

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ ENDODONTİ ANA BİLİM DALI

**FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON TEKNİKLERİNİN
GENİŞ PERİAPİKAL LEZYONLARIN İYİLEŞMESİNE
ETKİSİNİN FRAKTAL ANALİZ İLE İNCELENMESİ**

Dt. Medine ÇİÇEK

Endodonti Anabilim Dalı

Uzmanlık Tezi

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN

KABUL ve ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Endodonti Anabilim dalında, Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN danışmanlığında, Arş. Gör. Dt. Medine ÇİÇEK tarafından hazırlanan “Farklı İrrigasyon Aktivasyon Tekniklerinin Geniş Periapikal Lezyonların İyileşmesine Etkisinin Fraktal Analiz ile İncelenmesi” adlı bu tez çalışması, 11.10.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Uzmanlık Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı, Adı Soyadı

Başkan

: Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Edanur MARAŞ

Üye

: Doç. Dr. Fatma PERTEK HATİPOĞLU

ETİK BEYAN

Endodonti Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim : Farklı İrrigasyon Aktivasyon Tekniklerinin Geniş Periapikal Lezyonların İyileşmesine Etkisinin Fraktal Analiz ile İncelenmesi adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada:

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfla bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Medine ÇİÇEK
11/10/2024

TEŞEKKÜR

Endodonti alanında yaptığım uzmanlık sürecinde bana her zaman destek olan, değerli bilgilerini benimle paylaşan, her türlü sorunumda beni asla geri çevirmeyerek yardımcı olan sevgili tez danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN'a,

Beni bugünlere taşıyan, inançları ve destekleriyle her zaman yanımda olduklarını hissettiren, her başarımda izleri olan canım annem, babam, kardeşlerim ve gizli kahramanıma,

Hayatımın her anında yanımda olan, hem ev arkadaşım hem de meslektaşım olan canım kardeşim Dt. Rabia ÇİÇEK'e ve iyi ki tanışmışım dediğim Uzm. Dt. Gizem YILMAZ'a,

Uzmanlık eğitimim süresince yaşadığım en anlamlı günlerin mimarı olan, tanıdığım için kendimi şanslı saydığım, biricik dostum Uzm. Dt. Ayşe Begüm YİĞİT'e,

Tez çalışmalarım süresince hasta seçimlerimde ve takiplerinde bana yardımcı olan başta Uzm. Dt. Mehmet Umutcan DOĞAN ve çok sevgili asistan arkadaşlarıma ve endodonti bölümünün kıymetli personellerine,

Tez çalışmamın görüntü elde etme, inceleme ve ölçüm aşamalarında yapmış oldukları değerli katkılarından dolayı Doç. Dr. Dilara Nil GÜNAÇAR ve röntgen teknisyenlerimize çok teşekkür ederim.

Medine ÇİÇEK

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN.....	I
TEŞEKKÜR.....	II
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XI
1.GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİLER.....	6
2.1. Kök Kanal Tedavisi (KKT).....	6
2.2. Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyon.....	6
2.2.1. Sodyum Hipoklorit (NaOCl).....	8
2.2.2. Etilen Diamin Tetraasetik Asit (EDTA).....	8
2.2.3. Klorheksidin (CHX).....	9
2.2.4. Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂).....	10
2.3. Endodontide İrrigasyon Aktivasyonu.....	10
2.3.2. Manuel Aktivasyon Teknikleri.....	12
2.3.2.1. İrrigasyon Fırçaları.....	12
2.3.2.2. Manuel Dinamik Aktivasyon.....	13
2.3.3. Mekanik Aktivasyon Teknikleri.....	13
2.3.3.1. Rotary Fırçalar.....	13
2.3.3.2. Kanal Preparasyonu Sırasında İrrigasyon Aktivasyonu Yapan Sistemler.....	14
2.3.3.3. Negatif Basınç Prensibi ile Çalışan Cihazlar.....	16
2.3.4. Sonik Aktivasyon Teknikleri.....	17
2.3.5. Ultrasonik Aktivasyon Teknikleri.....	20

2.3.6. Lazer Destekli Aktivasyon.....	22
2.3.7. Gentlewave.....	25
2.4. Endodontik Tedavi Başarısının Değerlendirilmesi.....	26
2.4.1. Klinik Değerlendirme.....	26
2.4.2. Radyolojik Değerlendirme.....	27
2.4.3. Periapikal İndeksler.....	27
2.5. Görüntüleme Yöntemleri.....	29
2.6. Fraktal Analiz.....	29
3.GEREÇ ve YÖNTEM.....	31
3.1. Hasta Seçimi.....	32
3.2. Kanal Tedavisi Protokolü.....	33
3.2.1. İrrigasyon Solüsyonlarının Aktivasyonu.....	34
Grup 1 (MDA).....	34
Grup 2 (Sonik Aktivasyon).....	34
Grup 3 (PUİ ile Aktivasyon).....	35
Grup 4 (PIPS).....	36
Grup 5 (AutoSWEEPS).....	37
Kontrol Grubu (Geleneksel Şırınga İrrigasyonu).....	38
3.2.2. Kanalların Doldurulması ve Restorasyon.....	38
3.3. Radyografik Yöntem.....	39
3.4. Fraktal Analiz Yöntemi Kullanılarak Lezyon Boyut Değişikliklerinin İncelenmesi.....	40
3.5. İstatistiksel Analiz.....	42
4. BULGULAR.....	43
4.1. PAI Skorlarının Değerlendirilmesi.....	44

4.1.1. Normal Dağılımın ve Homojenitenin Değerlendirilmesi.....	44
4.1.2. Kanal Tedavisinin ve İrrigasyon Tekniklerinin PAI Skoruna Etkisinin Değerlendirilmesi.....	46
4.2. Lezyon Çapının Değerlendirilmesi.....	48
4.2.1. Normal Dağılımın ve Homojenitenin Değerlendirilmesi.....	48
4.2.2. Kanal Tedavisinin ve İrrigasyon Tekniklerinin Lezyon Çapına Etkisinin Değerlendirilmesi.....	50
4.3. Fraktal Boyutun Değerlendirilmesi.....	51
4.3.1. Normal Dağılımın ve Homojenitenin Değerlendirilmesi.....	51
4.3.2. Kanal Tedavisinin ve İrrigasyon Tekniklerinin Fraktal Boyuta Etkisinin Değerlendirilmesi.....	53
5. TARTIŞMA.....	55
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	74
EKLER.....	94
EK-1. Özgeçmiş.....	94
EK-2. Etik Kurul Onayı.....	95
EK-3. Tedavi Planlama Formu.....	96
EK-4. Power Analiz.....	97
EK-5. İntihal Raporu.....	98

ÖZET

Farklı İrrigasyon Aktivasyon Tekniklerinin Geniş Periapikal Lezyonların İyileşmesine Etkisinin Fraktal Analiz Yöntemi ile İncelenmesi

Amaç: Bu çalışmanın amacı, farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin geniş periapikal lezyonlu mandibular premolar dişlerin iyileşmesine etkisini değerlendirmektir.

Gereç ve Yöntem: PAI (periapikal index) skoru 3 ve üzeri olan mandibular tek köklü premolar dişlere sahip, sistemik olarak sağlıklı 118 hasta çalışmaya dahil edildi. Kullanılan aktivasyon tekniğine göre hastalar 5 ayrı gruba ayrıldı ve EA, PUI, PIPS, SWEEPS, MDA ile aktivasyon yapılarak rutin kök kanal tedavisi veya retreatment işlemi uygulandı. Kontrol grubunda ise sadece geleneksel şırınga yöntemi ile irrigasyon yapıldı. Tedavi öncesinde ve 1 yıllık takip sonrasında alınan panoramik radyografi üzerinde fraktal analiz yapıldı. Aktivasyon sistemlerinin iyileşmeye etkisi fraktal boyut, PAI skoru ve lezyon çapı açısından karşılaştırıldı. Her bir grup için öncesi ve sonrası karşılaştırmalar Wilcoxon rank testi ile istatistiksel olarak analiz edildi.

Bulgular: Kanal tedavisi sonrası fraktal boyut değerleri her bir irrigasyon cihazı ve kontrol grubu için kanal tedavisi öncesi verilerine göre anlamlı miktarda arttı ($p<0,001$). Fraktal boyuttaki artış açısından irrigasyon grupları arasında anlamlı bir fark bulunmadı ($p>0,05$). Kanal tedavisi sonrası PAI skoru ve lezyon çapı değerleri her bir irrigasyon yöntemi için kanal tedavisi öncesi verilerine göre anlamlı miktarda azalma gösterdi ($p<0,001$) ve kontrol grubundaki PAI skoru ve lezyon çapı değerleri PIPS ve SWEEPS gruplarına kıyasla anlamlı miktarda daha yüksekti ($p<0,05$). Diğer grup karşılaştırmalarında anlamlı bir farklılık elde edilmedi ($p>0,05$).

Sonuç: Hiçbir aktivasyon yöntemi fraktal boyut artışı açısından üstünlük sağlamamıştır ancak SWEEPS ve PIPS'in 1 yıllık takipte lezyon çapı ve PAI skoru kontrol grubuna göre anlamlı derecede daha düşüktür.

Anahtar Kelimeler: Fraktal analiz, İrrigasyon aktivasyonu, PAI, PIPS, SWEEPS

ABSTRACT

Investigation of the Effect of Different Irrigation Activation Techniques on the Healing of Large Periapikal Lesions by Fractal Analysis

Aim: The aim of this study was to evaluate the effects of different irrigation activation methods on the healing of mandibular premolars with large periapical lesions.

Materials and Methods: A total of 118 systemically healthy patients with mandibular single-rooted premolar teeth and a PAI (periapical index) score of 3 or higher were included in the study. According to the activation technique used, the patients were divided into five different groups, and routine root canal treatment or retreatment was performed using activation with EA, PUI, PIPS, SWEEPS, and MDA. In the control group, irrigation was performed using only the traditional syringe method. Fractal analysis was performed on panoramic radiographs taken before treatment and after a one-year follow-up. The effect of the activation systems on healing was compared in terms of fractal dimension, PAI score, and lesion size. Pre- and post-treatment comparisons for each group were statistically analyzed using the Wilcoxon rank test.

Results: The fractal dimension values after root canal treatment significantly increased for each irrigation technique and the control group compared to the pre-treatment values ($p < 0.001$). There was no significant difference in the increase in fractal dimension among the irrigation groups ($p > 0.05$). The PAI score and lesion size values after root canal treatment significantly decreased for each irrigation technique compared to the pre-treatment values ($p < 0.001$), and the PAI score and lesion size values in the control group were significantly higher compared to the PIPS and SWEEPS groups ($p < 0.05$). No significant differences were found in other group comparisons ($p > 0.05$).

Conclusion: None of the activation techniques demonstrated superiority in terms of increasing fractal dimension; however, both SWEEPS and PIPS showed significantly lower lesion size and PAI scores compared to the control group after a 1-year follow-up.

Keywords: Fractal analysis, Irrigation activation, PAI, PIPS, SWEEPS

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AAP	: Akut Apikal Periodontitis
Ark	: Arkadaşları
BT	: Bilgisayarlı Tomografi
>	: Büyüktür
≥	: Büyük eşittir
CHX	: Klorheksidin
DM	: Diabetes Mellitus
EA	: Easydo Activator
EDTA	: Etilen Diamin Tetraasetik Asit
Er:YAG	: Erbiyum Katkılı Yitrium Alüminyum Granat
Er,Cr:YAG	: Erbiyum Kranyum Katkılı Yitrium Alüminyum Granat
FA	: Fraktal Analiz
FB	: Fraktal Boyut
GW	: Gentlewave
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
kHz	: Kilohertz
KIBT	: Konik Işınli Bilgisayarlı Tomografi
KKT	: Kök Kanal Tedavisi
<	: Küçüktür
kVp	: Kilovoltaj

LAI	: Laser-activated irrigation
mAs	: Miliamper saniye
MDA	: Manuel Dinamik Aktivasyon
mJ	: Megajoule
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
MRG	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
NaOCl	: Sodyum hipoklorit
Nd:YAG	: Neodymium Katkılı Yitrium Alüminyum Granat
Ni-Ti	: Nikel Titanyum
nm	: Nanometre
PAI	: Periapikal İndeks Skorum Sistemi
PIPS	: Photon Induced Photoacoustic Streaming
SSP	: Super Short Pulse
PUI	: Pasif Ultrasonik İrrigasyon
ROI	: Region of Interest
SAF	: Self Adjusting File
SWEEPS	: Shock Wave Enhanced Emission Photoacoustic Streaming
%	: Yüzde

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Easydo Activator cihazı (EA; Easyinsmile (Weixiaomeichi),Changsha, China).....	35
Şekil 2. Ultrasonik cihaz (DTE, Guilin Woodpecker Co., Guilin, Guangxi, Çin).....	36
Şekil 3. Çalışmada kullanılan Er:YAG lazer (Lightwalker, Fotona, Ljubljana, Slovenya).....	37
Şekil 4. SWEEPS 600, Fotona	38
Şekil 5. Panoramik görüntüden ilgi alanının (ROI) belirlenmesi.....	41
Şekil 6. Fraktal boyut analizi adımları	41
Şekil 7. Çalışmaya ait akış diyagramı	44
Şekil 8. PAI skor verilerinin olasılık dağılımını gösteren Q-Q grafiği.....	45
Şekil 9. Kanal tedavisi ve irrigasyon metotlarının PAI skoruna etkilerini gösteren grafik (95% güven aralığında)	47
Şekil 10. Lezyon çapı verilerinin olasılık dağılımını gösteren Q-Q grafiği.....	49
Şekil 11. Kanal tedavisi ve irrigasyon metotlarının lezyon çapına etkilerini gösteren grafik (95% güven aralığında).....	51
Şekil 12. Fraktal boyut verilerinin olasılık dağılımını gösteren Q-Q grafiği	52
Şekil 13. Kanal tedavisi ve İrrigasyon metotlarının fraktal boyuta etkilerini gösteren grafik (95% güven aralığında).....	54

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Cinsiyet ve yaşa göre aktivasyon yöntemlerinin karşılaştırılması.....	43
Tablo 2. PAI Skor bağımsız değişkenine göre normalite test sonuçlarının gösterilmesi	45
Tablo 3. PAI Skor bağımsız değişkenine göre homojenite test sonuçlarının gösterilmesi	45
Tablo 4. Kanal tedavisinin ve irrigasyon tekniklerinin PAI skoruna etkisinin gösterimi.....	46
Tablo 5. PAI skoruna göre 1 yıllık takipte ‘iyileşmiş’ ve ‘iyileşmemiş’ lezyonların sayısal ve yüzdesel değeri	47
Tablo 6. PAI skoruna göre 1 yıllık takipte lezyon boyutundaki değişimlerin sayısal verileri	48
Tablo 7. Lezyon çapı veri bağımsız değişkenine göre normalite test sonuçlarının gösterilmesi	49
Tablo 8. Lezyon çapı veri bağımsız değişkenine göre homojenite test sonuçlarının gösterilmesi	49
Tablo 9. Kanal tedavisinin ve irrigasyon tekniklerinin lezyon çapına etkisinin gösterimi.....	50
Tablo 10. Fraktal boyut bağımsız değişkenine göre normalite test sonuçlarının gösterilmesi	52
Tablo 11. Fraktal boyut bağımsız değişkenine göre homojenite test sonuçlarının gösterilmesi	52
Tablo 12. Kanal tedavisinin ve irrigasyon tekniklerinin fraktal boyuta etkisinin gösterimi.....	53

1.GİRİŞ

Endodontik tedavinin primer hedefi; kontamine ve enfekte kök kanal sisteminin mikroorganizmalardan en uygun şekilde temizlenmesi ile enfeksiyonun tedavi edilmesi ve sonraki süreçlerde meydana gelebilecek yeniden enfeksiyonun önüne geçilmesidir. Başarılı bir endodontik tedavi, kök kanal sisteminin etkin şekilde entrümantasyonu, irrigasyonu ve obturasyonuna bağlıdır.¹ Pulpa ve periapikal doku hastalıklarının en önemli etkeni bakteriler olarak bilinse de endodontik enfeksiyonlar polimikrobiyal enfeksiyonlardır.² Yapılan çalışmalarda anaerobik bakteriler, primer kök kanal enfeksiyonlarının etken mikroorganizması olarak bildirilse de maya mantarları gibi yapıların da bu enfeksiyonlarda rol oynadığı gösterilmiştir.³

Endodontik başarı vital ve nekrotik pulpa dokusunun, kök kanal sisteminde bulunan mikroorganizmaların ve bu mikroorganizmaların ürünlerinin uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır.⁴ Endodontik tedavide kök kanal preparasyonu sırasında oluşan smear tabakası kök kanal dolum ajanlarının lateral kanal ve isthmus gibi kolaylıkla erişilemeyen alanlara ulaşmasına engel olur.^{5,6} Ayrıca kök kanal sisteminin karmaşık anatomisi enfekte alanın tamamını debride etme yeteneğimizi sınırlandırır. Bu nedenle kök kanallarındaki enfeksiyon odaklarını efektif şekilde uzaklaştırabilmek için kök kanal preparasyonunu etkin bir irrigasyon protokolü ile birlikte gerçekleştirilmelidir.⁴

İdeal kök kanal irrigasyon ajanı, hem planktonik hem de biyofilmde yer alan geniş mikroorganizma kolonizasyonuna karşı antimikrobiyal etki göstermeli, pulpa dokusu kalıntılarını ve smear tabakasını uzaklaştırmalı veya oluşumunu önlemeli, lokal ve sistemik olumsuz etkileri oluşturmamalı ve düşük maliyetle geniş alanda kullanılabilmelidir.⁷

Ayrıca endotoksin ve lipoteikoik asit gibi bakteriyel virölans faktörlerini etkisiz hale getirebilmelidir.⁷ Endodontik tedavinin irrigasyon aşamasında altın standart olarak sodyum hipokloritin (NaOCl) kullanım nedeni güçlü antimikrobiyal etkisi ve organik doku çözme özelliğinden kaynaklıdır. Fakat smear tabakasının inorganik kısmına etki etmediği için bir şelatör ile desteklenmesi gerekmektedir. Bu yüzden Etilen Diamin Tetraasetik Asit (EDTA) ile birlikte kullanımı önerilmektedir.⁸⁻¹⁰

Günümüzde kanal sistemi içindeki bakteri ve debris artıklarını azaltmada irrigasyona yardımcı olabilecek farklı araç ve teknikler geliştirilmiştir.¹¹ Sonik, ultrasonik aktivasyon ve lazer aktivasyon yöntemlerinin dışında geleneksel enjektörler ile gerçekleştirilen irrigasyon gibi klasik yöntemler de kullanılmaktadır.¹²⁻¹⁴

İrrigasyon solüsyonları geleneksel olarak kök kanal sistemine farklı boyut ve uç tasarımına sahip şırıngalar ve metal iğneler kullanılarak iletilir. Şırınga ile irrigasyon yönteminde solüsyonun iğne ucundan itibaren en fazla 1-1,5 mm ileriye ulaşabildiği gösterilmiştir.¹⁵ Klinik deneyimler geleneksel yaklaşımın tipik olarak kök kanal sisteminin kompleks yapısından kaynaklanan, özellikle kanallar arasındaki anastomozlar ve kök kanalının en apikal kısmı gibi periferik alanlarda solüsyon penetrasyonunun yetersiz olduğunu göstermiştir.¹⁶ Bu nedenle irrigasyonun nüfuzunu ve etkinliğini artırmak için farklı aktivasyon teknikleri geliştirilmiştir.¹⁷

İrrigasyon aktivasyon yöntemlerinden biri olan manuel dinamik aktivasyon (MDA) kök kanal enstrümantasyonu bittikten sonra kanalla uyumlu olan guta perkanın ileri geri hareket ettirilmesi ile yapılır.¹⁸

Aktivasyon için kullanılan bir diğer yöntem ise ultrasoniklerin kullanımıdır.¹⁹ Pasif ultrasonik irrigasyon (PUI), kök kanal duvarlarına temas olmadan kanal içerisindeki irrigasyon solüsyonunun aktivasyonunu sağlamak için ultrasonik olarak aktive edilmiş paslanmaz çelik eğelerin veya düz tellerin kullanıldığı aktivasyon yöntemidir. 25-30 kHz frekansta akustik enerji ultrasonik dalgalar aracılığıyla iletilir. Böylece, organik ve inorganik kalıntıların kök kanalından giderilmesinde irrigasyon solüsyonlarının etkinliğini artırır.²⁰ Farklı bir aktivasyon yöntemi olan sonik sistemlerde ise düşük frekanslı titreşime (1–6 kHz) sahip hava basıncı ile çalışan özel kanal aletlerine bağlı esnek uçlar kullanılarak aktivasyon gerçekleştirilir.²¹

Günümüzde lazerin, endodontide kök kanallarının temizlenmesi ve şekillendirilmesi, smear tabakasının ve debrislerin uzaklaştırılması, irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu ile etkinliğinin artırılması gibi alanlarda kullanılabileceği rapor edilmiştir.²²⁻²⁴ Özellikle Neodymium (Nd:YAG) ve Erbiyum (Er:YAG) lazerler irrigasyon aktivasyonu amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır.¹² Lazer ile aktive edilen irrigasyon (LAI) yöntemi, optik kavitasyon üreten Er:YAG veya Er, Cr:YSGG lazerleri tarafından irrigasyon solüsyonunun hızlı bir şekilde ısıtılmasına dayanır.²⁵ Yasuda ve ark.²⁶ tarafından yapılan çalışmada Nd:YAG ve Er:YAG lazerin kontamine kök kanal sistemindeki antibakteriyel etkinliği incelenmiş ve Er:YAG lazer daha başarılı bulunmakla birlikte her iki lazer sisteminin de bakterisidal etkinliğe sahip olduğu bildirilmiştir.

Lazerle irrigasyon aktivasyon yönteminin ‘Fotonla Başlatılan Fotoakustik Akış’ (PIPS) ve Şok Dalgası Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akış (SWEEPS) gibi çeşitleri bulunmaktadır. Farklı cihaz ayarları ve pulpa odasına yerleştirilen radyal ve şerit şeklinde tasarlanmış özel fiber lazer uçları sayesinde minimal şekilli kök kanallarından bakteri ve smear tabakasını uzaklaştırmada etkili olduğu savunulan bu yöntemler için kanıtlar hala sınırlıdır.²⁷ Bu teknikte, kök kanalı yerine kanal ağzına özel olarak tasarlanmış bir radyal uç yerleştirilir ve bu uç, sestten daha hızlı hareket eden hızlı bir şok dalgası oluşturarak kök kanalı boyunca irrigasyon solüsyonunun üç boyutlu hareket etmesini sağlar.²⁸

Dar kök kanalları gibi sınırlı alanlarda şok dalgaları oluşturmak çok zordur çünkü kanal duvarlarındaki sürtünme kaviteasyonu yavaşlatır ve solüsyon yeterince hızlı hareket edemez.^{29,30} Bu nedenle, dar kök kanallarında şok dalgaları oluşturmanın zorluğunun üstesinden gelmek için yenilikçi bir Er:YAG modalitesi olan ‘Şok Dalgasıyla Güçlendirilmiş Emisyon Fotoakustik Akışı’ (SWEEPS) tanıtılmıştır. Bu teknikte, solüsyona bir lazer darbesi çifti yayılır. İlk lazer darbesi, daha küçük ikincil kabarcıklarla genişleyen ve maksimum hacmine ulaştıktan sonra çökmeye başlayan bir buhar kabarcığı oluşturur. Çöküşünün son aşamasında, sonraki lazer darbesi yayılır ve bu da yeni bir kabarcık oluşumuna yol açar. Bu sonraki kabarcık, ilk ve ikincil kabarcıklar üzerinde basınca neden olarak hızlanan bir çökmeye ve sonuç olarak şok dalgalarının yayılmasına yol açar.³⁰

Geometrideki kare, daire, üçgen gibi bilindik ve basit şekillerle tanımlanamayan, farklı ölçeklerden incelendiğinde kendine benzeme özelliği gösteren karmaşık yapılara ‘fraktal’ denmektedir.³¹

Fraktal analiz; kolay ulaşılabilir olması, projeksiyon geometrisi ve radyodensite gibi değişkenlerden etkilenmemesi ve trabeküler iç yapı hakkında objektif veriler sunması gibi özellikleriyle son dönemlerde kullanımı gittikçe artan bir yöntemdir.³¹ Diş hekimliğinde fraktal analiz kullanılarak; alveolar kemikte meydana gelen erken dönem periodontal değişikliklerin saptanması, trabeküler kemik yapısındaki değişimlerin korelasyonunun incelenmesi gibi çok sayıda çalışma yapılmıştır. Kök kanal tedavisi sonrası iyileşmenin takip edilmesinde fraktal analizin kantitatif bir metot olduğu savunulmuş, fraktal boyutun iyileşme ve inflamasyon gibi süreçlerde trabeküler kemiğin yapısal değişikliklerinin değerlendirilmesinde önemli bir belirteç olduğu vurgulanmıştır.³²

Bu çalışmanın amacı, farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleri (MDA, sonik, ultrasonik, Er:YAG lazer) kullanılarak endodontik kökenli geniş periapikal lezyona sahip Vertucci Sınıf 1 tek köklü mandibular premolar dişlere tedavi öncesi ve tedaviden 1 yıl sonra takip amaçlı alınan panoramik görüntüleme ile fraktal analizi yapılarak iyileşme oranlarının karşılaştırılmasıdır. Başlangıç hipotezi Er:YAG lazer, ultrasonik, sonik ve MDA yöntemlerinin geniş periapikal lezyonların iyileşmesini etkilemeyeceği şeklinde kurulmuştur.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Kök Kanal Tedavisi (KKT)

