journal* 18: 240–246.
220. Lee S -J, Lee C -S, Strittmatter EJ (1991). An in vitro comparison of root canal content extrusion using ultrasonic and hand instrumentation. *Dental Traumatology* 7: 65–68.
221. Boijink D, Costa DD, Hoppe CB, Kopper PMP, Grecca FS (2018). Apically Extruded Debris in Curved Root Canals Using the WaveOne Gold Reciprocating and Twisted File Adaptive Systems. *Journal of endodontics* 44: 1289–1292.
222. Pawar AM, Pawar M, Kfir A, Thakur B, Mutha P, Banga KS (2017). Effect of glide path preparation on apical extrusion of debris in root canals instrumented with three single-file systems: An ex vivo comparative study. *Journal of conservative dentistry : JCD* 20: 110–114.
223. Delai D, Boijink D, Hoppe CB, Grecca FS, Kopper PMP (2018). Apically extruded debris in filling removal of curved canals using 3 NiTi systems and hand files. *Brazilian Dental Journal* 29: 54–59.
224. Soi S, Yadav S, Sharma S, Sharma M (2015). In Vitro Comparison of Apically Extruded Debris during Root Canal Preparation of Mandibular Premolars with

- Manual and Rotary Instruments. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects* 9: 131–137.
225. Tasdemir T, Er K, Çelik D, Aydemir H (2010). An in vitro comparison of apically extruded debris using three rotary nickel-titanium instruments. *Journal of Dental Sciences* 5: 121–125.
 226. Yeter KY, Evcil MS, Ayranci LB, Ersoy I (2013). Weight of apically extruded debris following use of two canal instrumentation techniques and two designs of irrigation needles. *International endodontic journal* 46: 795–799.
 227. Logani A, Shah N (2008). Apically extruded debris with three contemporary Ni-Ti instrumentation systems: an ex vivo comparative study. *Indian journal of dental research : official publication of Indian Society for Dental Research* 19: 182–185.
 228. Jindal R, Singh S, Gupta S, Jindal P (2012). Comparative evaluation of apical extrusion of debris and irrigant with three rotary instruments using crown down technique - An in vitro study. *Journal of oral biology and craniofacial research* 2: 105–109.
 229. Lu Y, Chen M, Qiao F, Wu L (2015). Comparison of apical and coronal extrusions using reciprocating and rotary instrumentation systems. *BMC oral health* 15: 92.
 230. Shetty VP, Naik BD, Pachlag AK, Yeli MM (2017). Comparative evaluation of the amount of debris extruded apically using conventional syringe, passive ultrasonic irrigation and EndoIrrigator Plus system: An in vitro study. *Journal of conservative dentistry : JCD* 20: 411–414.
 231. Amato M, Vanoni-Heineken I, Hecker H, Weiger R (2011). Curved versus straight root canals: the benefit of activated irrigation techniques on dentin debris removal. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 111: 529–534.
 232. McKendry DJ (1990). Comparison of balanced forces, endosonic, and step-back filing instrumentation techniques: quantification of extruded apical debris. *Journal of endodontics* 16: 24–27.
 233. Sariyılmaz E, Keskin C (2018). Apical Extrusion of Debris and Irrigant Using XP-Endo Finisher, EndoActivator, Passive Ultrasonic Irrigation or Syringe Irrigation.

Meandros Medical and Dental Journal 19: 127–131.