Kök kanal tedavisi; kron ve kök kısmında bulunan pulpa dokusu çıkartıldıktan sonra kök kanallarının kemomekanik temizleme ile mikroorganizmalardan elimine edilmesi ve sızdırmazlığın sağlanması için kök ucuna kadar doldurulması işlemidir. Kök kanal kompleksinden nekrotik artıkları temizleyerek periradiküler yapıların onarımı ve ilgili dişin ağızda tutulması amaçlanır.³³

Kök kanal sisteminin karmaşık anatomisi göz önünde bulundurulduğunda, tek başına mekanik temizlik bakterilerin kök kanallarından tamamen yok olması için yetersiz kalmaktadır.³⁴ Preparasyon sonrası kök kanalının tamamen temizlenmesine engel olan ve dolum materyallerinin dentin tübüllerine adaptasyonunu zorlaştıran bir tabaka meydana gelmektedir. Bu tabaka smear tabakası olarak adlandırılır.³⁵ Ayrıca tedavi süresince kullanılan dezenfektanlar kök kanal anatomisine bağlı olarak tam anlamıyla tüm alanlara erişemediği için uygun temizliğin sağlanamadığı bilinmektedir. Bu durum erişimin zor olduğu alanlarda bulunan yerleşik biyofilmin uzaklaştırılamaması problemini de meydana getirmektedir.^{36, 37}

İdeal bir irrigasyonla, irrigasyon ajanının kök kanal kompleksinin ulaşılması güç bölgelerine penetre olması, ve antimikrobiyal etkisi ile kök kanalları içerisine yerleşen biyofilm ve smear tabakasının ortadan kaldırması hedeflenmektedir.³⁸

2.2. Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyon

Bakterilerin, pulpa ve periapikal lezyonların gelişiminde birincil etiyolojik faktör olduğu uzun süredir bilinen bir gerçektir.³⁹

Kök kanal tedavisinin başarısı pulpa dokusunun, dentin kalıntılarının ve enfektif mikroorganizmaların kemomekanik olarak tamamen debridmanına bağlıdır.⁴⁰

Endodontik tedavide irrigasyonun mekanik, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç temel hedefi vardır. Irrigasyonun mekanik ve kimyasal amaçları şu şekildedir;

*Pulpa ve dentin kalıntılarını temizlemek

*Kanalın lubrikasyonunu sağlamak

*Organik ve inorganik dokuyu çözmek

*Kanal enstrümantasyonu sırasında veya sonrasında oluşabilecek smear tabakasını engellemek

Irrigasyonun biyolojik amacı ise irrigasyon ajanlarının antimikrobiyal etkileriyle ilişkilidir. İdeal irrigasyon ajanı⁴¹, planktonik hallerinde ve biyofilmlerde anaerobik ve fakültatif mikroorganizmalara karşı yüksek etkinlik göstermeli, endotoksinleri etkisiz hale getirebilmeli, biyouyumlu olmalı, vital periapikal dokuları irrite etmemeli, kostik ve sitotoksik etki yapmamalı, ve anafilaktik reaksiyona sebep olma riski düşük olmalıdır.⁴²

Endodontide oldukça sık kullanılan yöntemlerden biri geleneksel enjektörler ile gerçekleştirilen irrigasyondur. Farklı çaplara sahip enjektör uçlarının kök kanalında ileri geri hareketleri ile uygulanarak dezenfeksiyon sağlanması amaçlanır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise ucu açık enjektörle ve fazla basınç ile uygulandığında irrigasyon solüsyonlarının apikal bölgeden dışarı taşırılma riskidir. Taşan NaOCl çevre dokuları hızla okside eder. Bu durumun önüne geçebilmek için yandan delikli enjektör iğneleri tasarlanmış ve endodonti pratiğinde kullanıma sunulmuştur.⁴³ Günümüzde NaOCl, EDTA, Klorheksidin (CHX), Hidrojen peroksit (H₂O₂), Sitrik asit, Maleik asit ve farklı irrigasyon ajanlarının kombinasyonları klinikte tercih edilmektedir.³⁵

2.2.1. Sodyum Hipoklorit (NaOCl)

NaOCl, 90 yılı aşkın süredir kullanımda olan bir endodontik irrigasyon ajanıdır.⁴⁴ NaOCl geniş spektrumlu antibakteriyel etkisi, organik dokuları çözme kapasitesi, dentin penetrasyonunun iyi olması, maliyetinin düşük olması, lubrikasyon etkisi gibi avantajlarından dolayı klinikte tercih edilmektedir.⁴⁵ NaOCl'nin yüksek pH(11-12,2)'ye sahip olması ona geniş antimikrobiyal etkinlik kazandırmaktadır.⁴⁶

Endodontik literatürde %0,5 ila %5,25 arasında değişen konsantrasyonlarda NaOCl kullanımı gösterilmiştir ve en yaygın kullanılan konsantrasyonu %2,5'tir.⁴⁷ NaOCl'nin kök kanal kompleksindeki organik doku çözücü ve antibakteriyel etkisi, ısıtılması, mekanik olarak aktive edilmesi ve etkin konsantrasyon oranının yükseltilmesi ile artırılabilir.⁴⁸

Yüksek NaOCl konsantrasyonları daha güçlü antimikrobiyal aktivite ve doku çözme özellikleri ortaya koyabilse de konsantrasyon arttıkça sitotoksitesi artmakta ve periapikal dokuda iritasyon oluşturmaktadır.⁴⁹ Bu dezavantajın yanı sıra, dentin kollajenini bozarak kök kanal tedavili dişlerde mekanik özelliklerinin zayıflamasına neden olduğu da bilinmektedir. NaOCl tek başına veya kombinasyon halinde kullanıldığında dentinin bükülme özellikleri ve sertliği olumsuz etkilenmektedir.⁵⁰

2.2.2. Etilen Diamin Tetraasetik Asit (EDTA)

EDTA bir şelatör olması ve smear tabakasının inorganik kısmını uzaklaştırması sebebiyle sık kullanılan irrigasyon ajanlarından biridir.⁵¹ EDTA gibi şelatör ajanlar, kök kanal duvarına yapışan biyofilm tabakasını kaldırmada da etkilidirler. Dentin, smear tabakası veya kanal duvarlarındaki Ca^{+2} ile birleşerek şelat oluşturur.⁴⁶

EDTA normalde %17'lik konsantrasyonlarda kullanılır. Eğer solüsyon kök kanal duvarlarının tüm yüzeyine ulaşabilirse smear tabakası üzerinde 1 dakikadan çok daha kısa sürede etkilidir. Temas süresi arttıkça dentinin demineralizasyonu artmaktadır. Kökün apikal üçte birlik kısmında %17 EDTA'nın 1 dakika süreyle ultrasonik aktivasyonla uygulamasının son derece efektif olduğu gösterilmiştir.⁵²

2.2.3. Klorheksidin (CHX)

CHX, ağız ortamındaki plakları kimyasal olarak kontrol etmek için sıklıkla kullanılan güçlü bir antiseptiktir. CHX'in endodontik dezenfeksiyon aracı olarak jel veya likit şeklinde 2 farklı kullanımı önerilmektedir.⁵³ Yapılan bir çalışmada, CHX'in her iki formu kök kanal temizleme yetenekleri açısından elektron tarama mikroskobu ile incelenmiş ve %2'lik CHX jelin, %2'lik CHX ve %5,25'lik NaOCI kombinasyonu ile tedavi edilen kanala göre çok daha iyi temizlendiği gösterilmiştir. Bu da jel formun mekanik etkiyle kanal temizlemede daha etkili olduğunu göstermiştir.⁵⁴

Endodontik tedavide kemomekanik preparasyon sonrası %2'lik bir CHX çözeltisi antibakteriyel etkiyi sağlamak için uygundur. Düşük konsantrasyonlarda bakteriyostatik etki gösteren CHX, daha yüksek konsantrasyonlarda bakterisidaldir.⁵⁵ Bu yüzden CHX'in antibakteriyel etkinliğinin konsantrasyon seviyesine bağlı olduğu bildirilmiştir.⁵⁶ CHX gram pozitif ve negatif bakterilere, bakteri sporlarına, lipofilik virüslere, mayalara ve mantarlara karşı etkilidir. CHX'in antibakteriyel etkisi ideal pH'ye (5,5-7) ulaşılmasına da bağlıdır. Ortamda organik madde mevcut olduğunda etkinliği azalır.⁵⁷

CHX'in tat ve kokusunun hastalar tarafından tolere edilebilmesi, antimikrobiyal-antifungal etkisi ve bu etkisini bir süre daha devam ettirebilmesi, biyouyumlu olması ve bakteri lipopolisakkaritlerine etkinliği nedeniyle NaOCl'ye alternatif olarak düşünülmüştür.⁵⁸ Yapılan bir çalışmada %2'lik CHX ve %5,25'lik NaOCl solüsyonlarının antimikrobiyal etkinlikleri arasında anlamlı bir farklılık gözlemlenmemiştir.⁵⁹

2.2.4. Hidrojen Peroksit (H₂O₂)

Endodontik tedavide H₂O₂'nin %3 ve %5'lik konsantrasyonları uzun süredir solüsyon olarak kullanılmaktadır. Doku çözme kapasitesi NaOCl'ye göre açık bir şekilde daha kötüdür. Bakteri, virüs, maya ve protozoalara karşı antimikrobiyal etkinliğe sahiptir fakat antibakteriyel etkisi zayıftır. Serbest hidroksil radikalleriyle bakteride DNA ve proteinleri parçalayarak hasara yol açar. NaOCl ile kombine olarak kullanıldığında oksijenin buharlaşması sonucu köpürme meydana gelir.⁶⁰

2.3. Endodontide İrrigasyon Aktivasyonu

Başarılı kök kanal tedavisinde mekanik preparasyon ve sonrasında gerçekleştirilen kimyasal irrigasyon en önemli aşamalardandır. Endodontik tedavide mekanik preparasyonun yetersiz kaldığı ve isthmus, lateral kanal, apikal delta gibi kök kanal sisteminin karmaşık anatomisinden kaynaklı ulaşılabilen bölgeleri dezenfekte etmenin en etkili yolu kök kanal sisteminin irrigasyonudur.⁶¹ Çünkü bu ulaşılabilen bölgeler kök kanal dolum malzemelerinin etkin şekilde penetrasyonunu engeller ve apikal bölgede inflamasyona neden olabilir.^{62, 63} Kök kanal preparasyonunda ana amaç; irrigasyon ajanının etkisini artırmak ve dezenfeksiyonu sağlamaktır.⁶⁴

Günümüzde güncel eğe sistemlerinin gelişmesiyle beraber kök kanal şekillendirmesi daha düşük ebat ve koniklik açısında gerçekleştirilmekte ve bu sayede kök kanal genişletme süresini kısaltmaktadır. Bu durum irrigasyon solüsyonlarının etkisini azaltmaktadır ve bu da, etkisini artıracak araçların kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.⁶⁴ Bu nedenle irrigasyon solüsyonlarının daha etkili olabilmeleri için aktive edilmeleri gerekmektedir. Geleneksel irrigasyon enjeksiyonun pozitif basıncına ve irrigasyonun kök kanal sisteminde akışı için viskozitesine bağlıdır.⁶⁵ Aktif irrigasyon, mekanik veya diğer enerji formları yoluyla irrigasyon maddelerinin kök kanal sisteminin karmaşık bölgelerine akışını ajite etmek ve iyileştirmek için bir yöntemin kullanılması olarak tanımlanabilir.⁶⁴

2.3.1. İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

İrrigasyon solüsyonu geleneksel irrigasyon teknikleri ile iğne ucundan itibaren en fazla 1-1,5 mm ileriye ulaşabilmektedir. Bu mesafe kök kanal kompleksinin karmaşık anatomik yapısı göz önüne alındığında yeterli olmamaktadır.⁶⁶ İrrigasyon yapılırken solüsyonun periapikal bölgeye taşmaması ve preparasyon sonucu meydana gelen debrisin irrigasyon ajanıyla kanaldan daha rahat uzaklaştırılması için enjektörün kök kanalı içerisinde sıkışmamasına dikkat edilmelidir.¹² Geleneksel şırınga yönteminin bir diğer dezavantajı ise irrigasyon solüsyonunun enjektör iğnesinin çapından dolayı apikal bölgeye ulaşamaması ve buna bağlı olarak bölgenin dezenfeksiyonunun etkin şekilde sağlanamamasıdır.⁶⁷ İrrigasyon ajanlarının verimli etkisi için, özellikle dar kök kanallarının apikal alanlarında, tüm kanal duvarı yüzeyleri ile doğrudan temasa getirilmesi zordur.¹²

Ulaşılamayan bölgelerin uygun dezenfeksiyonu ve mikroorganizmaların kök kanalından temizlenebilmesi için birçok irrigasyon aktivasyon yöntemi tercih edilmektedir.⁶⁶

2.3.2. Manuel Aktivasyon Teknikleri

Kanal içerisindeki debris artıklarının ve mikroorganizmaların kök kanal sisteminden daha etkili şekilde uzaklaştırılması kök kanal irrigasyonlarının temel amacı olmuştur. Irrigasyon ajanı kök kanal sistemi boyunca hareket ettirilerek tüm alana dağıtılsa, kesme ve akış basıncı oluşturarak fiziksel ve kimyasal amaçlarına daha iyi ulaşabilir.¹² Bu amaçla manuel ve rotasyonel uygulama olmak üzere iki farklı tip bulunmaktadır. Şırıngalar, fırçalar, eğeler veya guta perka konları kullanılarak manuel dinamik ajitasyon ve MDA yöntemlerinin tümü bu tür tedavinin örnekleridir.

2.3.2.1. Irrigasyon Fırçaları

Irrigasyon fırçaları, endodontide irrigasyon ajanlarının aktivasyonunu sağlamak için kullanılmaktadır. Solüsyonun kanala ulaştırılmasında görevli değildir; ancak, kanal içi düzensizliklere ulaşarak debrisin ve pulpa artıklarının kök kanalından çıkarılmasına yardımcı olurlar.¹² En popüler irrigasyon fırçaları Endobrush (C & S Microinstruments Limited, Markham, Ontario, Kanada) ve NaviTip FX (Ultradent Products Inc., Güney Ürdün, UT)'tir. Endobrush, 30 gauge irrigasyon iğnesinin uç kısmının fırça ile kaplanması ile geliştirilmiştir.⁶⁸

Keir ve ark.⁶⁶ yaptıkları çalışmada Endobrush fırçanın aktif fırçalama ve rotasyonel hareketi sayesinde, kök kanallarının dezenfeksiyonu sağlamada etkin bir yöntem olduğunu bildirilmiştir.

2.3.2.2. Manuel Dinamik Aktivasyon (MDA)

MDA, şekillendirmesi tamamlanmış kanallarda ana kon olarak belirlenmiş, kanala uyumlu guta perkanın belirlenen çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde yerleştirilerek 2-3 mm ileri geri hareket ettirilmesiyle irrigasyon solüsyonunun aktive edildiği yöntemdir.¹² Yapılan ileri geri hareket, kanal içerisinde farklı basınç bölgeleri oluşturarak irrigasyon ajanının daha fazla yüzeye temas etmesini sağlamaktadır.¹² Kolay ulaşılabilir ve ekonomik bir yöntem olması gibi avantajları bulunsa da gelişen teknolojik ürünler ile karşılaştırıldığında etkinliğinin daha az olmasından dolayı pratikte rutin olarak tercih edilmemektedir.⁶⁹

2.3.3. Mekanik Aktivasyon Teknikleri

2.3.3.1. Rotary Fırçalar

Anguldurvaya takılarak kullanılan mikro fırçalar kanal içerisindeki debrislerinin ve smear tabakasının uzaklaştırılması amacıyla geliştirilen bir diğer aktivasyon yöntemidir.⁷⁰ 28.300 rpm hızla çalışan bu fırçalar kök kanalı içindeki düzensiz alanlara ulaşarak, radial olarak uzanan fırça kılları sayesinde debrislerin kök kanallarının apikal kısmından kural kısmına doğru uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.¹²

Başka bir fırça türü olan ve kök kanallarındaki düzensizliklere ve eğime uyum sağlamak amacıyla esnek olarak tasarlanan CanalBrush (Coltene Whaledent, Langenau, Germany) ise, 600 rpm turlu motorlara takılarak kullanılabilir. Yapılan bir çalışmada CanalBrush yöntemi ile ultrasonik yöntemlerin, kök kanallarından debris uzaklaştırma etkinlikleri arasında fark olmadığı ve her iki yöntemin de manuel irrigasyon yönteminden daha etkin olduğu bildirilmiştir.⁷¹

2.3.3.2. Kanal Preparasyonu Sırasında İrrigasyon Aktivasyonu Yapan Sistemler

Quantec-E İrrigasyon Sistemi

Quantec-E (SybronEndo, Orange, CA) irrigasyon sistemi; döner aletler ile aktif kök kanal preparasyonu süresince devamlı irrigasyon yapmayı amaçlamaktadır.¹² Bu sistem ile solüsyonların miktarı ve kanal içerisindeki kullanım süresi arttırılarak kök kanallarının daha fazla irrigasyon solüsyonu ile temas etmesi ve solüsyonun daha derinlere penetre olması hedeflenmektedir.¹² Fakat Quantec-E'nin kullanıldığı bir çalışmada kök kanalının sadece koronal kısmında daha temiz dentin duvarları elde edildiği; ancak, kökün apikal ve orta üçlü kısmında debris ve smear tabakası uzaklaştırma etkinliği bakımından geleneksel şırınga irrigasyonuna kıyasla fark olmadığı bildirilmiştir.¹³ Benzer şekilde Walters ve ark.⁷² yaptıkları çalışmalarında, irrigasyonda Quantec-E sistemi ile geleneksel şırınga irrigasyonu arasında herhangi bir fark olmadığını bildirmişlerdir.

Self Adjusting File Sistemi (SAF)

Mevcut döner eğe sistemleri oval kanalları etkili bir şekilde temizleyememe, temizlik için irrigasyona çok fazla bağımlı olma, sağlam dentin dokusunu gereksiz ve aşırı miktarda kaldırma ve kalan kök dentininde mikro çatlak oluşturma gibi dezavantajlara sahiptir.⁷³ Bu dezavantajların üstesinden gelmek için yakın zamanda kendisini kök kanalının kesit şekline uyarlayabilen SAF sistemi geliştirilmiş ve kemomekanik debridmanı maksimuma çıkarmak hedeflenmiştir.⁶⁹

SAF sistemi, içi boş silindirik kafes formunda esnek, sıkıştırılabilir bir nikel-titanyum (NiTi) eğe ve eğenin içinden devamlı bir solüsyon akışı sağlayan bir irrigasyon pompasından (VATEA pompası) oluşur.⁶⁹ Bu sistemle, kanal duvarlarından homojen ve minimum dentin dokusu uzaklaştırılarak kanalın dezenfeksiyonu amaçlanmaktadır.⁷⁴

Tüm irrigasyon aktivasyon sistemleri, solüsyonun akış hareketini arttırma ve akustik akışı indüklemeye esasına dayanırken, SAF mekanik bir ovma hareketi ile dentin yüzeyinde etkili bir temizlik yapmaktadır.⁶⁹ Neves ve ark.⁷⁵ SAF sistemi ile gerçekleştirilen kök kanal preparasyonunun kök kanallarındaki bakteri yoğunluğunu azaltmada el eğeleri ile gerçekleştirilen preparasyondan önemli ölçüde daha etkili olduğunu ancak yine de ilave irrigasyon aktivasyon tekniklerine ihtiyaç duyulduğunu bildirmişlerdir.

XP-Endo Finisher

XP-Endo Finisher (FKG, Dentaire SA La Chaux-de-Fonds, İsviçre), kök kanal preparasyonunun ardından kullanılan irrigasyon ajanlarının gücünü ve kök kanal dezenfeksiyonunun etkinliğini arttırmak için son adım olarak kullanılan tamamlayıcı bir teknik olarak üretilmiş eğe sistemidir.⁷⁶ Özel bir ısı işlem görmüş NiTi MaxWire alaşımından yapılan XP-Endo Finisher, şekil hafızası özelliğinden dolayı oda sıcaklığında düz iken (Martensit fazında); vücut sıcaklıklarında düz yapısını kaybederek östenit faza geçiş yapar. Meydana gelen bu faz değişikliği ile ulaşılması zor olan bölgelere ulaşarak etkin bir dezenfeksiyon sağlar.⁷⁷ Kanal içerisinde etkinleştirildikten sonra solüsyonda oluşturduğu basınç değişiklikleri ile aktivasyonu sağlayarak bakterilerin ortamdan uzaklaştırılmasını kolaylaştırır.⁷⁸ Yapılan çalışmalarda bu aktivasyon yöntemi kök kanallarındaki bakteriyel yükü azaltmada etkili bulunmuştur.⁷⁹

2.3.3.3. Negatif Basınç Prensibi ile Çalışan Cihazlar

Günümüzde irrigasyon aktivasyonuna yardımcı olmak amacıyla kök kanal sisteminde ardışık düzenli basınç oluşturarak çalışan cihazlar üretilmiştir. RinsEndo (Dürr Dental GmbH & Co, Bittigheim-Bissingen, Almanya) ve EndoVac (Discus Dental, California, ABD) bu şekilde çalışan iki sistemdir ¹⁸.

RinsEndo basınç-vakum teknolojisine dayanan bir otomatik kanal irrigasyon cihazıdır. Ünite takılan başlık, enjektör ve kanülden oluşmaktadır. Bu teknolojiye 65 mikrolitre solüsyon 1,6 Hz titreşim sıklığında, sisteme bağlı enjektörden çekilerek kanala kanül aracılığı ile taşınmaktadır. Vakum fazında ise kullanılmış solüsyon kanaldan emilir. Bu döngü 1 dakika içinde yaklaşık olarak 100 defa gerçekleşmektedir.¹⁸ Bu yöntemin geleneksel irrigasyon yöntemlerine kıyasla daha etkin bir yöntem olduğu bildirilmiştir.⁸⁰ Yapılan başka bir çalışmada ise; kök kanallarındaki dentin artıklarını uzaklaştırma etkinliği açısından, RinsEndo ve geleneksel irrigasyon yöntemleri arasında fark olmadığı gözlemlenmiştir.⁸⁰

Son zamanlarda endodontik irrigasyon aktivasyon yöntemi olarak gelişim gösteren sistemlerden biri olan EndoVac sisteminde ise, sürekli gelen sıvı yardımıyla kanalın yıkanması ile kök kanalındaki dezenfeksiyona ve smear tabakasının kaldırılmasına öncülük ettiği savunulmaktadır.⁸¹ Apikalde oluşturulan negatif basınç ile irrigasyon solüsyonu apikalden sürekli aspire edilerek aktivasyon sağlanır. EndoVac sisteminin kök kanalında irrigasyon solüsyonunun yüksek hızlı akışını sağladığı ve çalışma boyundan 1 mm kısa mesafede geleneksel irrigasyon yöntemine göre debrisleri daha iyi uzaklaştırdığı bildirilmiştir.⁸²

Shin ve ark.⁸³ yapmış oldukları çalışmada, EndoVac irrigasyon sisteminin debrisin uzaklaştırılmasında, geleneksel irrigasyon yöntemine göre daha etkin olduğu bildirilmiştir. Farklı irrigasyon yöntemlerinin kök kanallarındaki debris uzaklaştırma etkinliklerini araştırıldığı diğer bir çalışmada da EndoVac irrigasyon sisteminin kök kanallarındaki debrisi önemli düzeyde uzaklaştırdığı gözlemlenmiştir.⁸⁴ EndoVac irrigasyon sisteminin; tek başına veya fotodinamik tedaviye ek olarak kullanılmasıyla, kök kanallarındaki Enterococcus faecalis oranının düştüğünü rapor eden çalışmalar da bulunmaktadır.⁷⁹

2.3.4. Sonik Aktivasyon Teknikleri

Sonik sistemler 1-6 kHz aralığındaki frekansta dönme hareketi yapmadan yatay yönde verilen enerji ile aktivasyon sağlayan cihazlardır.⁸⁵ Sonik sistemler kısa yukarı-aşağı vertikal hareketi ile güçlü bir hidrodinamik fenomen oluşturur ve bu şekilde solüsyonun etkinliğini artırır.⁸⁶

EndoActivator

Sonik irrigasyonda kullanılmak üzere üretilmiş bir cihaz olan EndoActivator (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK), 3 çeşit polimer uç ve 3 farklı güç seçeneğine sahiptir. EndoActivator'ün etki mekanizmasının; polimer ucun, kök kanalındaki ileri ve geri hareketleriyle oluşan sinerjistik etkiyle meydana getirdiği hidrodinamik aktivasyon ile ilişkili olduğu bildirilmiştir.⁸⁶ Kök kanal anatomisinden kaynaklanan ve ulaşılması güç olan lateral kanal, isthmus gibi zorlu alanlara irrigasyon solüsyonlarının iletilmesinde etkilidir.¹² Kesmeyen polimer uç kanal duvarlarına zarar vermez ve irrigasyon solüsyonuna belirli bir hız ve kuvvetle hareket kazandırır.⁸⁷

Fakat polimer ucun radyolusent olması olası bir kopma durumunda kopan parçanın kök kanalı içerisinde tespit edilmesini zorlaştırmaktadır.⁸⁷

Rödig ve ark.⁸⁸ yaptıkları çalışmada, kurvatürlü kök kanallarında EndoActivator, Pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) ve CanalBrush yöntemlerinin debris uzaklaştırma etkinliği açısından, herhangi bir fark olmadığını rapor etmişlerdir. Karade ve ark.⁸⁷ EndoActivator'ün smear tabakasını geleneksel şırınga irrigasyonuna göre daha iyi uzaklaştırdığını bildirmiştir.

Sonic Air MM 1500

Sonic Air MM 1500 (Micro Mega, Prodonta, Geneva, Switzerland), 1500-3000 Hz frekans aralığında paslanmaz çelikten üretilmiş, uzunluğu boyunca dikenimsi yapıya sahip, spiral şekilli Rispi Sonic eğesi ile çalışan cihazda eğe hem dentinde aşındırma yapmak hem de irrigasyon aktivasyonu sağlamak üzere dizayn edilmiştir.⁸⁹ Solüsyon kanal içerisine başlık yerine, aralıklarla enjektörle verilmekte ve tazelenmektedir.⁸⁹ Yapılan bir çalışmada, Sonic Air MM 1500 ile aktive edilen kanal irrigasyonunda geleneksel şırınga irrigasyonuna kıyasla daha temiz kanallar elde edildiği gözlemlenmiştir.⁹⁰

Vibringe

Sonik aktivasyon tekniklerinden biri olan Vibringe (Vibringe B. V. Corp, Amsterdam, Hollanda), solüsyonun manuel iletimi ve sonik aktivasyonunu birleştiren nispeten yeni bir cihazdır. Özel olarak tasarlanmış tek kullanımlık bir şırıngaya uyan, her irrigasyon iğnesiyle uyumlu kablosuz bir el aletidir. Standart bir iğne aracılığıyla doğrudan kök kanalına sürekli olarak titreşimli bir şekilde solüsyonu iletir.⁹¹

Akustik akışla birleştirilmiş sonik akış teknolojisini kullanır.⁹¹ Kanaldan debris uzaklaştırma etkinliğinin incelendiği bir çalışmada Vibringe aktivasyon tekniği kullanılarak yapılan kanal irrigasyonunun, pasif ultrasonik aktivasyon yöntemine göre daha az, geleneksel şırınga irrigasyonuna göre ise daha fazla etkili olduğu saptanmıştır.⁹²

Eddy

Sonik irrigasyon aktivasyon cihazlarının en güncellerinden biri olan Eddy (VDW, Münih, Almanya), 6 kHz frekansta çalışır ve kesmeyen, tek kullanımlık polimer bir uca sahiptir.⁹³

Farklı irrigasyon aktivasyon protokolleri uygulanarak debris ve smear tabakası uzaklaştırma etkinliğinin araştırıldığı bir çalışmada, Eddy'nin pasif ultrasonik aktivasyona benzer sonuçlar gösterdiği rapor edilmiştir.⁹⁴ Sonik (EndoActivator ve Eddy) ve pasif ultrasonik aktivasyonun organik doku uzaklaştırma etkinliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, sistemler arasında anlamlı bir farklılık olmadığı ve organik doku kaldırmada iki sistemin de etkili olduğu bildirilmiştir.⁹⁵

Farklı aktivasyon yöntemlerinin kullanıldığı eğimli kök kanallarında apikalden debris ekstrüzyonu miktarı karşılaştırılmış en çok debris ekstrüzyonu görülen grubun Eddy grubu olduğu gözlemlenmiştir.⁹⁶ Geleneksel irrigasyon, PUI, EndoActivator ve Eddy'nin postoperatif ağrıya etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 24 saat sonunda en yüksek ağrının geleneksel şırınga irrigasyonunda, en düşük ağrının ise Eddy grubunda olduğu saptanmıştır.⁹⁷ Bir çalışmada Eddy ve PUI'nin kök kanallarındaki mikrobiyal yükü azaltılma etkinliği karşılaştırılmış ve EDDY'nin PUI'ye üstün bir performans sergilediği bildirilmiştir.²⁰ Eddy'nin organik doku çözme etkisinin PUI'den daha başarılı olduğunu belirten çalışmalar da mevcuttur.^{98, 99}

2.3.5. Ultrasonik Aktivasyon Teknikleri

Richman tarafından 1957’de tanıtılan ultrasonikler, günümüzde irrigasyon solüsyonunun etkinliğini artırmak için aktivasyon amacıyla kullanılan yöntemlerden biridir.⁹⁸ Kök kanalı içerisine yerleştirilen ultrasonik uçlar ‘node’ ve ‘anti-node’ alanları meydana getirerek yatay salınım yapar ve 25-30 kHz frekanslarında çalışırlar.²⁰ Minimum yer değiştirme veya minimum salınım bölgesi ‘node’ olarak, maksimum yer değiştirme veya maksimum salınım bölgesi ise ‘antinode’ olarak tanımlanır²⁰.

Ultrasonik aktiviteli eğeler kök kanallarını mekanik olarak prepare etme ve debris uzaklaştırma potansiyeline sahiptir. Ultrasonik enerji sonik enerjiye göre daha yüksek frekans ve daha düşük amplitüd ile etki göstermektedir. Eğenin dentini aşındırmasındaki kontrolün zor olmasına bağlı olarak ultrasonikle yapılan irrigasyon sırasında perforasyonlar, kanal içerisinde düzensizlikler meydana gelebilmektedir.²⁰ Ultrasonik irrigasyon yönteminin; smear ve debris tabakasını uzaklaştırmada etkili bir yöntem olduğu bildirilmiştir.¹⁰⁰

Literatürde iki çeşit ultrasonik aktivasyon bulunmaktadır.

a. Ultrasonik Enstrümantasyon(UI)

İrrigasyon ve enstrümantasyonun eş zamanlı ve kombine uygulanması ile aktivasyonun sağlandığı sistemdir. Bu sistemde ultrasonik ucun hareketinin kanal içerisinde kontrol edilmesi güçtür. Ayrıca düzensiz aşındırmalardan kaynanlanan madde kaybının kontrol edilememesi ve kullanım sonrası kök kanal yapısında oluşan değişiklikler, apikal perforasyon riski bu yöntemin klinikte yaygın olarak kullanılmasına engel olmaktadır.²⁰

Kök kanalından debris ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında ultrasonik enstrümantasyonun pasif ultrasonik irrigasyondan daha az etkili olduğu bulunmuştur.^{101,}

102

b. Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUİ)

PUİ, kök kanal şekillendirmesi tamamlandıktan sonra, ultrasonik ile aktive edilen kesici nitelikte olmayan bir eğe ile ¹⁰³ kök kanal duvarlarından madde kaldırmadan sadece irrigasyon aktivasyonu yapılan pasif bir yöntemdir.²⁰ Günümüzde en yaygın kullanılan aktivasyon sistemlerinden biri olan PUİ, irrigasyon açısından altın standart olarak kabul edilmektedir.⁹⁹

Çalışma prensibi, hidrodinamik aktivasyon ile akustik enerjinin titreşen eğe veya ince bir tel aracılığıyla kanal içerisindeki irrigasyon ajanına iletimine dayanmaktadır.^{20,} ¹⁰⁰ Enerji ultrasonik dalgalarla iletilir ve akustik akım ile kanal içerisindeki solüsyonun kavitasyonunu indükleyerek kök kanal enstrümanlarının erişemediği alan ve yüzeylere irrigasyon solüsyonunun temasını artırarak dezenfeksiyona katkı sağlar.¹⁰⁰ UI'nın; kök kanalından debris ve smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğinin PUİ'ye göre oldukça düşük olması, akustik dalgalanma ve kavitasyondaki düşüşle açıklanabilmektedir.¹⁰¹

PUİ tekniğinde kullanılan ultrasonik uçlar kanal duvarlarına temas etmemeli ve apikal bölgeye yakın konumda bulunmalıdırlar. Kanal duvarlarına temas durumunda kırılma riski bulunduğu için eğimli kanallarda kullanımına dikkat edilmelidir.¹⁰⁴ Kullanılan ultrasonik ucun küçük çaplı olması ve kanal içerisinde rahatça salınım yapabilmesinin aktivasyonu artırdığı düşünülmektedir. Bu nedenle, PUİ'nin kullanım prensipleri arasında #20 çapından daha büyük boyutta uçların kullanılmaması yer almaktadır.⁹⁰

Yapılan çalışmalarda PUI yönteminin geleneksel şırınga irrigasyonuna kıyasla özellikle isthmuslarda pulpa dokusu artıklarını, debris ve planktonik bakterileri daha etkin şekilde uzaklaştırdığı gözlemlenmiştir.¹⁰⁰ Farklı teknikler kullanılarak yapay kök kanallarından kalsiyum hidroksitin uzaklaştırıldığı bir çalışmada, PUI'nin geleneksel şırınga irrigasyonu ve XP-Endo Finisher'a kıyasla anlamlı derecede daha etkili olduğu bulunmuştur.⁹³ Irrigasyon solüsyonu olarak steril suyun kullanıldığı bir çalışmada, PUI ile yapılan irrigasyonun, geleneksel yöntem ve EndoVac irrigasyonuna göre bakterileri gidermede anlamlı şekilde daha etkili olduğu bildirilmiştir.¹⁰⁵

Literatürde NaOCl ve EDTA irrigasyon solüsyonlarının ultrasonik yöntemle aktive edilmesinin debris ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında etkin bir yöntem olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur.¹⁷ Kök kanallarının temizlenmesi ve şekillendirilmesinde; geleneksel mekanik preparasyon sonrasında, 5 dakika boyunca %3'lük NaOCl solüsyonunun ultrasonik olarak aktive edilerek kullanılması sonucu smear tabakasının daha etkin bir şekilde uzaklaştırılabileceği ileri sürülmüştür.¹⁰⁶ Huque ve ark.¹⁰⁷ yapmış oldukları bir çalışmada, ultrasonik aktivasyonunun %12'lik NaOCl solüsyonunun etkinliğini arttırdığı ve kök dentininin derin tabakalarında da bakterileri ortamdan uzaklaştırdığı sonucuna varmışlardır.

2.3.6. Lazer Destekli Aktivasyon

Günümüzde diş hekimliğinin farklı branşlarında lazer kullanımı yaygınlaşmaktadır.²² Endodontide, özellikle kök kanallarının temizlenmesi ve şekillendirilmesinde, bakteri, debris ve smear tabakasının ortamdan uzaklaştırılmasında ve irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonunda lazerler tercih edilmektedir.^{23, 24}

Diş hekimliğinde kullanılan birçok lazer (dalga boyları 532 nm'den 10600 nm'ye kadar) oluşturduğu termal etki ile bakteri hücre yapısında değişiklikler meydana getirerek bakterisidal aktivite göstermektedir.^{108, 109} İncelenen çalışmalarda lazerle aktivasyonun, kanaldaki irrigasyon solüsyonunun yüksek hızla dalgalanmasını sağlayarak kavitasyon etkisi oluşturduğu gözlemlenmiştir.²⁸ Lazerin kendisine özel fiber ucundan yayılan ısıнын solüsyonla temas etmesi sonrası buhar kabarcıkları oluşur. Bu oluşan buhar kabarcıklarının genişleyerek patlaması solüsyonun aktivasyonu sağlar.¹¹⁰

Yapılan çalışmalarda CO₂, Nd:YAG, Argon, Diyot, Er,Cr:YSGG ve Er:YAG gibi lazer çeşitleri kullanılmaktadır.¹¹¹ Er:YAG lazerlerin sert dokudaki etkisi, hidroksiapatite karşı olan yüksek afinitesi ile ilişkilendirilmektedir. İnorganik yapılar içerisinde bulunan su tarafından absorbe edilerek, doku içerisinde basınç oluşmasına ve dokuların parçalanmasına neden olurlar.¹¹² PUI, MDA ve Er:YAG lazer destekli aktivasyon yöntemlerinin apikal bölgedeki debris uzaklaştırma kapasitesini inceleyen bir çalışmada Er:YAG lazer destekli aktivasyonunun diğer yöntemlerden daha başarılı olduğu rapor edilmiştir.¹¹³

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Er:YAG lazerin yeniden dizayn edilmesi sonucunda konik ve radyal fiber uç ile çalışan PIPS ve SWEEPS olarak tanımlanan yöntemler geliştirilmiştir.²¹ Geleneksel lazer destekli aktivasyon tekniğinde lazer ucunun kökün apikal kısmında konumlandırılabilmesi için kanal genişletmesine ihtiyaç duyulurken, PIPS ve SWEEPS irrigasyon aktivasyon yöntemlerinde özel fiber uç sadece giriş kavitesine yerleştirilerek herhangi bir genişletmeye gerek duyulmaz.¹¹⁴

Özel radyal fiber uç kanal ağzının hemen üzerinde konumlandırılır ve sestten daha hızlı hareket eden hızlı bir şok dalgası meydana getirerek kök kanalı boyunca üç boyutlu solüsyon hareketi ile aktivasyon sağlanır¹¹⁵. Fiber ucun koronal pulpa odasına yerleştirilmesinin daha güvenli bir aktivasyon sağladığı belirtilmiştir¹¹⁶. Kısa atım süresi ve özel fiber uç tasarımı ile kullanılmaktadır. Solüsyonların aktivasyonu için geleneksel lazere göre daha düşük enerji seviyeleri (20 mJ) gerektiren PIPS tekniğinde, dentin ablasyonunun da önüne geçilir ve kök kanal anatomisinin korunmasını sağlamakla beraber dokular üzerindeki olumsuz termal etkilerin indirgenmesi hedeflenir.^{117, 118}

2010 yılında kök kanal tedavisinde PIPS ile irrigasyon aktivasyonunu incelemek amacıyla yapılan bir çalışmada EDTA solüsyonu aktive edilmiş ve sonucunda PIPS ile irrigasyonun geleneksel şırınga irrigasyonuna göre smear tabakasını kaldırmada daha başarılı olduğu bildirilmiştir.²⁷ PIPS ve geleneksel şırınga irrigasyonunun karşılaştırıldığı 70 adet mandibular premolar diş üzerinde yapılan bir çalışmada ise, PIPS'in bakteri eliminasyonunda daha başarılı olduğu rapor edilmiştir.¹¹⁹ Akçay ve ark.¹²⁰ PIPS ve PUİ kullanımı sonrası biyoseramik içerikli kanal patının dentin tübüllerine daha derine penetre olduğunu bulmuşlardır. Arslan ve ark.¹²¹ PIPS, EndoActivator ve konvansiyonel şırınga irrigasyonunun, ikili ve üçlü antibiyotik patın uzaklaştırılmasındaki etkinliklerini araştırdıkları çalışmalarında, PIPS grubu diğer gruplara göre istatistiksel açıdan anlamlı ölçüde daha etkili bulunmuştur.

PIPS yönteminin etkinliğini artırmak için Er:YAG lazer kullanılarak uygulanan bir diğer lazer aktivasyon tekniği olan SWEEPS geliştirilmiştir. PIPS modu ile SWEEPS modunu birbirinden ayıran en önemli fark, SWEEPS modunda irrigasyon solüsyonuna uygulanan çift lazer atım darbesidir. Art arda uygulanan iki lazer atımının sonucunda, birinci lazer ışınından sonra oluşan kabarcıklar daha hızlı çökelir ve dolayısıyla irrigasyon maddesi ile kanal yüzeyi arasında daha yüksek kesme kuvvetleri meydana gelir. Oluşan fotoakustik şok dalgasının kök kanal sistemindeki erişilemeyen bölgelere ulaşmasına katkı sağlar.^{122, 123}

Standart tek atımlı PIPS ve çift atımlı SWEEPS lazer irrigasyon yöntemleri karşılaştırıldığında, SWEEPS'te debris uzaklaştırma etkinliğinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.¹²⁴ PIPS ve SWEEPS yönteminin kök kanalı içerisinde meydana getirdiği basınç miktarları incelendiğinde SWEEPS'in PIPS'ten daha etkili olduğu bildirilmiştir. Bu durum SWEEPS tekniği ile irrigasyon maddelerinin dentin tübüllerine penetrasyonunun arttırılabileceğini göstermektedir.¹²⁵ Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, SWEEPS, PIPS ve PUI aktivasyon yöntemlerinin kanal içerisinden debris uzaklaştırma etkinliği karşılaştırılmış ve SWEEPS'in kök kanallarının tüm bölgelerinde diğer iki yöntemle kıyasla daha iyi debris uzaklaştırdığı gösterilmiştir.¹²⁵

2.3.7. Gentlewave

Yakın zamanda ABD'de tanıtılan irrigasyon aktivasyon yöntemlerinden biri olan Gentlewave (GW) (Sonendo, Laguna Hills, CA, ABD) sisteminde¹²⁶ kök kanallarında minimum preparasyon yapılarak dişin dayanıklılığı ve bütünlüğünün korunması hedeflenir. Gelişmiş sıvı dinamiği ve akustik enerji kullanımıyla geniş spektrumlu multisonik ses dalgaları başlatarak kök kanalında dezenfeksiyonu sağlamaktadır.^{126, 127}

Bu sistem el aletinin ucu pulpa odasında konumlandırılarak kök kanalı içerisine yerleştirilmeden, irrigasyon solüsyonlarını kök kanal sistemine dağıtan güçlü, yüksek hızlı bir kesme kuvveti meydana getirmektedir.^{128, 129} Yapılan bir çalışmada GW sisteminin, PUİ ve geleneksel irrigasyona göre sırasıyla sekiz ve on kat daha hızlı doku çözdüğü saptanmıştır.¹²⁶ GW sisteminin diğer irrigasyon yöntemlerine göre daha hızlı organik çözünme gerçekleştirdiği ve daha fazla miktarda biyofilmi, sert doku kalıntılarını ve smear tabakasını ortadan kaldırdığı görülmüştür.^{130, 131}

2.4. Endodontik Tedavi Başarısının Değerlendirilmesi

Endodontik tedavi başarısını belirlemek için klinik ve radyolojik değerlendirmeler beraber yapılır.¹³²

2.4.1. Klinik Değerlendirme

Kök kanal tedavisinin başarısını değerlendirmek için ilgili dişte şu kriterler aranmaktadır.¹³³

- *İnatçı ve tekrarlayan semptomların bulunmaması
- *Perküsyon ve palpasyon hassasiyetinin olmaması
- *Aşırı mobilite olmaması
- *Dişin fonksiyonunda yetersizlik olmaması
- *İlerleyeci periodontal yıkım olmaması
- *Tamir edilemeyen kök fraktürlerinin olmaması

2.4.2. Radyolojik Değerlendirme

Radyolojik açıdan kök kanal tedavisinin başarısı aşağıdaki kriterlere göre değerlendirilmektedir.¹³⁴

*Periapikal lezyonun iyileşmesi veya önceden var olan lezyonun boyutunda artış görülmemesi

*PDL aralık genişliğinin 2 mm'yi geçmemesi

*Kök kanal dolumunda boşlukların olmaması

*Kökte internal veya eksternal rezorbsiyon bulunmaması

*Periradiküler bölgede önceden var olmayan yeni radyolusent alanların oluşmaması

*Yeni oluşan lamina dura formasyonunda eksiklik gözlenmemesi

2.4.3. Periapikal İndeksler

Periapikal patolojilerin tanısında ve takibinde aynı zamanda anatomik oluşumların sağlıklı şekilde incelenip değerlendirilmesinde belli bir skorlama sistemi ile sayısal verilere ulaşmaya olanak sağlayan indeksler geliştirilmiştir.^{135, 136} Bu indeksler oluşturulurken normal periapikal yapıların radyografik görüntüleri tanımlanmış olup normal olmayan periapikal patolojik durumların skorlanmasıyla ilgili çalışmalar yapılmıştır.¹³⁷⁻¹³⁹ Orstavik tarafından periapikal lezyonların takibinde kullanılan ve epidemiyolojik çalışmalara temel oluşturan bir skala olan Periapikal İndeks Skorlama Sistemi (PAI) dizayn edilmiştir.¹⁴⁰

Periapikal patolojileri artan radyografik görüntüsüne göre 1 'den 5'e kadar skorlayan bu sistem, lezyonların kategorizasyonunda hekimler arasında bir fikir birliğine varılmasına yardımcı olmaktadır. Bu sınıflandırma şu şekildedir.^{137, 138}

PAI 1: Normal periapikal yapı.

PAI 2: Kemik yapısındaki minör değişiklikler vardır ancak apikal periodontitis teşhisi için patognomonik değildir.

PAI 3: Apikal periodontitisin karakteristiği olan, mineral kaybı ile birlikte kemikteki yapısal değişiklikler.

PAI 4: Belirgin ve sınırları kesin bir radyolusensi.

PAI 5: Kemikte belirgin bir yıkım ile karakterize radyolusensi.

PAI dışında sonuçları iyileşmiş, iyileşmekte olan veya iyileşmemiş olarak sınıflandıran bir başka alternatif yöntem de mevcuttur.^{141, 142} Başka bir sınıflandırma sistemi ise sonuçları tamamlanmış, eksik veya başarısızlık olarak kategorize etmektedir.¹⁴³

PAI kullanan çoğu çalışmada PAI 1 ve 2 'başarılı' veya 'iyileşmiş' olarak PAI 3, 4 ve 5 ise 'başarısızlık' veya 'iyileşmemiş' olarak sınıflandırılmaktadır. PAI <3'ün iyileşmiş ve PAI ≥ 3 'ün iyileşmemiş olarak sınıflandırılması, özellikle takip çalışmaları olmak üzere, çalışmalar arasındaki iletişimi ve sonuçların karşılaştırılmasını kolaylaştırabilir, ancak hastalığın seyri hakkında ayrıntılı bilgi sunamayabilir.¹⁴²

2.5. Görüntüleme Yöntemleri

Endodontik tedavinin başlangıç aşamasında ve takip döneminde anatomik ve patolojik yapıların radyolojik açıdan detaylıca değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla rutin kullanılan periapikal ve panoramik radyografiler iki boyutlu olduğu için ilgili alan konusunda her zaman tam ve yeterli bir morfolojik değerlendirme yapılamayabilir. Bundan dolayı bu görüntüleme yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda, kök kanal sistemini, baş boyun bölgesindeki anatomik yapıları ve patolojik oluşumları daha net şekilde değerlendirebilmek için günümüzde üç boyutlu görüntüleme tekniklerinden de yararlanılmaktadır.¹⁴⁴ Bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG), konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) gibi 3 boyutlu görüntüleme tekniklerinden faydalanılarak ilgili bölge hacimsel olarak değerlendirilebilir.¹⁴⁵ Periapikal patolojilerdeki hacimsel değişikliklerin KIBT kullanılarak 3 boyutlu değerlendirilmesi iki boyutlu radyografilere kıyasla daha başarılıdır.¹⁴⁶ Periapikal patolojinin alan ve hacimsel ölçümleri çeşitli bilgisayar yazılımları yardımıyla yapılabilmektedir.^{147,148} Günümüzde tanı ve tedavi planlamalarında bu yöntemler altın standart olarak kabul edilse de hastanın alacağı radyasyon düşünüldüğünde rutin kullanım endikasyonları sınırlıdır.¹⁴⁹

2.6. Fraktal Analiz

Fraktal analiz (FA), karmaşık yapıların geometrik açıdan değerlendirilmesini sağlayan bir matematiksel yöntemdir.¹⁵⁰ FA diş hekimliği alanında geniş bir kullanım alanına sahiptir.¹⁵¹

Özellikle ağız, diş ve çene cerrahisi ile implant cerrahisinde sıklıkla tercih edilen fraktal analiz; implant yerleştirme işlemlerinin ardından kemik iyileşmesini izlemede, ortognatik cerrahi tedavilerinde ameliyat öncesi ve sonrası kemik iyileşmesinin değerlendirilmesinde, bazı sistemik hastalıkların çene kemikleri üzerindeki etkilerinin saptanmasında ve periodontal hastalıklarda kemik kaybının izlenmesinde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır.¹⁵¹

Endodonti alanında FA, özellikle periapikal lezyonların ve kemik iyileşme süreçlerinin incelendiği çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.¹⁵² Kök kanal tedavisi sonrası lezyonların iyileşme süreçleri FA ile nesnel olarak analiz edilerek tedavi sonrası kemik dokusunun iyileşme derecesi ve trabeküler yapının yeniden nasıl şekillendiği kantitatif olarak değerlendirilebilir.¹⁵² FA, sadece periapikal lezyonların boyutunu ve yoğunluğunu değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda bu lezyonların çevresindeki trabeküler kemik yapısındaki değişiklikleri de ölçebilir. Bu durum, özellikle kronik apikal periodontitis gibi vakalarda, kemik dokusundaki mikroyapısal değişikliklerin tespit edilmesinde ve tedavi başarısını değerlendirmede oldukça faydalıdır.¹⁵² Bu nedenle, fraktal analiz, endodonti ve diğer diş hekimliği dallarında giderek artan bir öneme sahiptir.¹⁵²

3.GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışma Haziran 2023- Haziran 2024 tarihleri arasında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi (RTEÜ) Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya RTEÜ Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 2023/136 karar numarası ile onay alınmıştır. Çalışma için örneklem temini ve tedaviye yönelik klinik işlemler, RTEÜ Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı kliniğinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmaya kronik apikal periodontitis tanısı ile endodontik tedavi gerektiren, PAI skoru 3 ve üzeri olan Vertucci Sınıf 1 tek köklü mandibular premolar dişler dahil edildi. Etki büyüklüğünün hesaplanmasında G Power 3.1.9.4 (University Kiel, Germany) programı kullanıldı. Etki büyüklüğü Verma ve ark.¹⁵³ tarafından yapılan farklı irrigasyon tekniklerinin bir yıl sonra iyileşmedeki başarılarının karşılaştırıldığı veriler baz alınarak hesaplandı. Baz alınan ki-kare testi verilerinden 0.388 değerindeki bir etki büyüklüğünün anlamlılık için yeterli olduğu tespit edildi. Bu çalışmadaki gruplar arası karşılaştırılacak olan iyileşme ve iyileşmeme parametrelerinin kategorik olarak değerlendirileceği ve ki-kare testi yapılacağı öngörüldüğünde 0.05 tip 1 hata ile, %90 güç ile toplam en az 110 tane örneğin gerekliliği hesaplandı.