234. De-Deus G, Neves A, Silva EJ, Mendonça TA, Lourenço C, Calixto C, Lima EJM (2015). Apically extruded dentin debris by reciprocating single-file and multi-file rotary system. *Clinical oral investigations* 19: 357–361.
235. Ferraz CC, Gomes N V, Gomes BP, Zaia AA, Teixeira FB, Souza-Filho FJ (2001). Apical extrusion of debris and irrigants using two hand and three engine-driven instrumentation techniques. *International endodontic journal* 34: 354–358.
236. Koçak S, Koçak MM, Sağlam BC, Türker SA, Sağsen B, Er Ö (2013). Apical extrusion of debris using self-adjusting file, reciprocating single-file, and 2 rotary instrumentation systems. *Journal of endodontics* 39: 1278–1280.
237. De-Deus G, Brandão MC, Barino B, Di Giorgi K, Fidel RAS, Luna AS (2010). Assessment of apically extruded debris produced by the single-file ProTaper F2 technique under reciprocating movement. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 110: 390–394.
238. Arslan D, Kustarci A (2018). Efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming on apically extruded debris with different preparation systems in curved canals. *International endodontic journal* 51 Suppl 1: e65–e72.
239. Barbosa-Ribeiro M, Arruda-Vasconcelos R, Fabretti FL, Silva EJNL, De-Deus G, Gomes BPFA (2018). Evaluation of Apically Extruded Debris Using Positive and Negative Pressure Irrigation Systems in Association with Different Irrigants. *Brazilian dental journal* 29: 184–188.
240. Arruda-Vasconcelos R, Barbosa-Ribeiro M, Louzada LM, Mantovani GD, Gomes BP (2019). Apically Extruded Debris Using Passive Ultrasonic Irrigation Associated with Different Root Canal Irrigants. *Brazilian dental journal* 30: 363–367.
241. Schafer E, Dammaschke T (2006). Development and sequelae of canal transportation. *Endodontic Topics* 15: 75–90.
242. Bürklein S, Hinschitza K, Dammaschke T, Schäfer E (2012). Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *International endodontic journal* 45: 449–461.

243. Hoppe CB, Böttcher DE, Justo AM, Só MVR, Grecca FS (2016). Comparison of curved root canals preparation using reciprocating, continuous and an association of motions. *Scanning* 38: 462–468.
244. Yared GM, Dagher FE (1994). Influence of apical enlargement on bacterial infection during treatment of apical periodontitis. *Journal of endodontics* 20: 535–537.
245. Peeters HH, Suardita K (2011). Efficacy of smear layer removal at the root tip by using ethylenediaminetetraacetic acid and erbium, chromium: yttrium, scandium, gallium garnet laser. *Journal of endodontics* 37: 1585–1589.
246. Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S (2021). Real-time intracanal temperature measurement comparing mechanically and laser-activated irrigation to syringe irrigation. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 47: 59–66.
247. Uğur Aydın Z, Erdönmez D, Ateş MO, Doğan T (2020). Efficacy of different irrigation activation systems on bacterial extrusion. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc*. doi:10.1111/aej.12432.
248. Rodríguez-Figueroa C, McClanahan SB, Bowles WR (2014). Spectrophotometric determination of irrigant extrusion using passive ultrasonic irrigation, EndoActivator, or syringe irrigation. *Journal of endodontics* 40: 1622–1626.
249. Azim AA, Aksel H, Margaret Jefferson M, Huang GT-J (2018). Comparison of sodium hypochlorite extrusion by five irrigation systems using an artificial root socket model and a quantitative chemical method. *Clinical oral investigations* 22: 1055–1061.
250. Swimberghe RCD, De Clercq A, De Moor RJG, Meire MA (2019). Efficacy of sonically, ultrasonically and laser-activated irrigation in removing a biofilm-mimicking hydrogel from an isthmus model. *International Endodontic Journal* 52: 515–523.
251. Swimberghe RCD, Buyse R, Meire MA, De Moor RJG (2021). Efficacy of different irrigation technique in simulated curved root canals. *Lasers in Medical Science* 36: 1317–1322.

252. Conde AJ, Estevez R, Loroño G, Valencia de Pablo Ó, Rossi-Fedele G, Cisneros R (2017). Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *International Endodontic Journal* 50: 976–982.
253. Seltzer S, Naidorf IJ (1985). Flare-ups in endodontics: II. Therapeutic measures. *Journal of endodontics* 11: 559–567.
254. Arias A, Azabal M, Hidalgo JJ, de la Macorra JC (2009). Relationship between postendodontic pain, tooth diagnostic factors, and apical patency. *Journal of endodontics* 35: 189–192.
255. Gündoğar M, Sezgin GP, Kaplan SS, Özyürek H, Uslu G, Özyürek T (2021). Postoperative pain after different irrigation activation techniques: a randomized, clinical trial. *Odontology* 109: 385–392.
256. Fan B, Cheung GSP, Fan M, Gutmann JL, Bian Z (2004). C-shaped canal system in mandibular second molars: Part I--Anatomical features. *Journal of endodontics* 30: 899–903.
257. Karabucak B, Gatan AJ, Hsiao C, Iqbal MK (2010). A comparison of apical transportation and length control between EndoSequence and Guidance rotary instruments. *Journal of endodontics* 36: 123–125.