3.1. Hasta Seçimi

Dahil edilme kriterleri:

- *18 yaş ve üzeri hastalar
- *Endodonti Onam Formu'nu ve Çalışma Katılım Formu'nu onaylayan hastalar
- *Apikal periodontitis tanısı ile primer endodontik tedavi gerektiren PAI skoru 3 ve üzeri olan Vertucci Sınıf 1 tek köklü mandibular premolar dişler
- *Apikal periodontitis tanısı konulan retreatment gereken PAI skoru 3 ve üzeri olan Vertucci Sınıf 1 tek köklü mandibular premolar dişler
- *İyi oral hijyene sahip olan hastalar çalışmaya dahil edildi.

Dahil Edilmeme Kriterleri:

- *Sistemik hastalıkları bulunan hastalar
- *İmmunsupresif hastalar
- *Hamile olan hastalar
- *Mobilitesi 2 ve üzeri olan,
- *Periodontal cep derinliği 5 mm ve üzerinde olan.
- *İnternal ve eksternal rezorpsiyonu olan,
- *Vertikal ve horizontal kök kırığı bulunan dişlere sahip hastalar çalışma dışında bırakıldı.

RTEÜ Diş Hekimliği Fakültesi'ne başvuran ve dahil edilme kriterlerini karşılayan hastalara çalışma hakkında bilgi verildikten sonra aydınlatılmış onam formu imzalatıldı ve rutin kök kanal tedavisi veya retreatment işlemi uygulandı. Kullanılan aktivasyon tekniğine göre hastalar 5 ayrı gruba ayrıldı: MDA (Grup 1), Sonik aktivasyon (EA)(Grup 2), PUI ile aktivasyon (Grup 3), PIPS (Grup 4), SWEEPS (Grup 5).

Aktivasyon uygulanmayan hastalar kontrol grubu(geleneksel şırınga irrigasyonu) (Grup 6) olarak çalışmaya dahil edildi.

3.2. Kanal Tedavisi Protokolü

Tüm prosedürler deneyimli tek bir operatör tarafından gerçekleştirildi. Dişlerin rubber dam ile izole edilmesinin ardından endodontik giriş kavitesi steril bir elmas rond frez ile su soğutması altında açıldı. Daha sonra kanallara ilk olarak #10-15 K-tipi el eğeleri (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) yerleştirilerek Root ZX mini elektronik apeks bulucu (J. Morita Co., Tokyo, Japonya) ile 0 noktasının belirlenmesinin ardından çalışma boyu bu noktadan 0,5 mm kısa olacak şekilde belirlendi. Ayrıca röntgen alınarak radyografik olarak da kanal boyu doğrulandı. Radyografik görüntü ile apeks cihazı verileri arasında uyumsuzluk gözlemlendiğinde apeks cihazı doğru kabul edildi. Çalışma boyunda sıkışan en büyük K tipi eğe ile başlangıç apikal çapı belirlendikten sonra 3 boy büyük eğeye kadar ProTaper Next X1(17/.04), X2(25/.06) ve X3(30/.07) (PTN; Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) eğeleri ile 300 rpm / 2- 5,2 Ncm rotasyon modunda tork kontrollü bir endodontik motor (SybronEndo, Glendora, CA, ABD) kullanılarak kök kanalları genişletildi.

Retreatment uygulanan hastalarda ise rubber dam uygulaması altında giriş kavitesi açıldıktan sonra guta perkalar RT eğeleri (EndoArt RT, İnci Dental, Türkiye) ile uzaklaştırıldı ve kanal boyu Root ZX mini elektronik apeks bulucu ile belirlendi. ProTaper Next eğeler ile primer kök kanal tedavisinde kullanılan şekillendirme prosedürü aynı şekilde uygulandı. Final irrigasyonda belirlenen yöntemle irrigasyon aktivasyonu uygulandı.

3.2.1. İrrigasyon Solüsyonlarının Aktivasyonu

Grup 1 (MDA)

Bu gruptaki dişlerin kemomekanik preparasyonları tamamlandıktan sonra daha az konikliğe sahip ve apikal çap ile uyumlu bir guta perka kon, çalışma boyunun 1 mm gerisine konumlandırıldı ve koronal-apikal yönde ileri geri hareket ettirildi. Final irrigasyon için 2 mL %17 EDTA solüsyonu (SAVER, Prime Dental, Türkiye) 20 sn boyunca uygulandı ve bu işlem 3 defa tekrarlanarak toplamda 1 dakikada 6 mL EDTA solüsyonu aktivasyonu yapıldı. İki solüsyon arasında 20 sn boyunca kök kanalında 2 mL serum fizyolojik uygulandıktan sonra 2 mL %2,5 NaOCl solüsyonu (MICROVEM, Türkiye) 20 sn boyunca uygulandı ve bu işlem 3 defa tekrarlanarak toplamda 1 dakikada 6 mL NaOCl solüsyonu aktivasyonu yapıldı.

Grup 2 (Sonik Aktivasyon)

Sonik aktivasyon, Easydo Activator cihazı (EA; Easyinsmile (Weixiaomeichi), Changsha, China) kullanılarak gerçekleştirildi. Kanal içerisinde solüsyon mevcutken cihazın iğne ucu belirlenen çalışma boyundan 2 mm geride konumlanacak şekilde kanala yerleştirildi ve önerilen güç ayarında ileri geri hareketler yapılarak solüsyonlar aktive edildi. Aktivasyon işlemi 20 saniyelik 3 periyot halinde (toplam 60 saniye) uygulandı. Final irrigasyon için 2 mL %17 EDTA solüsyonu 20 sn boyunca 3 defa tekrarlanarak toplamda 1 dakikada 6 mL EDTA solüsyonu aktivasyonu yapıldı. Daha sonra NaOCl ve EDTA kimyasal etkileşimini engellemek için kanallara 20 sn boyunca 2 mL serum fizyolojik uygulandı. Sonrasında 2 mL %2,5 NaOCl solüsyonu 20 sn boyunca 3 defa tekrarlanarak toplamda 1 dakikada 6 mL NaOCl solüsyonu aktivasyonu yapıldı.



Şekil 1. Easydo Activator cihazı (EA; Easyinsmile (Weixiaomeichi), Changsha, China)

Grup 3 (PUİ ile Aktivasyon)

Bu grupta ultrasonik uçlar (mod:E, setting ayarı:6) (DTE, Guilin Woodpecker Co., Guilin, Guangxi, Çin) ve ultrasonik cihaz (DTE S6 Led, Guilin Woodpecker Co., Guilin, Guangxi, Çin) kullanılarak solüsyonlar aktive edildi. Master apikal eğeden bir boy düşük ebatta bir ultrasonik uç çalışma boyunun 2 mm gerisinde duvarlara temas ettirilmeden kullanıldı. Final irrigasyon için 2 mL %17 EDTA solüsyonu 20 sn boyunca 3 defa tekrarlanarak toplamda 1 dakikada 6 mL EDTA solüsyonu aktivasyonu yapıldı. Daha sonra NaOCl ve EDTA kimyasal etkileşimini engellemek için kanallara 20 sn boyunca 2 mL serum fizyolojik uygulandı. Sonrasında 2 mL %2,5 NaOCl solüsyonu 20 sn boyunca 3 defa tekrarlanarak toplamda 1 dakikada 6 mL NaOCl solüsyonu aktivasyonu yapıldı.



Şekil 2. Ultrasonik cihaz (DTE, Guilin Woodpecker Co., Guilin, Guangxi, Çin)

Grup 4 (PIPS)

Bu grupta, irrigasyon aktivasyonu için Fotona marka Er:YAG lazer cihazı (Lightwalker, Fotona, Ljubljana, Slovenia) kullanıldı. Özel konik ve radial fiber uç (PIPS 300/14, Fotona), SSP modunda ($50\mu\text{s}$, 0,3 W, 15 Hz ve 20 mJ) hava ve su ayarı kapalı durumda ve kanal içerisinde irrigasyon solüsyonları mevcutken pulpa odasının koronal kısmına yerleştirilip hareketsiz bırakılarak fotoakustik dalgaların kanal ağzlarına iletilmesi sağlandı. Final irrigasyon için 2 mL %17 EDTA solüsyonu 20 sn boyunca 3 defa tekrarlanarak toplamda 1 dakikada 6 mL EDTA solüsyonu aktivasyonu yapıldı. Daha sonra NaOCl ve EDTA kimyasal etkileşimini engellemek için kanallara 20 sn boyunca 2 mL serum fizyolojik uygulandı. Sonrasında 2 mL %2,5 NaOCl solüsyonu 20 sn boyunca 3 defa tekrarlanarak toplamda 1 dakikada 6 mL NaOCl solüsyonu aktivasyonu yapıldı.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan Er:YAG lazer (Lightwalker, Fotona, Ljubljana, Slovenya)

Grup 5 (AutoSWEEPS)

Bu grupta, irrigasyon aktivasyonu için Fotona marka Er:YAG lazer cihazı 8,5 mm uzunluğunda ve 600 µm çapında konik fiber uç ile (SWEEPS 600, Fotona) kullanıldı. Cihaz, 0,3 W, 20 mJ, 15 Hz ayarlarında sürekli olarak değişen iki ultra kısa mikro atım süresine (25 µs) sahip AutoSWEEPS moduna ayarlandı. Final irrigasyon için 2 mL %17 EDTA solüsyonu 20 sn boyunca 3 defa tekrarlanarak toplamda 1 dakikada 6 mL EDTA solüsyonu aktivasyonu yapıldı. Daha sonra NaOCl ve EDTA kimyasal etkileşimini engellemek için kanallara 20 sn boyunca 2 mL serum fizyolojik uygulandı. Sonrasında 2 mL %2,5 NaOCl solüsyonu 20 sn boyunca 3 defa tekrarlanarak toplamda 1 dakikada 6 mL NaOCl solüsyonu aktivasyonu yapıldı.



Şekil 4. SWEEPS 600, Fotona

Kontrol Grubu (Geleneksel Şırınga İrrigasyonu)

Bu grupta kök kanallarının final irrigasyonu için geleneksel şırınga yöntemi kullanıldı. Bu amaçla 30 gauge yandan perforire irrigasyon iğnesinden yararlanıldı. Final irrigasyonunda iğne ucu, çalışma boyundan 1-2 mm kısa olacak şekilde yerleştirildi. Final irrigasyon için kanallar öncelikle 6 mL %17 EDTA solüsyonu, sonrasında 2 mL serum fizyolojik ve son olarak 6 mL %2,5 NaOCl ile irrigate edildi. İrrigasyon süresince sabit ve düşük bir basınçta, iğne ucu ile aşağı-yukarı yönde 1-2 mm'lik hareketler yapıldı.

3.2.2. Kanalların Doldurulması ve Restorasyon

Tüm gruptaki dişler tek seansta doldurularak kanal tedavileri tamamlandı. Final irrigasyonları sonrası kanalların paperpointler ile (DiaDent, Heungdeok-gu, Kore) kurutulmasının ardından, ADSeal (Meta Biomed, Cheongju, Güney Kore) marka kanal patı ve master eğe ile uyumlu gutaperka kullanılarak soğuk lateral kompaksiyon yöntemi ile dolduruldu. Lateral kompaksiyon #30 spreader (Denco, Shenzhen, Çin) ile yapıldı. Lateral kon olarak ise 25/.02 gutaperka (Zhongjin Medikal, Tianjin, Çin) kullanıldı.

Gutalar mine-sement sınırının 1 mm aşağısından kesilerek kavite dezenfeksiyonu sonrasında akışkan kompozit dolgu (Prevest Dentpro, Jammu, Hindistan) ile kaide uygulandı. Daimi üst restorasyon Llis kompozit rezin materyali(FGM, Joinville, Brazil) ile bitirildi. Okluzal kapanışın kontrol edilmesinin ardından tedaviler tamamlandı.

3.3. Radyografik Yöntem

Tedavileri tamamlanan Vertucci Sınıf 1 mandibular tek köklü premolar dişlerin tedavi öncesi ve tedaviden sonraki 1 yıllık panoramik radyografileri, Planmeca Promax 2D S2 cihazı (Planmeca, Helsinki, Finland) kullanılarak elde edildi. Hastalar, Frankfurt horizontal düzlemine paralel olacak şekilde pozisyonlandırıldı. Tüm hastalarda aynı radyografik poz ayarları (66 kVp, 8 mA ve 16,6 saniye pozlama süresi) kullanıldı. Fraktal analiz yöntemi uygulanarak lezyon boyutundaki değişikliklere göre tedavi sonuçları değerlendirildi ve aktivasyon yöntemlerinin etkileri karşılaştırıldı.

Tedavi öncesi ve tedaviden 1 yıl sonraki radyografiler, dentomaksillofasiyal radyolog tarafından PAI skorum sistemi kullanılarak değerlendirildi. PAI skorlarına göre hastalar önceki çalışmalara benzer şekilde tedavi öncesi ve 1 yıl sonrasında “iyileşmiş” (PAI <3) veya “iyileşmemiş” (PAI ≥3) olarak sınıflandırıldı. Elde edilen görüntüler oral radyoloji bölümü dijital arşivinde muhafaza edildi. Ayrıca tedavi öncesi ve tedaviden 1 yıl sonraki radyografiler incelenerek bilgisayar üzerinde lezyon çap değişimleri karşılaştırıldı. Lezyon çapı ölçümü için lezyonun en geniş olduğu nokta baz alındı ve ‘mm’ cinsinden kaydedildi.

3.4. Fraktal Analiz Yöntemi Kullanılarak Lezyon Boyut Değişikliklerinin İncelenmesi

Bu çalışmada her örneğin fraktal analizi White and Rudolph tarafından önerilen kutu sayma yöntemiyle dentomaksillofasiyal radyolog tarafından gerçekleştirildi.

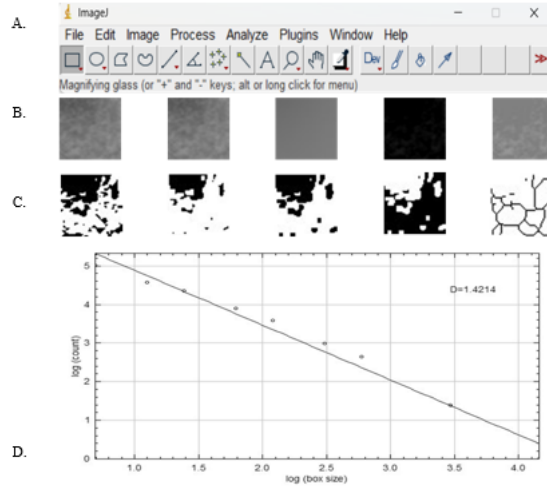
Fraktal Analizi ise internet üzerinden ücretsiz erişim sağlanabilen Image J program (<https://imagej.nih.gov/ij/>) ile panoramik radyografilerde , fraktal box counting yöntemi kullanılarak 1 ROI bölgesinde 30X30 piksellik bir alan belirlenerek fraktal boyut ölçümleri yapıldı. ROI'nin boyutu ve lokalizasyonunun standardizasyonu için kök ucunun 1 mm apikalinde, dişin orta hattından geçerek apikal ve uzun eksenine dik açı oluşturan paralel bir doğru kullanıldı (Şekil 5).

Fraktal boyut analizi yaparken izlenen basamakların sırası şöyledir (Şekil 6): Tüm dijital görüntüler Image J v. 1.52 yazılımı (Ulusal Sağlık Enstitüleri) açılarak belirlenen bölgelerden 30x30 piksel boyutlarında kesitler alınıp ‘tif’ formatında kaydedildi. Görüntüde incelenecek ilgi alanı kırpıldıktan sonra 8-bit formatında kaydedilerek kopyalandı. Duplike edilmiş görüntüye Gaussian filtresi (sigma= 35 piksel) uygulanarak görüntü bulanıklaştırıldı. Gaussian filtresi uygulanarak bulanıklaştırılan görüntü ‘subtraction’ işlemi ile orijinal görüntü üzerinden çıkartıldı. Her piksel lokasyonuna 128 ilave edildi ve görüntünün başlangıç parlaklık derecesi ne olursa olsun 128 eşik değer olarak belirlendi. 128 parlaklık derecesi eşik değeri alınan görüntü binary formatına çevrildi. Görüntüdeki gürültüyü ortadan kaldırmak amacıyla görüntüye erozyon ve dilatasyon işlemi uygulandı. Tersine çevrilen görüntü iskeletleştirildi ve böylece trabeküllerin sadece merkezi kısımlarının kalması sağlandı. Image J programında ‘box-counting’ fonksiyonu kullanılarak iskeletleştirilmiş görüntüye FB analizi uygulandı.

Görüntü boyutları 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 32, 64 piksel olan karelere bölünerek eğrinin doğrusal regresyonunun negatif eğimi olarak hesaplandı. Elde edilen eğim seçilen alanın fraktal boyutunu ifade etmektedir. Bu görüntü işleme basamaklarından sonra 1 ile 2 arasında elde edilen sayısal değer gruplar arasında kıyaslanarak mandibular trabeküler yapı yoğunluğu hakkında bilgi edinildi.



Şekil 5. Panoramik görüntüden ilgi alanının (ROI) belirlenmesi.



Şekil 6. Fraktal boyut analizi adımları: A. Image J v. 1.52 yazılımı alan programı. B. Sırasıyla kırılan görüntü, duplike edilen görüntü, bulanıklaştırılan ilgi alanı görüntüsü, orijinalinden bulanıklaştırılan görüntünün çıkartılması, çıkan sonuca 128 ilave edilmesi. C. Sırasıyla ikili görüntü, erozyon işlemi, dilatasyon işlemi, tersine çevrilmesi, iskeletleştirme. D. Fraktal kutu sayma prosedürü sonucu.

Gözlemci içi güvenilirliğin değerlendirilmesi için fraktal ölçümlerinin %20'si 2 hafta sonra aynı radyolog tarafından tekrar ölçüldü.

3.5. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz için Jamovi 2.3.28 istatistik programı kullanılmıştır. Karşılaştırmalardaki normal dağılım Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling testleri ve Q-Q grafiği ile değerlendirilmiştir. Varyanslar arasındaki homojenite Levene's testi ile incelenmiştir. Veriler sıklık değeri ise n (%) şeklinde, sürekli veri ise ortalama±standart sapma ve ortanca (minimum, maksimum) şeklinde sunulmuştur. Cinsiyet verisi kategorik olduğu için gruplar arasındaki farklılık ki-kare testi ile incelenmiştir. Yaşın gruplar arasındaki dağılımı normal bulunduğu için Welch's Tek Yönlü ANOVA testi ile incelenmiştir. Fraktal analizde normal dağılım elde edilmesine rağmen varyanslar homojen dağılmadığı için irrigasyon gruplarının karşılaştırılmasında Welch's Tek Yönlü ANOVA testi tercih edilmiş, ikili karşılaştırmalar ise Games-Howell testi ile yapılmıştır. Her bir grup içerisinde öncesi ve sonrası karşılaştırmaları ise paired simple t-testi ile yapılmıştır. Lezyon boyutu ve PAI skorlarında ise normal dağılım elde edilememiştir. Bu bağlamda bu iki veri için irrigasyon gruplarının karşılaştırılmasında Kruskal Wallis testi tercih edilmiş, ikili karşılaştırmalar ise Dwass-Steel-Critchlow-Fligner testi ile yapılmıştır. Her bir grup içerisinde öncesi ve sonrası karşılaştırmalar ise Wilcoxon rank testi ile yapılmıştır. İstatistik için anlamlılık derecesi $p<0,05$ 'e ayarlanmıştır. Bu çalışmada, kanal tedavisi öncesi ve sonrası fraktal ölçümlerinin intra-güvenilirliği, uyum korelasyonu katsayısı (concordance correlation coefficient - CCC) kullanılarak değerlendirilmiştir.

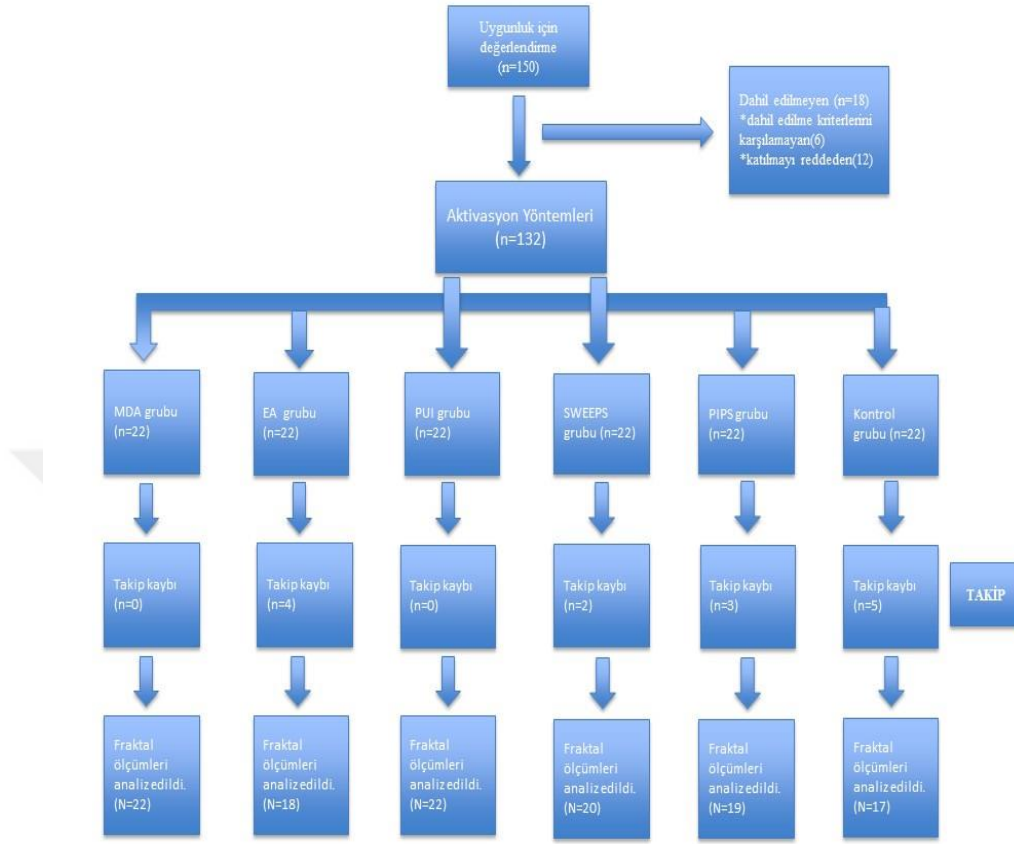
4. BULGULAR

Değerlendirmeye alınan 150 hastadan, katılmayı reddeden (12 hasta) ve dahil edilme kriterlerine uymayan (6 hasta) toplam 18 hasta çalışma dışı bırakıldı. Veri kaybı göz önünde bulundurularak toplamda 132 hasta ile çalışmaya başlandı. Ancak 14 hasta çeşitli nedenlerden dolayı (dış çekimi, şehir değişikliği vb.) takip aşamasında çalışmadan ayrıldı. 12 aylık takip dönemi ile birlikte toplamda çalışmada 55 kadın (%46,6) 63 erkek (%53,4) olmak üzere 118 hasta değerlendirmeye alındı. Sonuç olarak 118 diğ istatistiksel olarak analiz edildi (Şekil 7). Yaşın genel ortalaması 46,2 idi ve yaş aralığı 18 ile 74 arasında değişmekteydi. Yaş ve cinsiyete göre uygulanan aktivasyon yöntemleri arasında anlamlı bir fark bulunmadı ($p>0,05$) (Tablo 1).

Tablo 1. Cinsiyet ve yaşa göre aktivasyon yöntemlerinin karşılaştırılması

	Cinsiyet		Yaş	
	Kadın	Erkek	Ortalama (SS)	Min-Maks
KONTROL (N=17)	11,0 (%64,7)	6,0 (%35,3)	53,2 (12,8)	25,0 - 71,0
EA (N=18)	4,0 (%22,2)	14,0 (%77,8)	48,8 (15,1)	20,0 - 70,0
MDA (N=22)	7,0 (%31,8)	15,0 (%68,2)	44,0 (16,9)	18,0 - 73,0
PIPS (N=19)	10,0 (%52,6)	9,0 (%47,4)	43,2 (13,7)	19,0 - 63,0
PUİ (N=22)	11,0 (%50,0)	11,0 (%50,0)	44,7 (13,2)	21,0 - 65,0
SWEEPS (N=20)	12,0 (%60,0)	8,0 (%40,0)	44,8 (10,5)	26,0 - 74,0
Total (N=118)	55,0 (%46,6)	63,0 (%53,4)	46,2 (14,0)	18,0 - 74,0
p-değeri	0,067 ¹		0,221 ²	

¹ Ki-kare testi, ² Welch's Tek yönlü ANOVA testi, Games-Howell ikili karşılaştırma testine göre aynı sütundaki farklı harfler anlamlı farklılığı göstermektedir ($p<0,05$).



Şekil 7. Çalışmaya ait akış diyagramı

4.1. PAI Skorlarının Değerlendirilmesi

4.1.1. Normal Dağılımın ve Homojenitenin Değerlendirilmesi

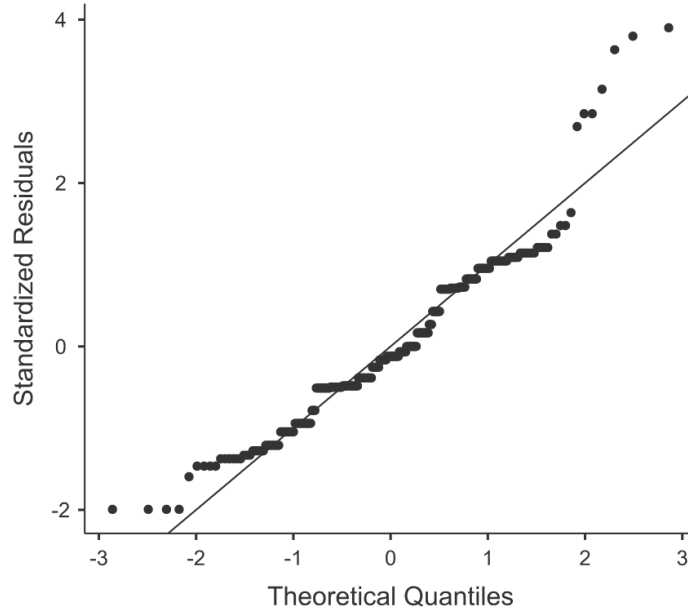
Q-Q grafiği incelendiğinde PAI skor verileri düz bir doğru etrafında yayılım gösterdi (Şekil 8). Ayrıca Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov ve Anderson-Darling testlerinin hepsinde istatistiksel bir anlamlılık elde edildi ($p < 0,05$) (Tablo 2). Bu veriler ışığında PAI skor verilerinin dağılımı normal olarak kabul edilmedi. Homojenite Levene's testi ile değerlendirildi ve varyanslar anlamlı şekilde homojen bulundu ($p > 0,05$) (Tablo 3).

Tablo 2. PAI Skor bağımsız değişkenine göre normalite test sonuçlarının gösterilmesi

İşlem Sırası	Normalite testi	p-değeri
Kanal Tedavisi Öncesi	Shapiro-Wilk	<0,001
	Kolmogorov-Smirnov	0,003
	Anderson-Darling	<0,001
Kanal Tedavisi Sonrası	Shapiro-Wilk	<0,001
	Kolmogorov-Smirnov	0,007
	Anderson-Darling	<0,001

Tablo 3. PAI Skor bağımsız değişkenine göre homojenite test sonuçlarının gösterilmesi

İşlem Sırası	Homojenite testi	p-değeri
Kanal Tedavisi Öncesi	Levene's	0,138
Kanal Tedavisi Sonrası	Levene's	0,065

**Şekil 8.** PAI skor verilerinin olasılık dağılımını gösteren Q-Q grafiği

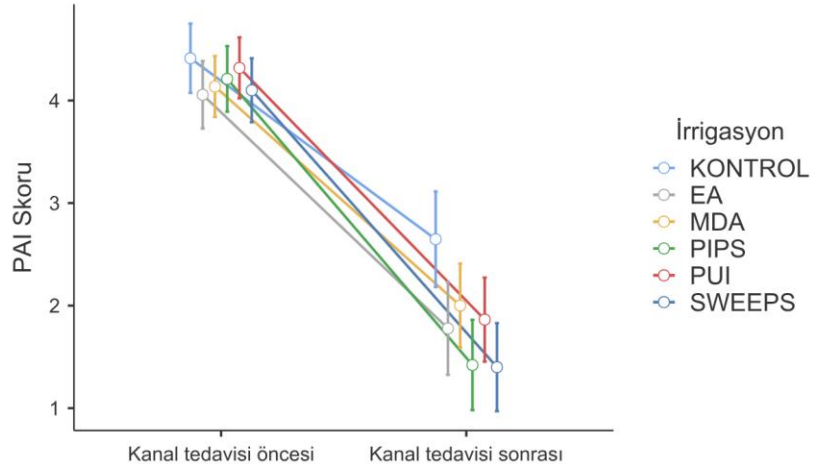
4.1.2. Kanal Tedavisinin ve İrrigasyon Tekniklerinin PAI Skoruna Etkisinin

Değerlendirilmesi

Kanal tedavisi sonrası PAI skoru her bir irrigasyon cihazı için kanal tedavisi öncesi verilerine göre anlamlı miktarda azalma gösterdi ($p<0,001$) (Tablo 4). Kanal tedavisi öncesi irrigasyon grupları arasında PAI skorları açısından anlamlı bir farklılık elde edilmedi ($p>0,05$). Kanal tedavisi sonrasında ise kontrol grubundaki PAI skoru PIPS ve SWEEPS gruplarına kıyasla anlamlı miktarda daha fazla bulundu ($p<0,05$). PAI skorundaki azalma PIPS ve SWEEPS grubunda kontrol grubuna göre anlamlı derecede daha fazlaydı ($p=0,048$). Diğer grup karşılaştırmalarında anlamlı bir farklılık elde edilmedi ($p>0,05$) (Tablo 4). Kanal tedavisi ve irrigasyon metotlarının PAI skoruna etkilerini gösteren grafikte (Şekil 9) sunulmuştur.

Tablo 4. Kanal tedavisinin ve irrigasyon tekniklerinin PAI skoruna etkisinin gösterimi

	Kanal Tedavisi Öncesi		Kanal Tedavisi Sonrası		p-değeri
	Ort+SS	Ortanca (Min-Maks)	Ort+SS	Ortanca (Min-Maks)	
Kontrol	4,412±0,507 ^a	4 (4-5) ^a	2,647±1,272 ^a	3 (1-5) ^a	<0,001 ¹
EA	4,056±0,802 ^a	4 (3-5) ^a	1,778±1,215 ^{ab}	1 (1-5) ^{ab}	<0,001 ¹
MDA	4,136±0,834 ^a	4 (3-5) ^a	2,000±0,976 ^{ab}	2 (1-5) ^{ab}	<0,001 ¹
PIPS	4,211±0,787 ^a	4 (3-5) ^a	1,421±0,507 ^b	1 (1-2) ^b	<0,001 ¹
PUI	4,318±0,568 ^a	4 (3-5) ^a	1,864±0,941 ^{ab}	2 (1-5) ^{ab}	<0,001 ¹
SWEEPS	4,100±0,641 ^a	4 (3-5) ^a	1,400±0,754 ^b	1 (1-4) ^b	<0,001 ¹
p-değeri		0,710 ²		0,003 ²	



Şekil 9. Kanal tedavisi ve irrigasyon metotlarının PAI skoruna etkilerini gösteren grafik (95% güven aralığında)

Tedavi öncesi ve tedaviden 1 yıl sonraki radyografiler PAI skora sistemi kullanılarak değerlendirildiğinde, PAI skorlarına göre hastalar önceki çalışmalara^{142,143} benzer şekilde 1 yıllık takipte “iyileşmiş” ($PAI < 3$) veya “iyileşmemiş” ($PAI \geq 3$) olarak sınıflandırıldı. Sonuçlar incelendiğinde kontrol grubunda, iyileşmemiş olarak değerlendirilen lezyon sayısı PIPS ve SWEEPS grubuna kıyasla daha fazlaydı. Kontrol grubunun iyileşme yüzdesi diğer gruplardan daha azdı (%41,1). PIPS grubundaki tüm lezyonlar, SWEEPS grubunda ise 1 tanesi dışında tüm lezyonlar iyileşmişti (Tablo 5).

Tablo 5. PAI skoruna göre 1 yıllık takipte ‘iyileşmiş’ ve ‘iyileşmemiş’ lezyonların sayısal ve yüzdesel değeri

İrrigasyon Grupları	İYİLEŞMİŞ (PAI < 3)	İYİLEŞMEMİŞ (PAI ≥ 3)	İYİLEŞME YÜZDELERİ
MDA	17	5	%77,2
Sonik Aktivasyon(EA)	14	4	%77,7
Pasif Ultrasonik Aktivasyon	19	3	%86,3
PIPS	19	0	%100
SWEEPS	19	1	%95
Kontrol Grubu	7	10	%41,1

PAI skoruna göre tedavi sonrası MDA grubunda 7, EA grubunda 11, PUİ grubunda 8, PIPS grubunda 11, SWEEPS grubunda ise 14 dişte lezyonların tamamen kaybolduğu gözlemlendi. Bunların yanı sıra grupların hiçbirinde tedavi sonrası lezyonlarda büyüme tespit edilmedi (Tablo 6).

Tablo 6. PAI skoruna göre 1 yıllık takipte lezyon boyutundaki değişimlerin sayısal verileri

İrrigasyon Grupları	Lezyon Gözlemlenmedi	Lezyon Boyutu Küçüldü	Lezyon Boyutunda Değişiklik Belirsiz	Lezyon Büyüdü
MDA	7	14	1	0
Sonik Aktivasyon(EA)	11	6	1	0
Pasif Ultrasonik İrrigasyon	8	13	1	0
PIPS	11	8	0	0
SWEEPS	14	6	0	0
Kontrol Grubu	4	11	2	0

4.2. Lezyon Çapının Değerlendirilmesi

4.2.1. Normal Dağılımın ve Homojenitenin Değerlendirilmesi

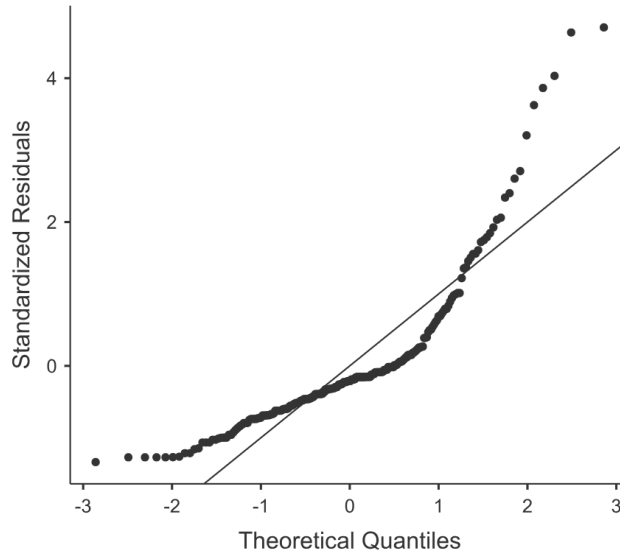
Q-Q grafiği incelendiğinde lezyon çapı verileri düz bir doğru etrafında yayılım göstermedi (Şekil 10). Ayrıca Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov ve Anderson-Darling testlerinin hepsinde anlamlı şekilde normal dağılım elde edilemedi ($p < 0,05$) (Tablo 7). Bu veriler ışığında lezyon çapı verilerinin dağılımı normal olarak kabul edilmedi. Homojenite ise Levene's testi ile değerlendirildi ve varyanslar anlamlı şekilde homojen bulunmadı ($p < 0,05$) (Tablo 8).

Tablo 7. Lezyon çapı veri bağımsız değişkenine göre normalite test sonuçlarının gösterilmesi

İşlem Sırası	Normalite testi	p-değeri
Kanal Tedavisi Öncesi	Shapiro-Wilk	< 0,001
	Kolmogorov-Smirnov	0,004
	Anderson-Darling	< 0,001
Kanal Tedavisi Sonrası	Shapiro-Wilk	< 0,001
	Kolmogorov-Smirnov	< 0,001
	Anderson-Darling	< 0,001

Tablo 8. Lezyon çapı veri bağımsız değişkenine göre homojenite test sonuçlarının gösterilmesi

İşlem Sırası	Homojenite testi	p-değeri
Kanal Tedavisi Öncesi	Levene's	0,042
Kanal Tedavisi Sonrası	Levene's	0,001



Şekil 10. Lezyon çapı verilerinin olasılık dağılımını gösteren Q-Q grafiği

4.2.2. Kanal Tedavisinin ve İrrigasyon Tekniklerinin Lezyon Çapına Etkisinin Değerlendirilmesi

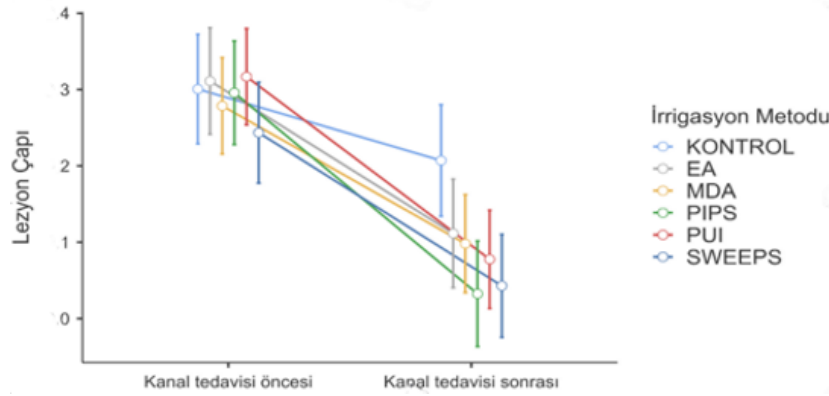
Kanal tedavisi sonrası lezyon çapı değerleri her bir irrigasyon cihazı için kanal tedavisi öncesi verilerine göre anlamlı miktarda azalma gösterdi ($p<0,001$), fakat kontrol grubunda kanal tedavisi öncesi ve sonrası anlamlı bir fark bulunmadı ($p>0,05$) (Tablo 9).

Kanal tedavisi öncesi irrigasyon grupları arasında lezyon çapı değerleri açısından anlamlı bir farklılık elde edilmedi ($p>0,05$). Kanal tedavisi sonrasında ise PIPS ve SWEEPS gruplarında lezyon çapının kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha küçük olduğu tespit edildi ($p=0,002$). Diğer grup karşılaştırmalarında anlamlı bir farklılık elde edilmedi ($p>0,05$) (Tablo 9). Kanal tedavisi ve irrigasyon metotlarının lezyon çapına etkilerini gösteren grafik (Şekil 11)'de sunulmuştur.

Tablo 9. Kanal tedavisinin ve irrigasyon tekniklerinin lezyon çapına etkisinin gösterim

	Kanal Tedavisi Öncesi		Kanal Tedavisi Sonrası		p-değeri
	Ort+SS	Ortanca (Min-Maks)	Ort+SS	Ortanca (Min-Maks)	
Kontrol	3,01±1,21 ^a	2,6 (1,3-5,3) ^a	2,07±2,28 ^a	1,2 (0,2-8) ^a	0,052 ¹
EA	3,11±1,42 ^a	2,8 (1,6-6,1) ^a	1,12±1,84 ^{ab}	0,3 (0,1-6,8) ^{ab}	0,001¹
MDA	2,79±1,67 ^a	2,3 (1-7,5) ^a	0,98±1,65 ^{ab}	0,5 (0,1-7,8) ^{ab}	< 0,001¹
PIPS	2,96±1,28 ^a	2,5 (1,1-6,4) ^a	0,33±0,24 ^b	0,3 (0,1-0,9) ^b	< 0,001¹
PUİ	3,17±2,04 ^a	2,45 (1,2-8,5) ^a	0,78±1,58 ^{ab}	0,4 (0,1-7,7) ^{ab}	< 0,001¹
SWEEPS	2,43±0,94 ^a	2,05 (1,2-4,8) ^a	0,43±0,64 ^b	0,2 (0,1-3) ^b	< 0,001¹
p-değeri		0,569 ²		0,002²	

¹ Wilcoxon rank testi, ² Kruskal-Wallis testi, Dwass-Steel-Critchlow-Fligner ikili karşılaştırma testine göre aynı sütundaki farklı harfler anlamlı farklılığı göstermektedir ($p<0,05$).



Şekil 11. Kanal tedavisi ve irrigasyon metotlarının lezyon çapına etkilerini gösteren grafik (95% güven aralığında)

4.3. Fraktal Boyutun Değerlendirilmesi

Kanal tedavisi öncesi fraktal ölçümler için intra-güvenilirlik 0.836 (95% GA: 0.672-0.922) olarak bulunmuştur. Kanal tedavisi sonrası fraktal ölçümlerde ise CCC değeri 0.810 (95% GA: 0.645-0.902) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, hem kanal tedavisi öncesi hem de sonrası fraktal ölçümler, yüksek derecede tekrarlanabilirlik ve güvenilirlik göstermektedir. Bu durum, verilerin ileri analizler için güvenilir olduğunu ve çalışmalarınızda ölçüm varyasyonunun minimal olduğunu vurgulamaktadır.

4.3.1. Normal Dağılımın ve Homojenitenin Değerlendirilmesi

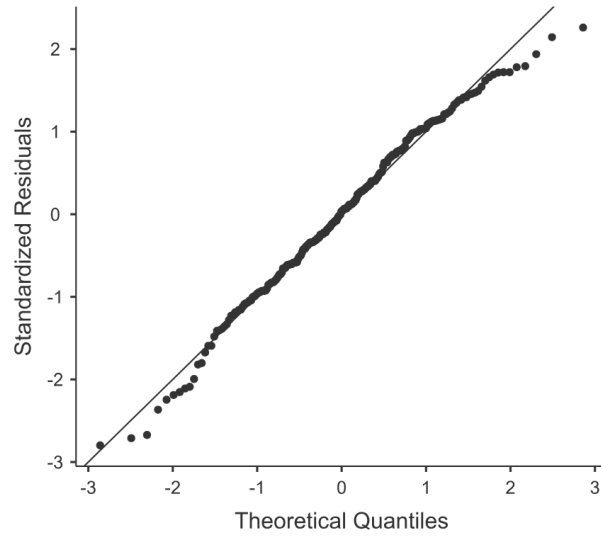
Q-Q grafiği incelendiğinde fraktal boyut verileri düz bir doğru etrafında yayılım gösterdi (Şekil 12). Ayrıca Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov ve Anderson-Darling testlerinin hepsinde istatistiksel bir anlamlılık elde edilemedi ($p > 0,05$) (Tablo 10). Bu veriler ışığında fraktal analiz verilerinin dağılımı normal olarak kabul edildi. Homojenite ise Levene's testi ile değerlendirildi ve varyanslar anlamlı şekilde homojen bulundu ($p < 0,05$) (Tablo 11).

Tablo 10. Fraktal boyut bağımsız değişkenine göre normalite test sonuçlarının gösterilmesi

İşlem Sırası	Normalite testi	p-değeri
Kanal Tedavisi Öncesi	Shapiro-Wilk	0,783
	Kolmogorov-Smirnov	0,936
	Anderson-Darling	0,851
Kanal Tedavisi Sonrası	Shapiro-Wilk	0,193
	Kolmogorov-Smirnov	0,933
	Anderson-Darling	0,341

Tablo 11. Fraktal boyut bağımsız değişkenine göre homojenite test sonuçlarının gösterilmesi

İşlem Sırası	Homojenite testi	p-değeri
Kanal Tedavisi Öncesi	Levene's	0,029
Kanal Tedavisi Sonrası	Levene's	0,027



Şekil 12. Fraktal boyut verilerinin olasılık dağılımını gösteren Q-Q grafiği

4.3.2. Kanal Tedavisinin ve İrrigasyon Tekniklerinin Fraktal Boyuta

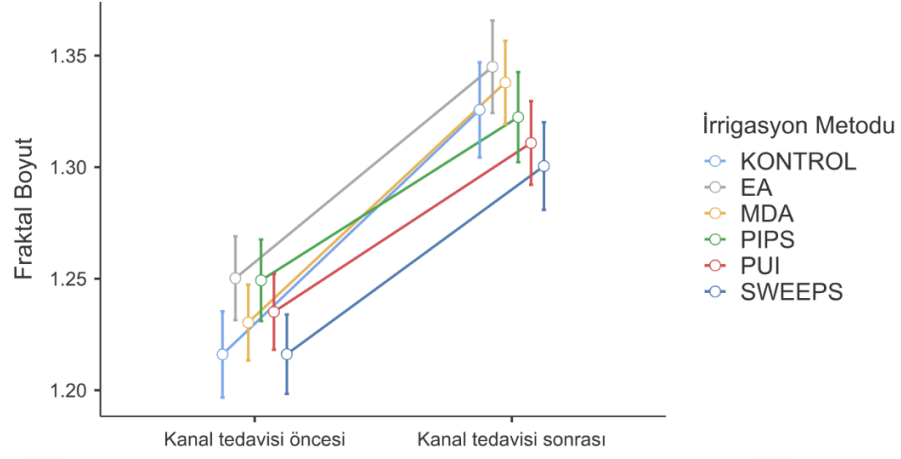
Etkisinin Değerlendirilmesi

Kanal tedavisi sonrası fraktal boyut değerleri her bir irrigasyon cihazı ve kontrol grubu için kanal tedavisi öncesi verilerine göre anlamlı miktarda arttı ($p<0,001$). Hem kanal tedavisi öncesi hem de kanal tedavisi sonrası, EA irrigasyon grubundaki fraktal boyut değerleri SWEEPS'e kıyasla anlamlı miktarda daha fazlaydı ($p<0,05$). Fakat diğer irrigasyon cihazları arasında anlamlı bir farklılık elde edilmedi ($p>0,05$). Fraktal boyuttaki artış açısından irrigasyon grupları arasında anlamlı bir fark bulunmadı ($p>0,05$) (Tablo 12). Kanal tedavisi ve İrrigasyon metotlarının fraktal boyuta etkilerini gösteren grafik (Şekil 13)'da sunulmuştur.

Tablo 12. Kanal tedavisinin ve irrigasyon tekniklerinin fraktal boyuta etkisinin gösterimi

	Kanal Tedavisi Öncesi		Kanal Tedavisi Sonrası		p-değeri	Fraktal Boyut artışı
	Ort+SS	Ortanca (Min-Maks)	Ort+SS	Ortanca (Min-Maks)		Ort+SS
Kontrol	1,216±0,044 ^{ab}	1,212 (1,127-1,287) ^{ab}	1,326±0,046 ^{ab}	1,325 (1,21-1,386) ^{ab}	<0,001 ¹	0,110±0,066 ^a
EA	1,25±0,034 ^a	1,253 (1,181-1,306) ^a	1,345±0,025 ^a	1,341 (1,311-1,39) ^a	<0,001 ¹	0,095±0,038 ^a
MDA	1,23±0,04 ^{ab}	1,222 (1,172-1,319) ^{ab}	1,338±0,035 ^{ab}	1,327 (1,285-1,395) ^{ab}	<0,001 ¹	0,108±0,044 ^a
PIPS	1,249±0,042 ^{ab}	1,251 (1,162-1,311) ^{ab}	1,322±0,038 ^{ab}	1,319 (1,236-1,391) ^{ab}	<0,001 ¹	0,073±0,045 ^a
PUİ	1,235±0,049 ^{ab}	1,23 (1,123-1,302) ^{ab}	1,311±0,055 ^{ab}	1,314 (1,213-1,391) ^{ab}	<0,001 ¹	0,076±0,048 ^a
SWEEPS	1,216±0,025 ^b	1,217 (1,16-1,253) ^b	1,3±0,057 ^b	1,315 (1,19-1,394) ^b	<0,001 ¹	0,084±0,051 ^a
p-değeri		0,009²		0,016²		0,104²

¹ Paired-Simple t-test, ² Welch's Tek yönlü ANOVA testi, Games-Howell ikili karşılaştırma testine göre aynı sütundaki farklı harfler anlamlı farklılığı göstermektedir ($p<0,05$).



Şekil 13. Kanal tedavisi ve İrrigasyon metotlarının fraktal boyuta etkilerini gösteren grafik (95% güven aralığında)

5. TARTIŞMA

Başarılı bir endodontik tedavide temel amaç, kök kanal sisteminden canlı ve nekrotik pulpa dokusu kalıntılarının, mikroorganizmaların ve mikrobiyal toksinlerin tamamen uzaklaştırılmasıyla enfeksiyonu ortadan kaldırmak ve gelecekte meydana gelebilecek yeniden enfeksiyonların önüne geçmektir. Tedavinin başarısı etkili bir şekillendirilme, irrigasyon ve kanal dolgusuna bağlıdır.¹

Kök kanal sisteminde erişilmesi zor olan lateral kanallar ve isthmus gibi yapılarda bulunan mikroorganizmalar ve bunların meydana getirdiği ürünler, periradiküler dokularda inflamasyona yol açabilirler.^{5,6} Dezenfekte edilmesi ve ulaşılması zor olan bu bölgeler, pulpa ile periodonsiyum arasında bakteriler ve ürünleri için bir geçiş yolu oluşturur. Kök kanal sisteminin bu karmaşık anatomisi, enfekte alanların tamamının debride olmasını sınırlar. Bu nedenle, kök kanallarındaki enfeksiyon odaklarını etkili bir şekilde temizleyebilmek için kök kanal hazırlığı, etkin bir irrigasyonla birleştirilmelidir.⁴

Yapılan literatür taramasında aktivasyon yöntemlerinin debris temizleme, antimikrobiyal etki ve etkili aktivasyon kapasiteleri gibi pek çok özelliğinin karşılaştırıldığı birçok çalışma^{17,200,201} olmasına rağmen, bu yöntemlerin büyük apikal lezyonların iyileşmesi üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalar sınırlıdır. Bu çalışma, apikal periodontitisli dişlerde farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin mevcut lezyon iyileşmeleri üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir.

Bu çalışmada katılımcıların yaş ortalaması 46,2'dir. Bunların %46,6'sı kadın hastayken %53,4'ü erkek hastadır. Bu çalışmanın bulgularına göre endodontik tedavi tüm gruplarda yaşlardan bağımsız olarak başarılı bulunmuştur. Bu bulgular endodontik tedavinin prognozu ile hastaların yaşları arasında bir korelasyon olmadığını belirten birçok çalışmanın sonuçları ile tutarlıdır.^{154, 155}

Çeşitli çalışmalarda sistemik hastalıkların (diyabet, hipertansiyon, pıhtılaşma bozuklukları, kronik karaciğer ve böbrek rahatsızlıkları) endodontik tedavi başarısına olumsuz etki edebileceği belirtilmiştir.¹⁵⁶ Osteogenez, böbrek yetmezliği, diyabet, orak hücreli anemi gibi kemik yapım ve yıkımını olumsuz etkileyen sistemik hastalıklara sahip bireylerin sağlıklı bireylerle karşılaştırıldığı farklı çalışmalarda, FB değerlerinde diyabet grubu hariç belirgin farklar olduğu tespit edilmiştir.¹⁵⁷⁻¹⁵⁹ Başka bir çalışmada FB artışının, kontrol grubunda diyabet grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgulara dayanarak, diyabet grubundaki iyileşmenin kontrol grubuna göre daha yavaş olduğu sonucuna varılmıştır.¹⁶⁰ İleriye dönük bir başka çalışmada, lezyon çapı 2 mm olan dişlerde PAI skoru kullanılarak iyileşme değerlendirildiğinde, diyabet hastalarının sağlıklı hastalara kıyasla daha az periapikal iyileşme gösterdiği bildirilmiştir.¹⁶¹ Yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere FB sistemik hastalıklardan etkilenmektedir. Bu nedenle bu çalışmaya sistemik hastalığı bulunmayan hastalar dahil edilmiştir.

Günümüzde yapılan birçok çalışmada, tek veya çok seansta uygulanan tedavilerin lezyon iyileşmesi açısından benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.¹⁶² Bu nedenle, bu çalışmada kanal tedavileri tek seansta tamamlanmıştır. Azaltılmış randevu sayısı, hekime bağlı hata riskinin düşmesi ve seanslar arasında bakteriyel sızıntı ihtimalinin ortadan kalkması gibi avantajlar da bu tercihi desteklemektedir.¹⁶³

Tek köklü dişlerin kök kanal anatomisinin, irrigasyon protokolleri arasındaki farkı ortaya koyacak kadar karmaşık olmadığı düşünülse de yapılan mikro-BT çalışmalarında bu dişlerin apikal bölgede karmaşık bir anatomi sergilediği gösterilmiştir.^{36, 164} Apikal periodontitis tanısı konulan dişlerin iyileşme süreçlerini tek köklü kanallar kullanarak değerlendiren çalışmalar mevcuttur.^{36, 165} Kök kanal eğrilikleri, lateral kanal ve isthmusların anatomik farklılıkları, tedavi süresi, uygulama hataları ve çalışma boylarının doğru bir şekilde belirlenememesi gibi faktörlerden dolayı çok köklü dişlerin standardize edilerek değerlendirilmesi, tek köklü dişlere göre çok daha zordur. Bu sebeple, bu çalışmada tek köklü dişlerin seçilmesine karar verilmiştir. Bu seçim, tedavi sürecinin olabildiğince standardize edilmesine katkı sağlamıştır.

Endodontik irrigasyon solüsyonu tercihi noktasında ise ilk akla gelen seçenek genellikle altın standart olarak kabul edilen NaOCl'dir.⁷ NaOCl geniş spektrumlu olması, bakterisidal özellikleri ve organik doku çözme yeteneği nedeniyle kök kanal tedavisinde en yaygın olarak kullanılan irrigasyon solüsyonudur.^{65, 166} Yüksek pH seviyesi (11-12,2) NaOCl'ye geniş bir antimikrobiyal etki sağlar.⁴⁵ EDTA ise endodontik tedavide kök kanal preparasyonu sırasında oluşan smear tabakasının inorganik kısmını etkili bir şekilde uzaklaştırdığı için final irrigasyonunda NaOCl ile birlikte kullanımı önerilen bir diğer solüsyondur.^{167, 168} Bu çalışmada, etkinlikleri daha önce yapılan bilimsel çalışmalarla kanıtlanmış olan bu irrigasyon solüsyonları tercih edilmiştir.

Literatürde dezenfeksiyonla ilgili in vitro araştırmalar ve periapikal iyileşmeyi inceleyen in vivo çalışmalarda geleneksel şırınga irrigasyonun sıklıkla kullanıldığı görülmektedir.^{99, 168} Köpeklerin premolar dişleri üzerinde yapılan bir araştırmada, şırınga irrigasyonunun apikal periodontitisin iyileşmesine olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir.¹⁶⁹

Bu bulguyu destekleyen kanin dişleri üzerinde yapılan başka bir in vitro çalışmada da şırınga irrigasyonunun debris uzaklaştırmada etkili olduğu ortaya konmuştur.⁹⁹ Liang ve ark.¹⁷⁰ yaptığı bir araştırmada da geleneksel şırınga ile irrigasyon grubu kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Ancak, Hülsmann ve ark.¹⁷¹ kanal düzensizliklerine ve oval şekilli kanallar gibi kompleks morfolojilere sahip vakalarda, şırınga irrigasyonu sonrasında kanalların içinde büyük miktarda debris birikintisi kaldığını gözlemlemişlerdir. Bu görüşü destekleyen başka bir çalışmada da, geleneksel şırınga irrigasyonunun özellikle bu tür düzensiz alanların etkin bir şekilde dezenfekte edilmesinde yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, şırınga irrigasyonunun karmaşık kanal morfolojilerine sahip dişlerde etkili bir temizleme sağlamada sınırlı olabileceğine işaret etmektedir.¹⁷² MDA, sonik, ultrasonik, PIPS ve SWEEPS aktivasyon yöntemlerinin iyileşme üzerindeki etkisini değerlendiren bu çalışmada kontrol grubu olarak geleneksel şırınga irrigasyonu tercih edilmiştir.

Kanal tedavisinden sonra periradiküler dokuların onarımı kemik, periodontal ligament ve sementin dahil olduğu karmaşık bir süreçtir.¹⁷³ Apikal periodontitisli dişlerin tedavi sonrası takip süreleri çalışmalarda farklılık göstermekle birlikte, birçok çalışma 1 yıllık takip süresinin tercih edildiği görülmüştür.^{174, 175} Yapılan bir çalışmada, kist benzeri büyük bir lezyona sahip geniş apeksli bir dişin iyileşmesinin ilk 1 yıl içinde gerçekleştiği rapor edilmiştir.¹⁷⁶ Benzer şekilde, başka bir çalışmada da mandibular tek köklü dişte iyileşmenin tedaviden 3 ay sonra başladığı ve 1 yıl içinde tamamlandığı gösterilmiştir.¹⁷⁷ Strindberg¹⁷⁸ 4 yıllık takip süresini tam iyileşmenin standart bir ölçütü olarak önerirken, Ørstavik¹⁴⁰ tamamen iyileşmiş lezyonların %88'inin 1 yıldan sonra ilk iyileşme belirtilerini gösterdiğini ifade etmiştir. Bu çalışmada takip süresi, yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak 1 yıl olarak belirlenmiştir.

Endodontik vakalarda kök ve periapikal bölgenin sağlığını değerlendirmek amacıyla ağız içi radyografiler kullanılmaktadır.¹⁷⁹ Tedavi öncesinde çekilen radyografiler, hekime kök kanal sisteminin eğimini tahmin etme ve çalışma boyunu belirleme konusunda yardımcı olurken, tedavi sonrasında alınan radyografiler ise periapikal lezyonların iyileşmesini değerlendirmek için rehberlik ederler.¹⁸⁰ Endodontik tedavi sonrası yapılan takiplerde, klinik ve radyografik olarak herhangi bir semptom ya da radyolusent alan yoksa, dişin ve çevre dokuların iyileştiği kabul edilir. Ancak, takip süresi boyunca radyografik olarak radyolusent alanın aynı kalması, büyümesi ya da yeni radyolusent alanların oluşması, klinik semptomlar olmasa bile ilgili bölgede bir hastalığın varlığına işaret eder.¹⁸¹

Literatürde panoramik, periapikal, bite-wing, sefalometrik radyografiler ve KIBT dışında, mikro-BT, ultrason ve siyalografi gibi diğer görüntüleme teknikleriyle gerçekleştirilen fraktal analiz çalışmaları da yer almaktadır.¹⁸² Fraktal analizi (FA) , periapikal doku iyileşmesi sonrasında süngerimsi kemik yapılarındaki ve çeşitli sistemik hastalıklardaki trabeküler değişiklikleri değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.^{183, 184} Oral radyografiler, kemik kalitesi kaybının erken dönemlerde tespit edilebilmesine olanak tanır.¹⁵¹ FA gibi objektif ölçüm yöntemleri, hastalıklardan kaynaklanan ve sonrasında meydana gelen kemik yapısındaki değişimleri değerlendirmek için klinik ve bilimsel araştırmalarda önemli bir rol oynamaktadır.³²

Bu çalışmada da hastalardan tedavi öncesi ve sonrası dönemlerde rutin olarak alınan panoramik radyografiler üzerinden lezyon iyileşmesinin değerlendirilmesi için nicel, güvenilir ve ekonomik olması, kolay uygulanabilirliği, projeksiyon geometrisi ve radyodensiteden etkilenmemesi, trabeküler kemik paterni hakkında objektif bilgi sağlaması ve literatürde yaygın kullanımından dolayı kutu sayma metodu kullanılarak fraktal analiz gerçekleştirilmiştir.¹⁸³

Fraktal analiz uygulamalarında, klinikte kullanım sıklığı ve pratikliği nedeniyle genellikle periapikal ve panoramik radyografiler tercih edilmiştir. Ancak üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü görüntüler, kemik kalitesinin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlar.¹⁸² Literatürde, panoramik radyografilere kıyasla intraoral radyografilerin daha yüksek çözünürlük sunduğu ve daha kesin sonuçlar verdiği belirtilmiş ve bu nedenle FB değerlerini ölçmek amacıyla tercih edilmiştir. Ancak, panoramik radyografiler de trabeküler paterni gösterebilme yeterliliğinden dolayı kullanılmaktadır.¹⁸⁵ Panoramik, periapikal, sefalometrik ve bite-wing radyografilerde, KIBT ve mikro-BT'ye göre distorsiyon ve bulanıklaşma gibi standardizasyonu etkileyen problemler daha fazla görülmektedir. Bazı çalışmalar, panoramik ve periapikal radyografilerden elde edilen FB değerlerinin ışınlama süresi, voksel boyutu ve çözünürlük gibi faktörlerden etkilendiğini ortaya koymuştur. Ancak bu durum, panoramik ve periapikal tekniklerin kullanımına engel teşkil etmemektedir.¹⁸⁶ Fraktal analizin önemli bir avantajı, projeksiyon açılarındaki küçük değişikliklerden fraktal boyut değerlerinin etkilenmemesi olarak belirtilmiştir.³¹

Bazı çalışmalar da kVp, mAs ve X-ışını açılanması gibi radyografik ayarların FB üzerinde minimum etkisi olabileceğini bildirmiştir.^{145, 187} Ancak klinik standartlarda elde edilen röntgenlerde radyasyon, tüp açılanması ve kontrast gibi faktörlerin FB değerlerini etkilemediğini ifade eden çalışmalar da literatürde mevcuttur.¹⁸⁸

Panoramik röntgenler, standardizasyon ve pozisyon ayarının periapikal röntgenlere göre daha kolay sağlanabilmesi nedeniyle klinik uygulamalarda rutin olarak tercih edilmektedir. Farklı teknisyenler tarafından çekilen periapikal röntgenlerde standardizasyon sağlamanın zor olması, fosfor plaklarda oluşan deformasyonlar ve çiziklerin görüntü kalitesini etkileyebilmesi ve hastaların gereksiz radyasyona maruz kalmalarının önlenmesi amacıyla bu çalışmada panoramik röntgenler kullanılarak fraktal analiz yapılması tercih edilmiştir.¹⁸³

Periapikal lezyonların takibinde kullanılmak üzere Ørstavik ve arkadaşları PAI skor sistemini geliştirmiştir.¹³⁷ Bu sistemde, 1-5 arasında bir skala oluşturularak periapikal farklılıklar değerlendirilmiştir. Farklı inflamasyon düzeylerinin değerlendirilmesine olanak sağlayan PAI skoru çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir.¹⁸⁹ Literatürde yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde PAI skorunun 2 ve daha altında olduğu durumlar küçük bir defekti ve hafif inflamasyonu tanımlamaktadır.¹⁹⁰ Ayrıca bu vakaların iyileşme yüzdelerinin daha başarılı olduğu saptanmıştır.^{191, 192} Bu çalışmada, apikal bölgedeki lezyonları daha iyi analiz edebilmek adına daha şiddetli inflamasyon ve kemik defektlerinin gözlemlendiği PAI ≥ 3 dişler tercih edilmiştir.

Mevcut çalışmada, tedavi edilen dişler radyografik verilere göre “iyileşmiş” ($PAI < 3$) veya “iyileşmemiş” ($PAI \geq 3$) olarak sınıflandırılmıştır. Sonuçlarımıza göre kanal tedavisi sonrası PAI skoru her bir irrigasyon cihazı için kanal tedavisi öncesi verilerine göre anlamlı miktarda azalma göstermiştir. Ayrıca, PAI'ye göre iyileşme yüzdeleri değerlendirildiğinde, 1 yıllık postoperatif takipte genel başarı oranı %80,5 olarak saptanmıştır. Bir retrospektif çalışma sonucuna göre, lezyonlu dişlere uygulanan retreatment tedavisi sonucu genel başarı oranı %85,1 olarak bildirilmiştir.¹³ Yapılan bir çalışmada kök kanal tedavisi uygulanan apikal periodontitisli dişlerin 4 yıllık takibi sonucunda başarı oranı %74 olarak bildirilmiştir.¹⁹³ Sonuçlarımız bu çalışmalarla uyumludur.

PIPS ve SWEEPS, literatürde irrigasyon solüsyonlarını aktive etmek için devrim niteliğinde ve etkili yöntemler olarak tanımlanmaktadır. PIPS'in kanal dezenfeksiyonunda, debris ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında umut verici olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur.^{124, 194} SWEEPS ise PIPS tekniğinin temizlik ve dezenfeksiyon etkinliğini artırmak için geliştirilmiş bir Er:YAG lazer modelidir.^{118, 195} Bu modelde, irrigasyon solüsyonuna ardışık olarak iletilen iki lazer darbesi sonucu oluşan kabarcıklar daha hızlı çöker ve bu foto-akustik şok dalgalarının daha dar kök kanallarına ulaşmasına olanak tanır.^{118, 195} Bu avantajlarından dolayı çalışmamıza PIPS ve SWEEPS lazer grupları dahil edilmiştir. Aktivasyon gruplarının iyileşme yüzdeleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde lazer grupları (PIPS,%100; SWEEPS,%95) en yüksek başarıyı göstermiştir. Ayrıca, bu gruplarda 1 yıllık takipteki PAI skoru ve lezyon çapının geleneksel şırınga grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda mevcut çalışmanın sıfır hipotezi reddedilmiştir.

Farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleri kullanılarak kanal tedavisi yapılan periapikal lezyonlu dişlerde lezyon iyileşme oranlarının KIBT ile hacimsel olarak karşılaştırıldığı güncel bir klinik çalışmada, 1 yıllık takip süresince lezyon değişim yüzdeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamasına rağmen, SWEEPS grubundaki hacimsel iyileşme geleneksel şırınga grubuna göre daha yüksek bulunmuştur.¹⁹⁶ Bu çalışma ile mevcut çalışma karşılaştırıldığında kök kanal tedavisinden sonra PAI skoru ile lezyon çapı değerlerinde azalma ve irrigasyon grupları arasında lazer gruplarında iyileşme yüzdelerinin geleneksel şırınga grubuna göre daha fazla olduğu sonucu desteklenmiştir.

SWEEPS ile geleneksel şırınga yönteminin debris uzaklaştırma etkinliklerinin karşılaştırıldığı bir in vitro çalışmada, SWEEPS yöntemi daha üstün bulunmuştur.¹⁹⁷ Yapılan bir başka in vitro çalışmada da SWEEPS, geleneksel şırınga irrigasyonundan daha fazla smear ve debris tabakası uzaklaştırmıştır.¹⁹⁸ Bago ve ark.¹⁹⁹ tarafından kök kanalının apikal üçte birlik kısmındaki isthmus bölgesinden debris uzaklaştırmada SWEEPS ve geleneksel şırınga irrigasyonunun etkinliğini karşılaştırdığı histopatolojik incelemede, SWEEPS'in isthmus bölgesinin debridmanında daha etkili olduğu ve geleneksel şırınga yönteminden anlamlı bir şekilde daha fazla debris tabakası uzaklaştırdığı tespit edilmiştir.¹⁹⁹ Bu in vitro çalışmalar da mevcut çalışmadaki lazer gruplarının üstünlüğünü destekler niteliktedir.

Ancak, bazı çalışmalar bu bulgularla çelişmektedir. Tek köklü dişler kullanılarak PIPS ile geleneksel şırınga irrigasyonunun smear tabakası ve E. Faecalis üzerindeki etkilerini inceleyen bir in vitro çalışmada, bu iki yöntem arasında anlamlı bir fark gözlemlenmediği rapor edilmiştir.²⁰⁰

Akyüz ve ark.¹⁷ tarafından tek köklü maksiller dişlerde yapılan bir çalışmada, PIPS'in smear tabakasını uzaklaştırma etkinliği geleneksel yönteme göre üstün bulunmasına rağmen, aralarındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Literatürde lazer destekli irrigasyon aktivasyonu üzerine yapılan çalışmalarda PIPS ve SWEEPS'i değerlendiren çok fazla çalışma bulunmamaktadır.^{30, 201} Mandibular molar dişlerin mezial ve distal kök kanallarında biriken debrisin uzaklaştırılmasında PIPS ve SWEEPS aktivasyonunun etkinliğini mikro-BT kullanılarak değerlendiren in vitro çalışmada SWEEPS özellikle isthmus içeren mezial köklerde, PIPS'e kıyasla daha fazla debris tabakası uzaklaştırmıştır.¹²⁵ Arıcıoğlu ve ark.²⁰² tarafından geliştirilmiş irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin kök kanalını temizleme etkinliğinin incelendiği in vitro çalışmada düz tek köklü mandibular premolar dişlerde SWEEPS'in PIPS'e göre önemli ölçüde daha düşük debris skoru gösterdiği ve daha fazla temizleme etkinliği sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Aşırı eğimli kök kanallarında retreatment sonrası kanal içeriğini uzaklaştırmak için kullanıldıkları in vitro bir çalışmada PIPS grubu, SWEEPS'e göre daha yüksek bir uzaklaştırma etkinliği göstermiştir.²⁰³ Bu çalışmaların aksine mevcut çalışmada PIPS ve SWEEPS grupları arasında anlamlı bir fark görülmemiştir. Bu farklılık çalışmalarda kullanılan örnek dişlerin kanal çapı, eğimi gibi anatomik özellikleri veya çalışma tipiyle ilişkili olabilir.

Literatürde mevcut çalışmayı destekler şekilde PIPS ve SWEEPS'in birbirinden üstün olmadığına dair çalışmalar da mevcuttur.^{204, 205} Tek köklü mandibular premolar dişlerde E. Faecalis biyofilmlerinin ortadan kaldırılma etkinliği açısından PIPS ve SWEEPS yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada iki yöntem arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır.²⁰⁴

Farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin smear tabakası uzaklaştırma etkinliğinin araştırıldığı bir in vitro çalışmada, PIPS ve SWEEPS'in apikal bölgede benzer smear skorları gösterdiği tespit edilmiştir.²⁰⁵

Ultrasonik enerjiyi kullanarak etki gösteren PUI aktivasyon sistemleri irrigasyon solüsyonlarının etkin bir şekilde kök kanal sistemi içinde dağılmasını sağlar.^{99, 206} Kavitasyon etkisi, solüsyon sıcaklığındaki artışla sağlanan etkili dezenfeksiyon ve kanal düzensizliklerine yüksek erişim imkanını içerir.⁹⁹ Sonik sistemler, ultrasonik sistemlere göre daha düşük frekansta çalışır ve genellikle daha az ısınma ve daha az kavitasyon etkisi ile ilişkilidir.¹⁰⁰ Bu durum, solüsyonun termal bozulmasını ve kök kanal sisteminin zarar görme ihtimalini azaltır. Diğer bir irrigasyon yöntemi olan MDA ise ekonomik olması, kolay uygulanabilirliği ve irrigasyon solüsyonunun apikal bölgeye ulaşımını desteklemesi gibi etkilerinden dolayı tercih edilmektedir.^{207, 208} MDA'nın, ulaşılması zor alanlarda irrigasyon solüsyonlarının akışını ve penetrasyonunu artırarak debris ve bakterilerin uzaklaştırılmasında etkili olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur.^{207, 209}

Mayer ve ark.²¹⁰ tarafından tek köklü premolar dişler kullanılarak yapılan bir in vitro çalışmada, kök kanalından dentin artıklarının temizlenmesinde PUI ve geleneksel şırınga irrigasyonu arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Yapılan bir in vivo çalışmada, tek köklü dişlere uygulanan geleneksel şırınga ve PUI ile aktivasyon yöntemlerinin lezyon iyileşmesine etkisini inceleyen araştırmacılar her iki aktivasyon yönteminin de lezyon hacim değerlerini düşürdüğünü bulmuşlardır.¹⁷⁰

Daimi molar dişlerin kavisli kanallarındaki smear tabakası ve artıkların uzaklaştırılmasında sonik aktivasyon ve geleneksel şırınga irrigasyonunun etkinliğinin karşılaştırıldığı bir in vitro çalışmada istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.²¹¹

Molar dişlerde sonik aktivasyon ve PUI'nin temizleme etkinliğinin karşılaştırıldığı bir in vitro çalışmada iki grup arasında debris uzaklaştırma etkinliği açısından fark bulunamamıştır.²¹² Bu bulgular mevcut çalışmanın sonuçlarını destekler niteliktedir.

Ancak literatürde irrigasyon aktivasyon sistemlerinin etkinliklerine yönelik birçok çalışma yapılmış ve çalışmalar arasında çelişkili sonuçlar olduğu görülmüştür.¹⁹⁸ ²⁰¹ PUI ve sonik aktivasyonun maksiller molar dişlerdeki temizleme etkinliğinin karşılaştırıldığı bir in vitro çalışmada, PUI'nin sonik aktivasyona göre daha başarılı olduğu gösterilmiştir.⁹⁰ Düz kanallı ve tek köklü dişlerde sonik, PUI, PIPS, SWEEPS ve MDA aktivasyon yöntemleri kullanılarak irrigasyon solüsyonlarının dentin kanallarına penetrasyon etkinliğinin karşılaştırıldığı bir in vitro çalışmada; apikal üçlüde PIPS grubunun MDA ve SWEEPS'e kıyasla anlamlı derecede daha yüksek ortalama penetrasyon derinliği sergilediği ve diğer aktivasyon grupları arasında anlamlı fark olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada minimum penetrasyon derinliği değerlendirildiğinde PIPS'in apikal üçlüde diğer tüm gruplara kıyasla anlamlı derecede daha yüksek performans sergilediği tespit edilmiştir. ²⁰¹ SWEEPS, PUI ve geleneksel şırınga irrigasyonu olmak üzere üç yöntemin kök kanalındaki smear tabakası ve debris uzaklaştırma yeteneklerinin değerlendirildiği başka bir çalışmada, SWEEPS ve PUI'nin geleneksel şırınga irrigasyonundan daha iyi bir şekilde smear tabakasını uzaklaştırdığı, PUI ve SWEEPS arasında ise smear ve debris tabakası temizleme etkinliği açısından önemli ölçüde fark olmadığı bulunmuştur.¹⁹⁸ Tek köklü mandibular premolar dişler kullanılarak MDA ve PUI aktivasyon yöntemlerinin smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğinin karşılaştırıldığı bir in vitro çalışmada, MDA grubunun PUI ve geleneksel yöntemle göre smear tabakasını daha iyi uzaklaştırdığı bulunmuştur.²¹³

MDA, geleneksel şırınga ve PUI'nin irrigasyon etkinliklerinin karşılaştırıldığı başka bir çalışmada ise MDA'nın geleneksel yonteme göre kök kanallarından daha etkili bir şekilde debris kaldırdığı, ancak PUI grubunun gerisinde kaldığı tespit edilmiştir.²¹⁴ Tek köklü mandibular premolar dişlerdeki smear tabakasını uzaklaştırmada PUI, MDA ve geleneksel şırınga yönteminin kullanıldığı bir in vitro çalışmada, PUI ve MDA'nın kökün apikal üçte birlik kısmında geleneksel yonteme göre daha iyi temizleme sağladığı görülmüştür.²¹⁵ Endodontik tedavi sırasında sonik ve ultrasonik irrigasyonların sonuçlarının ortaya çıkarılması için yürütülen bir meta-analiz çalışmasında, sonik olarak aktive edilen dişlerin, özellikle kök kanalının apikal seviyesinde, önemli ölçüde daha düşük bir smear tabakasına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca sonik aktivasyon, smear tabakasının çıkarılmasında ultrasonik aktivasyona kıyasla ilerleme sağlarken, ultrasonik aktivasyon patlar ve dentin tübülleri arasında önemli bir bağlanma sağlayarak apikal sızıntı ve diş kırılması riskini azaltmıştır.²¹⁶ Apikal periodontitisin tedavisinde sonik aktivasyon cihazı olan EA, PUI ve geleneksel şırınga irrigasyon tekniklerinin karşılaştırılmasına ilişkin sıçanlarda yapılan bir çalışmada, PUI ve EA grupları diğer gruplara göre en küçük apikal lezyona sahipken, geleneksel şırınga irrigasyon grubunda ise irrigasyon yapılmayan kontrol grubuna göre daha küçük lezyonlar görülmüştür. Sonuçlar EA'nın periapikal alan çevresindeki inflamatuvar yanıtı ve apikal lezyonları önemli ölçüde azaltabileceğini göstermiştir.²¹⁷

Yeni bir sonik irrigasyon sistemi olan EA'nın kök apeksindeki sealer penetrasyonu üzerindeki etkilerinin geleneksel şırınga irrigasyonu ve PUI ile karşılaştırıldığı bir çalışmada, EA'nın kök kanalının apikal üçte birlik kısmında sealer penetrasyonu ve smear tabakasının çıkarılmasında PUI ve geleneksel şırınga irrigasyonundan üstün olduğu gösterilmiş olup, EA'nın irrigasyon işleminin gözle görülür derecede efektif temizleme ve dezenfeksiyon etkileri elde edilebildiği, umut verici bir irrigasyon cihazı olduğu gösterilmektedir.²¹⁸

Mandibular molar dişlerin kullanıldığı ve smear tabakasının uzaklaştırılma etkinliğinin değerlendirildiği bir in vitro çalışmada, kökün apikal üçte birlik kısmında MDA ve sonik aktivasyonun geleneksel şırınga irrigasyonuna göre smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğinin daha iyi olduğu bildirilmiştir.²¹⁹ Başka bir in vitro çalışmada, mandibular molar dişlerin meziobukkal kanallarının apikal üçte birlik kısmında bulunan smear tabakasını uzaklaştırma etkinliği açısından PUI, sonik ve geleneksel şırınga irrigasyonu karşılaştırılmış olup PUI ve sonik aktivasyonun geleneksel yöntemden daha fazla smear tabakası uzaklaştırdığı gözlemlenmiştir.²²⁰

SWEEPS, PIPS ve PUI'nin irrigasyon solüsyonlarının lateral kanallara akışını sağlamada performanslarının karşılaştırıldığı bir in vitro çalışmada, PIPS ve SWEEPS'in solüsyonu lateral kanalda derine iletme konusunda PUI'ye kıyasla daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.²²¹ Kavisli kökleri bulunan 20 yaş dişlerinin kullanıldığı bir in vitro çalışmada, smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğini karşılaştırmak için MDA, PUI, SWEEPS, PIPS ve sonik aktivasyon yöntemleri uygulanmıştır. PIPS ve SWEEPS gruplarının kök kanalının ortasında ve apikal üçte birinde diğerlerinden daha fazla smear tabakası uzaklaştırdığını; ancak, kanalın koronal üçte birlik kısmında ise beş grubun da önemli bir fark göstermediği bildirilmiştir.²²²

E. Faecalis ile kontamine olmuş tek kök ve tek kanallı dişlere uygulanan PUİ, PIPS, SWEEPS, sonik ve geleneksel şırınga irrigasyon tekniklerinin antimikrobiyal etkinliğinin değerlendirildiği in vitro bir çalışmada; gruplar arasında ölü bakteri yüzdesi bakımından anlamlı bir fark bulunmamıştır. Tüm tekniklerin E. Faecalis ile kontamine olmuş dişler üzerinde benzer antimikrobiyal etkiye sahip olduğu görülmüştür.²²³

SWEEPS, PIPS, PUİ, sonik ve geleneksel şırınga irrigasyon tekniklerinin kök kanal patının dentin tübüllerine penetrasyonu üzerindeki etkisinin mandibular premolar dişlerde incelendiği bir in vitro çalışmada; PUİ, PIPS ve SWEEPS yöntemlerinin, geleneksel ve sonik aktivasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında kanal patının penetrasyonunu artırdığı bulunmuştur.²²⁴ Sonik, ultrasonik, PIPS ve SWEEPS irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin smear uzaklaştırma ve tübüler penetrasyon üzerindeki etkinliğinin araştırıldığı güncel bir in vitro çalışmada; apikal seviyede, PIPS ve SWEEPS kullanıldığında en temiz kanal duvarları gözlenirken, orta üçlüde geleneksel yöntem haricinde tüm gruplar arasında smear uzaklaştırma etkinliği açısından bir fark saptanmamıştır. Penetrasyon derinliklerinin tüm gruplarda apikalden koronale doğru arttığı; PIPS ve SWEEPS'in, apikal bölgede PUİ ve sonik aktivasyon ile karşılaştırıldığında anlamlı derecede daha düşük smear skorları gösterdiği tespit edilmiştir.²⁰⁵

Sonuçlar arasındaki bu farklılıklar örneklem büyüklüğü, çalışma tipi, etkinliğin değerlendirildiği kriter ve diş bölgesi (apikal,koronal,orta üçlü), kullanılan dişin tipi ve anatomisi ve irrigasyon aktivasyon protokollerindeki uygulama farklılıkları gibi çeşitli faktörlerle ilişkilendirilebilir.

Araştırmalara göre yüksek FB değeri, yapının daha karmaşık olduğunu ve trabeküller arasındaki boşlukların az olduğunu gösterirken, düşük FB değeri yapının daha basit ve trabeküller arasındaki boşlukların fazla olduğunu ifade etmektedir.²²⁵ Bu çalışmada tüm gruplarda kanal tedavisi sonrası fraktal boyut değerlerinin her bir irrigasyon cihazı ve kontrol grubu için kanal tedavisi öncesi verilerine göre anlamlı miktarda arttığı tespit edilmiştir. Mevcut çalışmaya benzer şekilde yapılan bir çalışmada başarılı bir kök kanal tedavisinin ardından bir yıl sonra elde edilen ağız içi radyografilerde periapikal bölgedeki FB değerlerinde artış gözlemlenmiştir.¹⁵² Buna karşın, klinik olarak başarılı endodontik tedaviler sonrası reaktif kemik bölgelerinde FB değerlerinde bir azalma olduğu tespit edilen çalışma da mevcuttur.²²⁶ Başka bir çalışma, kök kanal tedavisinden sonra kök ucu çevresindeki FB değerlerinin önemli ölçüde arttığını, ancak tedavi sonrası 1 yıl sonunda tamamen iyileşmiş olgularda apikal lezyonun hemen üzerindeki komşu bölgede belirgin bir azalma gözlemlendiğini belirtmiştir.³¹ Çalışmalar arasındaki bu farklılıkların, kullanılan radyografi türü, lezyon boyutu ve takip süresi gibi faktörlere bağlı olabileceği ön görülmektedir.

Mevcut çalışmada gruplar arasındaki fraktal boyut karşılaştırmalarında hem kanal tedavisi öncesi hem de kanal tedavisi sonrası, EA grubundaki fraktal boyut değerleri SWEEPS'e kıyasla anlamlı miktarda daha fazla bulunmuştur. Ancak EA grubundaki tedavi öncesi fraktal boyut değerleri zaten SWEEPS'e göre daha yüksek olduğu için tedavi sonrasındaki fark EA'nın SWEEPS'e üstünlüğünü kanıtlamak için yeterli değildir. Ayrıca, fraktal boyuttaki artış değerlendirildiğinde tüm irrigasyon aktivasyon teknikleri arasında anlamlı bir farklılık elde edilmemiştir. Yani tüm lezyonlarda kemiksel yoğunluğun artışına bağlı olarak merkezi bir trabekülasyon artışı meydana gelmiştir.

Ancak herhangi bir sistem fraktal boyut artışına anlamlı bir fark oluşturacak şekilde katkı sağlamamıştır. Literatürde farklı irrigasyon aktivasyon tekniklerinin iyileşmeye etkisini fraktal boyut üzerinden inceleyen başka çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle literatürle birebir karşılaştırma yapılamamaktadır. Ancak Doğan ve ark.¹⁹⁶ yaptıkları çalışmada geniş periapikal lezyonlu dişlerde SWEEPS, PUI, MDA ve geleneksel şırınga irrigasyonu gibi farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleri kullanılarak lezyon iyileşme oranları KIBT yardımı ile karşılaştırılmıştır. Gruplar arasında lezyon iyileşmesi hacimsel olarak değerlendirildiğinde, istatistiksel olarak anlamlı fark elde edilmemiştir.¹⁹⁶ Bu sonuç mevcut çalışmanın bulgularını destekler niteliktedir.

Bu çalışmanın güçlü yanları; takipli klinik çalışma olması ve örneklem sayısının fazla olmasıdır.

Mevcut çalışmada bazı limitasyonlar bulunmaktadır. Takip süresinin yalnızca 1 yıl ile sınırlı tutulması, 2-4 yıl gibi uzun veya 6 ay gibi kısa vadedeki değişikliklerin takibinin olmaması gruplar arasında fark varsa da tespit edilmesine engel olmuş olabilir. Daha uygun, daha kolay uygulama metodu ve daha az radyasyon dozundan dolayı panoramik röntgen ile fraktal analizin gerçekleştirildiği mevcut çalışmada, panoramik röntgenin 2 boyutlu olması ve lezyonun bukkolingual bölgedeki kortikal kemiğe olan etkisini değerlendirme imkanı sunmaması fraktal yoğunluğunun değerlendirilmesinde net veriler sunamamış olabilir. Bu yüzden KIBT gibi 3 boyutlu görüntüleme tekniklerinden yararlanılmalıdır. Ancak KIBT'nin rutin kullanım endikasyonları sınırlıdır ve hastanın alacağı radyasyon düşünüldüğünde endikasyonu olmayan vakalarda sadece takip amaçlı kullanılamayacağı için bu çalışmada panoramik röntgen tercih edilmiştir.

Genetik faktörler ve iyileşme potansiyelinin her hastada farklılık gösterebilir olması lezyon iyileşmesini etkilemiş olabilir. Fraktal değerleri aktivasyon sistemleri dışında hastanın kemik kalitesi, konak savunması, hastanın bilmediği kemik metabolizmasını etkileyen D vitamini eksikliği gibi lokal faktörlerden de etkilenmiş olabilir. Farklı popülasyonları içeren daha büyük örneklem boyutlarıyla uzun takip süreli klinik araştırmalar yapılması tavsiye edilmektedir.



6. SONUÇ ve ÖNERİLER

- Bu çalışmanın limitasyonları dahilinde, kanal tedavisi sonrası 1 yıllık takipte her bir irrigasyon aktivasyon grubunda fraktal boyut değerlerinde artış; lezyon çapı ve PAI skorunda ise azalma görülmüştür.
- SWEEPS ve PIPS kullanımı tedavi sonrası 1 yıl içerisindeki fraktal boyut artışı açısından aktivasyon yapılmayan gruba anlamlı bir üstünlük sağlamamıştır.
- PIPS ve SWEEPS aktivasyon grubunda 1 yıllık takipte lezyon çapı ve PAI skorunun kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Aktivasyon gruplarının iyileşme yüzdeleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde lazer grupları (PIPS,%100; SWEEPS,%95) en yüksek başarıyı göstermiştir.
- MDA, EA ve PUI yöntemleri 1 yıllık takipte hem fraktal boyut artışı hem de lezyon çapı ve PAI skorundaki azalma açısından aktivasyon uygulanmayan gruba kıyasla anlamlı bir fark oluşturmamıştır.

KAYNAKLAR

1. Basrani B. Irrigation in endodontic treatment. Alpha Omegan. 2011;104:18-25.
2. Sundqvist G, Johansson E, Sjögren U. Prevalence of black-pigmented bacteroides species in root canal infections. J Endod, 1989;15:13-19.
3. Za K. Oral carriage of candidiasis in patients with oral dental diseases: predisposing factors, species and their antifungal susceptibility patterns. Journal of Bacteriology and Mycology: Open Access. 2018;6.
4. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R ve ark. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. J Endod, 2010;36:1216-1221.
5. Ricucci D, Siqueira JF, Jr. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. J Endod, 2010;36:1277-1288.
6. Seltzer S, Bender IB, Smith J ve ark. Endodontic failures an analysis based on clinical, roentgenographic, and histologic findings. II. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1967;23:517-530.
7. Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod, 2006;32:389-398.
8. Yamada RS, Armas A, Goldman M ve ark. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. J Endod. 1983;9:137-142.
9. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. J Endod, 2002;28:17-19.
10. Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. J Endod, 1987;13:147-157.
11. Falk KW, Sedgley CM. The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro. J Endod, 2005;31:742-745.
12. Gu LS, Kim JR, Ling J ve ark. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. J Endod, 2009;35:791-804.

13. Setlock J, Fayad MI, BeGole E ve ark. Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: a comparative scanning electron microscope study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:614-617.
14. Bertacco M, Soyeux O, Durand R ve ark. Effect of personalized musical intervention on burden of care in dental implant surgery: A pilot randomized controlled trial. *J Dent*, 2022;120:104091.
15. Boutsoukias C, Lambrianidis T, Kastrinakis E. Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. *Int Endod J*, 2009;42:144-155.
16. Perez R, Neves AA, Belladonna FG ve ark. Impact of needle insertion depth on the removal of hard-tissue debris. *Int Endod J*, 2017;50:560-568.
17. Akyuz Ekim SN, Erdemir A. Comparison of different irrigation activation techniques on smear layer removal: an in vitro study. *Microsc Res Tech.* 2015;78:230-239.
18. McGill S, Gulabivala K, Mordan N ve ark. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. *Int Endod J*, 2008;41:602-608.
19. Klyn SL, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. 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. *J Endod*, 2010;36:1367-1371.
20. van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK ve ark. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J*, 2007;40:415-426.
21. Peters OA, Bardsley S, Fong J ve ark. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *J Endod*, 2011;37:1008-1012.
22. De Moor RJ, Meire M, Goharkhay K ve ark. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. *J Endod*, 2010;36:1580-1583.
23. Myers ML. The effect of laser irradiation on oral tissues. *J Prosthet Dent*, 1991;66:395-397.

24. Koba K, Kimura Y, Matsumoto K ve ark. A histopathological study of the morphological changes at the apical seat and in the periapical region after irradiation with a pulsed Nd:YAG laser. *Int Endod J*, 1998;31:415-420.
25. Boutsoukias C, Arias-Moliz MT. Present status and future directions - irrigants and irrigation methods. *Int Endod J*, 2022;55 Suppl 3:588-612.
26. Yasuda Y, Kawamorita T, Yamaguchi H ve ark. Bactericidal effect of Nd:YAG and Er:YAG lasers in experimentally infected curved root canals. *Photomed Laser Surg*. 2010;28 Suppl 2:S75-78.
27. DiVito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med Sci*. 2012;27:273-280.
28. Blanken J, De Moor RJ, Meire M ve ark. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: a visualization study. *Lasers Surg Med*. 2009;41:514-519.
29. Jezeršek M, Lukač N, Lukač M. Measurement of Simulated Debris Removal Rates in an Artificial Root Canal to Optimize Laser-Activated Irrigation Parameters. *Lasers Surg Med*. 2021;53:411-417.
30. Kosarieh E, Bolhari B, Sanjari Pirayvatlou S ve ark. Effect of Er:YAG laser irradiation using SWEEPS and PIPS technique on dye penetration depth after root canal preparation. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2021;33:102136.
31. Huang CC, Chen JC, Chang YC ve ark. A fractal dimensional approach to successful evaluation of apical healing. *Int Endod J*, 2013;46:523-529.
32. Kato CN, Barra SG, Tavares NP ve ark. Use of fractal analysis in dental images: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol*. 2020;49:20180457.
33. Olcay K, Ataoglu H, Belli S. Evaluation of Related Factors in the Failure of Endodontically Treated Teeth: A Cross-sectional Study. *J Endod*, 2018;44:38-45.
34. Skoglund A, Tronstad L. Pulpal changes in replanted and autotransplanted immature teeth of dogs. *J Endod*, 1981;7:309-316.
35. Darcey J, Jawad S, Taylor C ve ark. Modern Endodontic Principles Part 4: Irrigation. *Dent Update*. 2016;43:20-22, 25-26, 28-30 passim.

36. Wu MK, R'Oris A, Barkis D ve ark. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000;89:739-743.
37. Schäfer E, Diez C, Hoppe W ve ark. Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod.* 2002;28:211-216.
38. Basrani B, Haapasalo M. Update on endodontic irrigating solutions. *Endodontic Topics.* 2013;27:74-102.
39. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The Effects of Surgical exposures of Dental Pulps in Germ-free and Conventional Laboratory Rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1965;20:340-349.
40. Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res.* 1981;89:321-328.
41. Basrani B, Haapasalo M. Update on endodontic irrigating solutions. *Endodontic Topics.* 2012;27:74-102.
42. Lin LM, Kahler B. A review of regenerative endodontics: current protocols and future directions. *J Istanbul Univ Fac Dent.* 2017;51:S41-s51.
43. Guivarc'h M, Ordioni U, Ahmed HM ve ark. Sodium Hypochlorite Accident: A Systematic Review. *J Endod.* 2017;43:16-24.
44. Siqueira JF, Jr., Rôças IN, Favieri A ve ark. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod.* 2000;26:331-334.
45. Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H. Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. *Eur J Dent.* 2013;7:S135-s142.
46. Kuah HG, Lui JN, Tseng PS ve ark. The effect of EDTA with and without ultrasonics on removal of the smear layer. *J Endod.* 2009;35:393-396.
47. Ballal NV, Gandhi P, Shenoy PA ve ark. Evaluation of various irrigation activation systems to eliminate bacteria from the root canal system: A randomized controlled single blinded trial. *J Dent.* 2020;99:103412.
48. Seidberg BH, Schilder H. An evaluation of EDTA in endodontics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1974;37:609-620.
49. Küçük M, Kermeoğlu F, Kalender A. Endodontide kullanılan güncel irrigasyon solüsyonları, sistem ve cihazları. *Annals of Health Sciences Research.* 2016;5:29-37.

50. Rath PP, Yiu CKY, Matinlinna JP ve ark. The effect of root canal irrigants on dentin: a focused review. *Restor Dent Endod*, 2020;45.
51. Goldman M, Kronman JH, Goldman LB ve ark. New method of irrigation during endodontic treatment. *J Endod*, 1976;2:257-260.
52. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B ve ark. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod*, 2005;31:817-820.
53. Kuruvilla JR, Kamath MP. Antimicrobial activity of 2.5% sodium hypochlorite and 0.2% chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigants. *J Endod*, 1998;24:472-476.
54. Yamashita JC, Tanomaru Filho M, Leonardo MR ve ark. Scanning electron microscopic study of the cleaning ability of chlorhexidine as a root-canal irrigant. *Int Endod J*, 2003;36:391-394.
55. Siqueira JF, Jr., Magalhães KM, Rôças IN. Bacterial reduction in infected root canals treated with 2.5% NaOCl as an irrigant and calcium hydroxide/camphorated paramonochlorophenol paste as an intracanal dressing. *J Endod*, 2007;33:667-672.
56. Basrani B, Tjäderhane L, Santos JM ve ark. Efficacy of chlorhexidine- and calcium hydroxide-containing medicaments against *Enterococcus faecalis* in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;96:618-624.
57. McDonnell G, Russell AD. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clin Microbiol Rev*. 1999;12:147-179.
58. Wu M, van der Sluis LW, Wesselink PR. A preliminary study of the percentage of gutta-percha-filled area in the apical canal filled with vertically compacted warm gutta-percha. *Int Endod J*, 2002;35:527-535.
59. da Silva Limoeiro AG, Dos Santos AH, De Martin AS ve ark. Micro-Computed Tomographic Evaluation of 2 Nickel-Titanium Instrument Systems in Shaping Root Canals. *J Endod*, 2016;42:496-499.
60. Johal S, Baumgartner JC, Marshall JG. Comparison of the antimicrobial efficacy of 1.3% NaOCl/BioPure MTAD to 5.25% NaOCl/15% EDTA for root canal irrigation. *J Endod*, 2007;33:48-51.
61. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z ve ark. Irrigation in endodontics. *Br Dent J*, 2014;216:299-303.

62. Souza CC, Bueno CE, Kato AS ve ark. Efficacy of passive ultrasonic irrigation, continuous ultrasonic irrigation versus irrigation with reciprocating activation device in penetration into main and simulated lateral canals. *J Conserv Dent*, 2019;22:155-159.
63. Susila A, Minu J. Activated Irrigation vs. Conventional non-activated Irrigation in Endodontics - A Systematic Review. *Eur Endod J*, 2019;4:96-110.
64. Tronstad L, Barnett F, Schwartzben L ve ark. Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endod Dent Traumatol*. 1985;1:69-76.
65. Gutarts R, Nusstein J, Reader A ve ark. In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod*, 2005;31:166-170.
66. Keir DM, Senia ES, Montgomery S. Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *J Endod*, 1990;16:323-327.
67. Haapasalo M, Shen Y, Qian W ve ark. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am*. 2010;54:291-312.
68. Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U ve ark. Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *J Endod*, 2006;32:1181-1184.
69. Metzger Z. The self-adjusting file (SAF) system: An evidence-based update. *J Conserv Dent*, 2014;17:401-419.
70. Nallathambi L, Raj JD, Yang JNC. Endodontic smear layer removal using conventional and endodontic microbrush device: A scanning electron microscope and profilometer study. *Saudi Endodontic J*, 2017;7:102-109.
71. Al-Ali M, Sathorn C, Parashos P. Root canal debridement efficacy of different final irrigation protocols. *Int Endod J*, 2012;45:898-906.
72. Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG. Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *J Endod*, 2002;28:837-839.
73. Alves FR, Almeida BM, Neves MA ve ark. Time-dependent antibacterial effects of the self-adjusting file used with two sodium hypochlorite concentrations. *J Endod*, 2011;37:1451-1455.

74. Silva E, Belladonna FG, Zuolo AS ve ark. Effectiveness of XP-endo Finisher and XP-endo Finisher R in removing root filling remnants: a micro-CT study. *Int Endod J*, 2018;51:86-91.
75. Neves MA, Rôças IN, Siqueira JF, Jr. Clinical antibacterial effectiveness of the self-adjusting file system. *Int Endod J*, 2014;47:356-365.
76. Trope M, Debelian G. XP-3D Finisher™ file the next step in restorative endodontics. *Endod Pract US*. 2015;8:14-16.
77. Rödiger T, Sedghi M, Konietschke F ve ark. Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo and passive ultrasonic irrigation in removing debris from irregularities in root canals with different apical sizes. *Int Endod J*, 2010;43:581-589.
78. Hauser V, Braun A, Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). *Int Endod J*, 2007;40:644-652.
79. Miranda RG, Santos EB, Souto RM ve ark. Ex vivo antimicrobial efficacy of the EndoVac system plus photodynamic therapy associated with calcium hydroxide against intracanal *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J*, 2013;46:499-505.
80. Vivan RR, Bortolo MV, Duarte MA ve ark. Scanning electron microscopy analysis of RinsEndo system and conventional irrigation for debris removal. *Braz Dent J*, 2010;21:305-309.
81. Nielsen BA, Craig Baumgartner J. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod*, 2007;33:611-615.
82. Pawar R, Alqaied A, Safavi K ve ark. Influence of an apical negative pressure irrigation system on bacterial elimination during endodontic therapy: a prospective randomized clinical study. *J Endod*, 2012;38:1177-1181.
83. Shin SJ, Kim HK, Jung IY ve ark. Comparison of the cleaning efficacy of a new apical negative pressure irrigating system with conventional irrigation needles in the root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010;109:479-484.
84. Howard RK, Kirkpatrick TC, Rutledge RE ve ark. Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *J Endod*, 2011;37:1301-1305.
85. Waplington M, Lumley PJ, Walmsley AD. Sonic instruments in root canal therapy. *Dent Update*. 1995;22:339-342.

86. Berman LH, Hargreaves KM. Cohen's Pathways of the Pulp, 12th ed. California, Elsevier Health Sciences, 2015;987-988.
87. Karade P, Johnson A, Baeten J ve ark. Smear Layer Removal Efficacy Using EndoActivator and EndoUltra Activation Systems: An Ex Vivo SEM Analysis. *Compend Contin Educ Dent*. 2018;39:e9-e12.
88. Rödiger T, Döllmann S, Konietschke F ve ark. Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *J Endod*, 2010;36:1983-1987.
89. Basrani B. Endodontic irrigation, ed. Switzerland, Springer International Publishing, 2015;47-160.
90. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod*, 2003;29:674-678.
91. Bolles JA, He J, Svoboda KK ve ark. Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *J Endod*, 2013;39:708-711.
92. Rödiger T, Bozkurt M, Konietschke F ve ark. Comparison of the Vibringe system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *J Endod*, 2010;36:1410-1413.
93. Donnermeyer D, Wyrsh H, Bürklein S ve ark. Removal of Calcium Hydroxide from Artificial Grooves in Straight Root Canals: Sonic Activation Using EDDY Versus Passive Ultrasonic Irrigation and XPendo Finisher. *J Endod*, 2019;45:322-326.
94. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E ve ark. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig*. 2017;21:2681-2687.
95. Conde AJ, Estevez R, Loroño G ve ark. Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *Int Endod J*, 2017;50:976-982.
96. İnce Yusufoglu S, Keskin NB, Saricam E ve ark. Comparison of apical debris extrusion using EDDY, passive ultrasonic activation and photon-initiated photoacoustic streaming irrigation activation devices. *Aust Endod J*, 2020;46:400-404.

97. Gündoğar M, Sezgin GP, Kaplan SS ve ark. Postoperative pain after different irrigation activation techniques: a randomized, clinical trial. *Odontology*. 2021;109:385-392.
98. De Paolis G, Vincenti V, Prencipe M ve ark. Ultrasonics in endodontic surgery: a review of the literature. *Roma*. 2010;1:6-10.
99. van der Sluis LW, Gambarini G, Wu MK ve ark. 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. *Int Endod J*, 2006;39:472-476.
100. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved. *J Endod*, 1987;13:93-101.
101. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod*, 1980;6:740-743.
102. Stamos DE, Sadeghi EM, Haasch GC ve ark. An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic, and ultrasonic instrumentation. *J Endod*, 1987;13:434-440.
103. Roy RA, Ahmad M, Crum LA. Physical mechanisms governing the hydrodynamic response of an oscillating ultrasonic file. *Int Endod J*, 1994;27:197-207.
104. Shiozawa A. Characterization of reactive oxygen species generated from the mixture of NaClO and H₂O₂ used as root canal irrigants. *J Endod*, 2000;26:11-15.
105. Townsend C, Maki J. An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal. *J Endod*, 2009;35:1040-1043.
106. Cameron JA. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study. *J Endod*, 1983;9:289-292.
107. Huque J, Kota K, Yamaga M ve ark. Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite. *Int Endod J*, 1998;31:242-250.
108. Schoop U, Kluger W, Dervisbegovic S ve ark. Innovative wavelengths in endodontic treatment. *Lasers Surg Med*. 2006;38:624-630.
109. Beer F, Buchmair A, Wernisch J ve ark. Comparison of two diode lasers on bactericidity in root canals an in vitro study. *Lasers Med Sci*. 2012;27:361-364.

110. Keleş A, Arslan H, Kamalak A ve ark. Removal of filling materials from oval-shaped canals using laser irradiation: a micro-computed tomographic study. *J Endod*, 2015;41:219-224.
111. Cavalcanti TM, Almeida-Barros RQ, Catão MH ve ark. Knowledge of the physical properties and interaction of laser with biological tissue in dentistry. *An Bras Dermatol*. 2011;86:955-960.
112. Olivi G, De Moor R, DiVito E. *Lasers in Endodontics: Scientific Background and Clinical Applications*, ed., 2016;1-298 p.
113. Golob BS, Olivi G, Vrabec M ve ark. Efficacy of Photon-induced Photoacoustic Streaming in the Reduction of *Enterococcus faecalis* within the Root Canal: Different Settings and Different Sodium Hypochlorite Concentrations. *J Endod*, 2017;43:1730-1735.
114. Olivi G, DiVito EE, Peters OA ve ark. Disinfection efficacy of photon-induced photoacoustic streaming on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: an ex vivo study. *Journal of the American Dental Association*. 2014;145 8:843-848.
115. Apel C, Meister J, Ioana RS ve ark. The ablation threshold of Er:YAG and Er:YSGG laser radiation in dental enamel. *Lasers Med Sci*. 2002;17:246-252.
116. Olivi G, DiVito EE. *Advanced Laser-Activated Irrigation: PIPS Technique and Clinical Protocols*. 2016.
117. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Aprecio RM ve ark. Biofilm removal by 6% sodium hypochlorite activated by different irrigation techniques. *Int Endod J*, 2014;47:659-666.
118. Mancini M, Cerroni L, Palopoli P ve ark. FESEM evaluation of smear layer removal from conservatively shaped canals: laser activated irrigation (PIPS and SWEEPS) compared to sonic and passive ultrasonic activation-an ex vivo study. *BMC Oral Health*. 2021;21:81.
119. Macedo RG, Wesselink PR, Zaccheo F ve ark. Reaction rate of NaOCl in contact with bovine dentine: effect of activation, exposure time, concentration and pH. *Int Endod J*, 2010;43:1108-1115.

120. Akcay M, Arslan H, Durmus N ve ark. Dentinal tubule penetration of AH Plus, iRoot SP, MTA fillapex, and guttaflow bioseal root canal sealers after different final irrigation procedures: A confocal microscopic study. *Lasers Surg Med.* 2016;48:70-76.
121. Arslan H, Akcay M, Capar ID ve ark. Efficacy of needle irrigation, EndoActivator, and photon-initiated photoacoustic streaming technique on removal of double and triple antibiotic pastes. *J Endod*, 2014;40:1439-1442.
122. Erkan E, Gündoğar M, Uslu G ve ark. Postoperative pain after SWEEPS, PIPS, sonic and ultrasonic-assisted irrigation activation techniques: a randomized clinical trial. *Odontology.* 2022;110:786-794.
123. Photoacoustic Endodontics Using the Novel SWEEPS Er : YAG Laser Modality. 2017.
124. Lukač M, Olivi G, Constantin M ve ark. Determination of Optimal Separation Times for Dual-Pulse SWEEPS Laser-Assisted Irrigation in Different Endodontic Access Cavities. *Lasers Surg Med.* 2021;53:998-1004.
125. Yang Q, Liu M, Zhu L, Peng B. Micro-CT study on the removal of accumulated hard-tissue debris from the root canal system of mandibular molars when using a novel laser-activated irrigation approach. *International endodontic journal.* 2020;53:529-538.
126. Haapasalo M, Wang Z, Shen Y ve ark. Tissue dissolution by a novel multisonic ultracleaning system and sodium hypochlorite. *J Endod*, 2014;40:1178-1181.
127. Wright CR, Glickman GN, Jalali P ve ark. Effectiveness of Gutta-percha/Sealer Removal during Retreatment of Extracted Human Molars Using the GentleWave System. *J Endod*, 2019;45:808-812.
128. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z ve ark. Apical pressure created during irrigation with the GentleWave™ system compared to conventional syringe irrigation. *Clin Oral Investig.* 2016;20:1525-1534.
129. Sigurdsson A, Garland RW, Le KT ve ark. Healing of Periapical Lesions after Endodontic Treatment with the GentleWave Procedure: A Prospective Multicenter Clinical Study. *J Endod*, 2018;44:510-517.
130. Coaguila-Llerena H, Gaeta E, Faria G. Outcomes of the GentleWave system on root canal treatment: a narrative review. *Restor Dent Endod*, 2022;47:e11.

131. Molina B, Glickman G, Vandrangi P ve ark. Evaluation of Root Canal Debridement of Human Molars Using the GentleWave System. *J Endod*, 2015;41:1701-1705.
132. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *International endodontic journal*. 2006;39:921-930.
133. Ng YL, Mann V, Rahbaran S ve ark. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature - part 1. Effects of study characteristics on probability of success. *Int Endod J*, 2007;40:921-939.
134. Berman LH, Hargreaves KM, Cohen SR. *Cohen's Pathways of the Pulp*, 12th ed. California, Elsevier Health Sciences, 2015.
135. Chugal NM, Clive JM, Spångberg LS. A prognostic model for assessment of the outcome of endodontic treatment: Effect of biologic and diagnostic variables. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2001;91:342-352.
136. Ridao-Sacie C, Segura-Egea JJ, Fernández-Palacín A ve ark. Radiological assessment of periapical status using the periapical index: comparison of periapical radiography and digital panoramic radiography. *Int Endod J*, 2007;40:433-440.
137. Orstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Endod Dent Traumatol*. 1986;2:20-34.
138. Orstavik D. Reliability of the periapical index scoring system. *Scand J Dent Res*, 1988;96:108-111.
139. Reit C, Gröndahl HG. Application of statistical decision theory to radiographic diagnosis of endodontically treated teeth. *Scand J Dent Res*, 1983;91:213-218.
140. Orstavik D. Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man. *Int Endod J*, 1996;29:150-155.
141. Chybowski EA, Glickman GN, Patel Y ve ark. Clinical Outcome of Non-Surgical Root Canal Treatment Using a Single-cone Technique with Endosequence Bioceramic Sealer: A Retrospective Analysis. *J Endod*, 2018;44:941-945.
142. Kirkevang LL, Ørstavik D, Wenzel A ve ark. Prognostic value of the full-scale Periapical Index. *Int Endod J*, 2015;48:1051-1058.
143. Gorni FG, Gagliani MM. The outcome of endodontic retreatment: a 2 year follow-up. *J Endod*, 2004;30:1-4.

144. Berman LH, Hargreaves KM. Cohen's pathways of the pulp expert consult, 12th ed. California, Elsevier Health Sciences, 2015.
145. White SC, Rudolph DJ. Alterations of the trabecular pattern of the jaws in patients with osteoporosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999;88:628-635.
146. van der Borden WG, Wang X, Wu MK, Shemesh H. Area and 3-dimensional volumetric changes of periapical lesions after root canal treatments. *J Endod,* 2013;39:1245-1249.
147. Kim D, Ku H, Nam T ve ark. Influence of Size and Volume of Periapical Lesions on the Outcome of Endodontic Microsurgery: 3-Dimensional Analysis Using Cone-beam Computed Tomography. *J Endod,* 2016;42:1196-1201.
148. Dhamija R, Tewari S, Sangwan P ve ark. Impact of Platelet-rich Plasma in the Healing of Through-and-through Periapical Lesions Using 2-dimensional and 3-dimensional Evaluation: A Randomized Controlled Trial. *J Endod,* 2020;46:1167-1184.
149. White SC, Pharoah Michael J. *Oral radiology: principles and interpretation*, ed. Elsevier, 2012.
150. Geraets WG, van der Stelt PF. Fractal properties of bone. *Dentomaxillofac Radiol.* 2000;29:144-153.
151. Sánchez I, Uzcátegui G. Fractals in dentistry. *J Dent,* 2011;39:273-292.
152. Chen SK, Oviir T, Lin CH ve ark. Digital imaging analysis with mathematical morphology and fractal dimension for evaluation of periapical lesions following endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005;100:467-472.
153. Verma A, Yadav RL, Tikku AP ve ark. Tewari S ve ark. Endodontic Treatment Using Ultrasonic Irrigation and Laser Activated Irrigation to Evaluate Healing in Chronic Apical Periodontitis: A Randomized Controlled Trial. *J Clin Exp Dent,* 2020;12(9):e821-9.
154. Amaratunga NA. The relation of age to the immobilization period required for healing of mandibular fractures. *J Oral Maxillofac Surg,* 1987;45:111-113.
155. Grove GL. Age-related differences in healing of superficial skin wounds in humans. *Arch Dermatol Res.* 1982;272:381-385.

156. Segura-Egea JJ, Martín-González J, Castellanos-Cosano L. Endodontic medicine: connections between apical periodontitis and systemic diseases. *Int Endod J*, 2015;48:933-951.
157. Apolinário AC, Sindeaux R, de Souza Figueiredo PT ve ark. Dental panoramic indices and fractal dimension measurements in osteogenesis imperfecta children under pamidronate treatment. *Dentomaxillofac Radiol*. 2016;45:20150400.
158. Demirbaş AK, Ergün S, Güneri P ve ark. Mandibular bone changes in sickle cell anemia: fractal analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008;106:e41-48.
159. Fernandes MA, Ribeiro REA, JohannACBR ve ark. Applicability of Fractal Dimension Analysis in Dental Radiographs for the Evaluation of Renal Osteodystrophy. *Fractals*. 2016;24:1650010.
160. Uğur Aydın Z, Ocak MG, Bayrak S ve ark. The effect of type 2 diabetes mellitus on changes in the fractal dimension of periapical lesion in teeth after root canal treatment: a fractal analysis study. *Int Endod J*, 2021;54:181-189.
161. Arya S, Duhan J, Tewari S ve ark. Healing of Apical Periodontitis after Nonsurgical Treatment in Patients with Type 2 Diabetes. *J Endod*, 2017;43:1623-1627.
162. Molander A, Warfvinge J, Reit C ve ark. Clinical and radiographic evaluation of one- and two-visit endodontic treatment of asymptomatic necrotic teeth with apical periodontitis: a randomized clinical trial. *J Endod*, 2007;33:1145-1148.
163. Wong AW, Zhang C, Chu CH. A systematic review of nonsurgical single-visit versus multiple-visit endodontic treatment. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2014;6:45-56.
164. Ghavami-Lahiji M, Davalloo RT, Tajziehchi G ve ark. Micro-computed tomography in preventive and restorative dental research: A review. *Imaging Sci Dent*. 2021;51:341-350.
165. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod*, 2004;30:559-567.
166. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M ve ark. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *J Endod*, 2005;31:669-671.

167. Lui JN, Kuah HG, Chen NN. Effect of EDTA with and without surfactants or ultrasonics on removal of smear layer. *J Endod*, 2007;33:472-475.
168. Carvalho AS, Camargo CHR, Valera MC ve ark. Smear Layer Removal by Auxiliary Chemical Substances in Biomechanical Preparation: A Scanning Electron Microscope Study. *Journal of Endodontics*. 2008;34:1396-1400.
169. Cohenca N, Romualdo PC, da Silva LA ve ark. Tissue response to root canal irrigation systems in dogs' teeth with apical periodontitis. *Clin Oral Investig*. 2015;19:1147-1156.
170. Liang YH, Jiang LM, Jiang L ve ark. Radiographic healing after a root canal treatment performed in single-rooted teeth with and without ultrasonic activation of the irrigant: a randomized controlled trial. *J Endod*, 2013;39:1218-1225.
171. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int Endod J*, 2000;33:186-193.
172. Carver K, Nusstein J, Reader A ve ark. In vivo antibacterial efficacy of ultrasound after hand and rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod*, 2007;33:1038-1043.
173. Huuonen S, Ørstavik D. Radiological aspects of apical periodontitis. *Endodontic Topics*. 2002;1:3-25.
174. Penesis VA, Fitzgerald PI, Fayad MI ve ark. Outcome of one-visit and two-visit endodontic treatment of necrotic teeth with apical periodontitis: a randomized controlled trial with one-year evaluation. *J Endod*, 2008;34:251-257.
175. Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. *Int Endod J*, 2004;37:607-612.
176. Çalışkan MK, Türkün M. Periapical repair and apical closure of a pulpless tooth using calcium hydroxide. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1997;84:683-687.
177. Waltimo T, Trope M, Haapasalo M ve ark. Clinical efficacy of treatment procedures in endodontic infection control and one year follow-up of periapical healing. *J Endod*, 2005;31:863-866.

178. Strindberg LZ. Effect of an antibacterial dressing in conservative root canal treatment. *Schweiz Monatsschr Zahnheilkd.* 1966;76:151-165.
179. Horner K. Radiographic selection criteria: new guidelines, old challenges. *Br Dent J*, 2013;214:201-203.
180. Hansrani V. Assessing root canal fillings on a radiograph an overview. *Br Dent J*, 2015;219:481-483.
181. Murphy WK, Kaugars GE, Collett WK ve ark. Healing of periapical radiolucencies after nonsurgical endodontic therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1991;71:620-624.
182. Otis LL, Hong JS, Tuncay OC. Bone structure effect on root resorption. *Orthod Craniofac Res.* 2004;7:165-177.
183. Bayrak S, G ller Bulut D, Orhan K ve ark. Evaluation of osseous changes in dental panoramic radiography of thalassemia patients using mandibular indexes and fractal size analysis. *Oral Radiol.* 2020;36:18-24.
184. Demiralp K, Kur un- akmak E, Bayrak S ve ark. Trabecular structure designation using fractal analysis technique on panoramic radiographs of patients with bisphosphonate intake: a preliminary study. *Oral Radiol.* 2019;35:23-28.
185. Gulec M, Tassoker M, Ozcan S ve ark. Evaluation of the mandibular trabecular bone in patients with bruxism using fractal analysis. *Oral Radiol.* 2021;37:36-45.
186. Baksi BG, Fidler A. Image resolution and exposure time of digital radiographs affects fractal dimension of periapical bone. *Clin Oral Investig.* 2012;16:1507-1510.
187. Jolley L, Majumdar S, Kapila S. Technical factors in fractal analysis of periapical radiographs. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006;35:393-397.
188. Hayek E, Aoun G, Bassit R ve ark. Correlating Radiographic Fractal Analysis at Implant Recipient Sites with Primary Implant Stability: An In Vivo Preliminary Study. *Cureus.* 2020;12:e6539.
189. Marquis VL, Dao T, Farzaneh M ve ark. Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase III: initial treatment. *J Endod*, 2006;32:299-306.
190. Kamburo lu K, Kili  C, Ozen T ve ark. Accuracy of chemically created periapical lesion measurements using limited cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010;39:95-99.

191. Chang PC, Liang K, Lim JC ve ark. A comparison of the thresholding strategies of micro-CT for periodontal bone loss: a pilot study. *Dentomaxillofac Radiol.* 2013;42:669-25194.
192. Wu MK, Shemesh H, Wesselink PR. Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment. *Int Endod J*, 2009;42:656-666.
193. Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment. *J Endod*, 2003;29:787-793.
194. Do QL, Gaudin A. The Efficiency of the Er: YAG Laser and Photon-Induced Photoacoustic Streaming (PIPS) as an Activation Method in Endodontic Irrigation: A Literature Review. *J Lasers Med Sci*, 2020;11:316-334.
195. Lukac N, Muc BT, Jezersek M ve ark. Photoacoustic endodontics using the novel SWEEPS Er: YAG laser modality. *J laser health Acad*, 2017;1:1-7.
196. Doğan MU, Arıcıoğlu B, Köse TE ve ark. Association between the irrigation-agitation techniques and Periapical Healing of large periapical lesions: a Randomized Controlled Trial. *Clin Oral Investig.* 2024;28:376.
197. Rödig T, Westbomke V, Haupt F ve ark. Effect of preparation size on the removal of accumulated hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular molars using SWEEPS technology. *Clin Oral Investig.* 2023;27:2787-2796.
198. Vatanpour M, Toursavadkouhi S, Sajjad S. Comparison of three irrigation methods: SWEEPS, ultrasonic, and traditional irrigation, in smear layer and debris removal abilities in the root canal, beyond the fractured instrument. *Photodiagnosis and photodynamic therapy.* 2022;37:102707.
199. Bago I, Đurin A, Kanižaj D, Vuletić LB ve ark. The efficacy of a novel SWEEPS laser-activated irrigation compared to ultrasonic activation in the removal of pulp tissue from an isthmus area in the apical third of the root canal. *Lasers in medical science.* 2023;38:189.
200. Zhu X, Yin X, Chang JW ve ark. Comparison of the antibacterial effect and smear layer removal using photon-initiated photoacoustic streaming aided irrigation versus a conventional irrigation in single-rooted canals: an in vitro study. *Photomed Laser Surg.* 2013;31:371-377.

201. Galler KM, Grubmüller V, Schlichting R ve ark. Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *Int Endod J*, 2019;52:1210-1217.
202. Arıcıoğlu B, Çıkman AŞ, Babacan M. The comparison of cleaning efficacy and apical extrusion of advanced irrigation activation methods with a novel Er: YAG laser modality: sweeps. *Lasers in Dental Science*. 2021;5:43-52.
203. Petričević GK, Katić M, Anić I ve ark. Efficacy of different Er: YAG laser-activated photoacoustic streaming modes compared to passive ultrasonic irrigation in the retreatment of curved root canals. *Clinical oral investigations*. 2022;26:6773-6781.
204. Arıcıoğlu B, Pertek Hatipoğlu F, Hatipoğlu Ö ve ark. Comparison of Er: YAG modalities (PIPS-SWEEPS) on Eliminating of enterococcus faecalis populations. 2021.
205. Uslu G, Gündoğar M, Üngör M ve ark. Investigation of the effectiveness of sonic, ultrasonic and new laser-assisted irrigation activation methods on smear removal and tubular penetration. *Lasers Med Sci*. 2023;38:30.
206. Plotino G, Pameijer CH, Grande NM ve ark. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *J Endod*, 2007;33:81-95.
207. Machtou PP. Manual dynamic activation technique. *Clinical Dentistry Reviewed*. 2018;2:21.
208. Bronnec F, Bouillaguet S, Machtou P. Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the final irrigation regimen. *Int Endod J*, 2010;43:663-672.
209. Jiang LM, Lak B, Eijsvogels LM ve ark. Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *J Endod*, 2012;38:838-841.
210. Mayer BE, Peters OA, Barbakow F. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J*, 2002;35:582-589.
211. Andreani Y, Gad BT, Cocks TC ve ark. Comparison of irrigant activation devices and conventional needle irrigation on smear layer and debris removal in curved canals. (Smear layer removal from irrigant activation using SEM). *Aust Endod J*, 2021;47:143-149.

212. Jensen SA, Walker TL, Hutter JW ve ark. Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod*, 1999;25:735-738.
213. Saber Sel D, Hashem AA. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *J Endod*, 2011;37:1272-1275.
214. Rostami G, Afrasiabi S, Benedicenti S ve ark. The Evaluation of SWEEPS Plus Antimicrobial Photodynamic Therapy with Indocyanine Green in Eliminating *Enterococcus faecalis* Biofilm from Infected Root Canals: An In Vitro Study. *Biomedicines*. 2023;11.
215. Andrabi SM, Kumar A, Zia A ve ark. Effect of passive ultrasonic irrigation and manual dynamic irrigation on smear layer removal from root canals in a closed apex in vitro model. *J Investig Clin Dent*, 2014;5:188-193.
216. Paixão S, Rodrigues C, Grenho L ve ark. Efficacy of sonic and ultrasonic activation during endodontic treatment: a Meta-analysis of in vitro studies. *Acta Odontol Scand*. 2022;80:588-595.
217. Ye Q, Feng Y, Zhao YQ ve ark. Comparison of EASYDO ACTIVATOR, passive ultrasonic, and needle irrigation techniques on the treatment of apical periodontitis: a study in rats. *Clin Oral Investig*. 2022;26:7157-7165.
218. Zhang SH, Gao ZR, Zhou YH ve ark. Comparison of Easydo Activator, ultrasonic and needle irrigation techniques on sealer penetration and smear layer removal in vitro. *BMC Oral Health*. 2024;24:56.
219. Caron G, Nham K, Bronnec F ve ark. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *J Endod*, 2010;36:1361-1366.
220. Blank-Gonçalves LM, Nabeshima CK, Martins GH ve ark. Qualitative analysis of the removal of the smear layer in the apical third of curved roots: conventional irrigation versus activation systems. *J Endod*, 2011;37:1268-1271.
221. Su Z, Li Z, Shen Y ve ark. Characteristics of the Irrigant Flow in a Simulated Lateral Canal Under Two Typical Laser-Activated Irrigation Regimens. *Lasers Surg Med*. 2020.

222. Tong J, Liu L, Du J ve ark. Effect of photon-induced photoacoustic streaming and shock-wave enhanced emission photoacoustic streaming technique on the removal of the smear layer after root canal preparation in curved root canals. *Journal of Dental Sciences*. 2023;18:157-164.
223. Akdere SK, Aydin ZU, Erdönmez D. Antimicrobial effectiveness of different irrigation activation techniques on teeth with artificial internal root resorption and contaminated with *Enterococcus faecalis*: a confocal laser scanning,icroscopy analysis. *Lasers Med Sci*. 2023;38:89.
224. Koruk D, Basmacı F, Kırmızı D ve ark. The Impact of Laser-Activated and Conventional Irrigation Techniques on Sealer Penetration into Dentinal Tubules. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*. 2022;40:565-572.
225. Arsan B, Köse TE, Çene E ve ark. Assessment of the trabecular structure of mandibular condyles in patients with temporomandibular disorders using fractal analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2017;123:382-391.
226. Yu YY, Chen H, Lin CH ve ark. Fractal dimension analysis of periapical reactive bone in response to root canal treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009;107:283-288.

EKLER

EK-1. Özgeçmiş

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	: Medine ÇİÇEK
Eğitim	
Lise	: Çapa Anadolu Öğretmen Lisesi
Lisans	: İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Uzmanlık	: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce	

EK-2. Etik Kurul Onayı



T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurul Başkanlığı



Sayı : E-40465587-050.01.04-721
Konu : Etik Kurul

07.06.2023

Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN

Üniversitemiz Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kuruluna yapmış olduğunuz “Farklı İrrigasyon Aktivasyon Tekniklerinin Geniş Periapikal Lezyonların İyileşmesine Etkisinin Fraktal Analiz İle İncelenmesi” isimli başvurunuz etik kurulumuz yönergesine göre 01.06.2023 tarihinde yapmış olduğu toplantıda incelenmiş olup, 2023/136 karar numarası ile bilimsel ve etik yönden uygun bulunmuştur.

Bilgilerinizi ve gereğini saygılarımla rica ederim.

Doç. Dr. Tahsin Gökhan TELATAR

Başkan

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : 46451944fc21

Belge Takip Adresi: <http://ebys.erdogan.edu.tr/EBYS/eimzadogrulama>

Fener Mah. Zihni Derin Yerleşkesi 53100 Rize / TÜRKİYE
Telefon No : +90 (464) 223 61 26 Faks No : +90 (464) 223 53 76
e-Posta : Internet Adresi: http://www.erdogan.edu.tr/
Kep Adresi:

Bilgi için : BURAK HANKAYA
Bilgisayar İşletmeni



EK-3. Tedavi Planlama Formu

TEDAVİ PLANLAMA FORMU

Tarih:../../..

Hasta adı soyadı:

Hasta T.C. :

Cinsiyet / Yaş:

Meslek:

Adres:

Telefon:

13.11.2015 tarihli İyi Klinik Uygulamaları Kılavuz (İKU)'da gizliliği düzenleyen maddeler gereği yukarıdaki gönüllü özel bilgilerinin (Ad, Soyad, TC Kimlik No, Adres, Telefon vb.) gizliliği sağlanacak şekilde kodlanarak saklanacaktır.

Yukarıdaki bilgiler, gönüllülerin özel bilgilerinin (Ad, soyad, adres gibi) gizliliği sağlanacak şekilde kodlanarak saklanacaktır.

Medikal anamnez:

Dental anamnez:

Dental tedavi prosedürü(tercih edilen tedavi materyalleri ve yöntemler):

Advers olay/tarihi (varsa):

İntraoral muayenede ilgili dişte olumsuz yönde fonksiyonel/estetik semptom ve bulgular:

Takip bulguları(perküsyon, mobilite, ağrı):

EK-4. Power Analiz

Güç Analizi

Etki büyüklüğünün hesaplanmasında G Power 3.1.9.4 (University Kiel, Germany) programı kullanıldı. Etki büyüklüğü Verma ve ark. (1)'in farklı irrigasyon tekniklerinin bir yıl sonra iyileşmedeki başarılarının karşılaştırıldığı veriler baz alınarak hesaplandı. Baz alınan ki-kare testi verilerinden 0.388 değerindeki bir etki büyüklüğünün anlamlılık için yeterli olduğu tespit edildi. Bu çalışmadaki gruplar arası karşılaştırılacak olan iyileşme ve iyileşmeme parametrelerinin kategorik olarak değerlendirileceği ve ki-kare testi yapılacağı öngörüldüğünde 0.05 tip 1 hata ile, %90 güç ile toplam en az 110 tane örneğin gerekliliği hesaplandı.

EK-5. İntihal Raporu

ORJİNALLİK RAPORU

% **16**

BENZERLİK ENDEKSİ

% **14**

İNTERNET KAYNAKLARI

% **3**

YAYINLAR

% **3**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

acikbilim.yok.gov.tr

İnternet Kaynağı

% **4**

2

books.akademisyen.net

İnternet Kaynağı

% **2**

3

dergipark.org.tr

İnternet Kaynağı

% **2**

4

Submitted to Recep Tayyip Erdogan University

Öğrenci Ödevi

% **2**

5

docplayer.biz.tr

İnternet Kaynağı

% **2**

6

jag.journalagent.com

İnternet Kaynağı

<% **1**

7

nek.istanbul.edu.tr:4444

İnternet Kaynağı

<% **1**

8

ddesign.ams3.digitaloceanspaces.com

İnternet Kaynağı

<% **1**

9

angora.baskent.edu.tr

İnternet Kaynağı

<% **1**